

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Forno de alvenaria para incremento da produtividade por meio do resfriamento  
externo do carvão vegetal

**Artur Queiroz Lana**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:  
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba  
2018

Artur Queiroz Lana  
Engenheiro Florestal

**Forno de alvenaria para incremento da produtividade por meio do resfriamento externo  
do carvão vegetal**

versão resumida de acordo com a resolução CoPGr 5401 de 2007

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ OTÁVIO BRITO**

Tese apresentada para obtenção do título Doutor em  
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:  
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba  
2018

## RESUMO

### **Forno de alvenaria para incremento da produtividade por meio do resfriamento externo do carvão vegetal**

O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, entretanto, a maioria da produção é realizada em fornos de alvenaria rudimentares, de pequenas dimensões que, geralmente, não ultrapassam os 12m<sup>3</sup> de volume interno. Estes fornos são pouco engenheirados e utilizam pouca ou nenhuma tecnologia, o que reflete numa produtividade aquém do potencial de um carvão vegetal muito heterogêneo. Nesta transformação da madeira em carvão nos fornos de alvenaria está presente uma marcante dicotomia aonde, em uma primeira etapa, é necessário o aquecimento e a retenção do calor e, posteriormente, a dissipação da energia contida no sistema para retirada da carga produzida, o que acaba por elevar o tempo de produção e, conseqüentemente, reduzir a produtividade. É importante ressaltar que nesta fase inicial, da conversão propriamente dita, existe pouca ou nenhuma margem para redução de tempo, uma vez que é mais dependente das características da matéria-prima, visando assegurar a qualidade do produto final. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver um novo forno experimental de alvenaria para produção de carvão vegetal que proporcionasse ciclos mais curtos, elevando a produtividade e, simultaneamente, assegurando a qualidade do carvão. Assim, o foco da pesquisa foi dado a etapa de resfriamento, tendo sido traçadas estratégias para acelerar o arrefecimento do carvão vegetal que, neste caso, foi efetuado externamente ao forno, o disponibilizando mais rapidamente para o início de novo ciclo produtivo. O forno possibilitou a rápida remoção do carvão ainda aquecido, direcionando-o a um container metálico que, por sua vez, promoveu o resfriamento acelerado da carga de carvão produzida. O sistema desenvolvido possibilitou uma diminuição significativa do tempo da carbonização, reduzindo a etapa de resfriamento a apenas 2 horas no interior do forno e 10 horas no container. O carvão produzido apresentou características adequadas tanto para o uso siderúrgico quanto para cocção de alimentos. Além disso, o forno desenvolvido demonstrou melhor desempenho econômico quando comparado ao forno circular de superfície, apresentando viabilidade nos dois cenários analisados.

Palavras-chave: Carbonização; Resfriamento do carvão vegetal; Redução do ciclo; Viabilidade econômica

## ABSTRACT

### **Masonry kiln to increase productivity through the external cooling of charcoal**

Brazil is the largest producer and consumer of charcoal in the world, however, most of the production is carried out in rudimentary masonry kilns, of small dimensions that generally do not exceed 12m<sup>3</sup> of internal volume. These kilns are poorly engineered and use little or no technology, which reflects a productivity below the potential of a very heterogeneous charcoal. In this transformation of the wood into charcoal in the masonry kilns, there is a marked dichotomy in which, in a first step, heating and retention of the heat is necessary and, subsequently, the dissipation of the energy contained in the system to remove the cargo produced, which ends up raising production time and, consequently, reducing productivity. It is important to emphasize that in this initial phase, the conversion itself, there is little or no margin for reducing time, more subordinate to the characteristics of the raw material, and also aims to ensure the quality of the final product. In this context, the objective of this research was to develop a new masonry experimental kiln for the production of charcoal which contemplates shorter cycles, raising productivity and, simultaneously, ensuring the quality of the charcoal. Thus, the research focus was given to the cooling phase, and strategies were developed to accelerate the cooling of the charcoal, which, in this case, was externalized to the kiln, making it available more quickly for the beginning of a new productive cycle. The kiln allowed the rapid removal of the still heated charcoal, directing it to a metal container which promoted the accelerated cooling of the charcoal produced. The developed system made possible a significant reduction of the carbonization time, reducing the cooling stage to only 2 hours inside the kiln and 10 hours in the metallic container. The charcoal produced had adequate characteristics for both steel use and food cooking. In addition, the developed kiln showed a better economic performance when compared to the circular surface kiln, presenting viability in both analyzed scenarios.

Keywords: Carbonization; Charcoal cooling; Cycle reduction; Economic viability

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Bioenergia representada por florestas, resíduos agrícolas, biomassas processadas e biocombustíveis, é a maior fonte de energia renovável do planeta, respondendo pela maior parte da energia renovável dentro do mix de energia, representando 10% do fornecimento global (WEC, 2016). Além disso, a biomassa oferece a vantagem de ser convertida em combustível sólido, líquido e gasoso, sendo que os biocombustíveis líquidos são predominantes nas Américas, a lenha e o carvão vegetal na Ásia e África e, a utilização para a geração combinada de calor e energia, na Europa (WEC, 2016). O Brasil não se difere significativamente dos números de fornecimento energético global por biomassa, sendo que somente a lenha e o carvão vegetal foram responsáveis por aproximadamente 8% da oferta interna de energia em 2017 (BRASIL, 2018).

Segundo a Fundação das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2014) o carvão vegetal apresenta uma série de vantagens quando comparado a lenha, tais como: maior densidade energética; otimização do transporte e armazenamento; umidade inferior; menor liberação de fumaça e poluição de ambientes internos; além disso o carvão vegetal pode ser utilizado na siderurgia, na melhoria de propriedades do solo e na indústria química como adsorvedor; sendo altamente resistente a deterioração biológica e requerindo pouco ou nenhum preparo antes de ser utilizado.

A produção de carvão vegetal, entretanto, além da concorrência ainda enfrenta inúmeras dificuldades a serem superadas. Dentre as adversidades destacam-se: carência de mão de obra qualificada com conhecimento técnico, desarraigado do processo tradicional subjetivo a experiência prática do carbonizador; dificuldade de adequação das características da matéria-prima utilizada, como alta umidade e variação das dimensões; influência das variáveis ambientais como a temperatura e umidade relativa do ar, que dificultam uma produção mais homogênea; a falta de controle do processo de conversão que, associados aos demais fatores, culminam em baixo rendimento e baixa qualidade do produto.

Além dos desafios supracitados, em especial, destaca-se a diversidade de técnicas empregadas para carbonização, sendo que, a grande maioria do carvão ainda é fabricado de maneira arcaica e com pouco rendimento. Esta técnicas, frequentemente, levam a exposição do trabalhador a condições insalubres e poluem o ambiente com a liberação indiscriminada

de gases poluentes. A evolução do processo de carbonização não vem acompanhando o desenvolvimento tecnológico que aconteceu em outras áreas do campo nas últimas décadas.

De maneira geral, a falta de investimento para o progresso da produção de carvão vegetal pode ser creditada a sua desvalorização como fonte energética, a escassez de políticas públicas efetivas para o setor, aos estigmas advindos das produções mais primitivas e ao baixo valor agregado do carvão vegetal, sensível demais as intempéries do mercado nacional e global. Estes fatos acabam por desestabilizar economicamente o setor, suprimindo a constância de propósito para o desenvolvimento e melhoria das tecnologias.

O que se observa, na prática, diz respeito à ampliação dos fornos retangulares pelas grandes empresas e a utilização de queimadores para combustão de gases poluentes, havendo poucas investidas, em escala experimental, nos sistemas periféricos como: controle da carbonização por sistemas supervisórios de temperatura e automação de fornos; resfriamento artificial; secagem forçada da madeira; e recuperação dos gases gerados.

Algumas iniciativas objetivando a redução do tempo demandado para o resfriamento vêm sendo estudadas, como a utilização de tijolos com encaixes para construção de fornos e aplicação de argamassas especiais para revestimento externo e, menos frequente, interno dos fornos. Os objetivos destas melhorias estão focados na vedação dos fornos, minimizando a passagem de ar e oxigenação durante o resfriamento.

Além disso, alguns equipamentos para arrefecimento forçado de fornos retangulares já foram testados por empresas do setor siderúrgico e instituições de pesquisa, os denominados trocadores de calor. Os trocadores são dispositivos utilizados para transferir calor entre dois fluídos em diferentes temperaturas. Segundo Çengel et al. (2012), a transferência de calor ocorre por meio de um escoamento cruzado sobre bancos de tubos em que um fluido se moverá dentro dos tubos enquanto o outro se move perpendicularmente aos tubos, removendo o calor. Neste caso o fluido a ter energia dissipada é representado pelos gases do interior do forno e, o fluido para remoção da energia, pode ser composto por ar ou água. Deste modo, objetiva-se a redução do tempo de resfriamento, acarretando na redução de custos em função do menor número de fornos para suprir uma determinada demanda.

É diante da procura por fontes energéticas sustentáveis e da necessidade de melhoria nas tecnologias de produção de carvão vegetal que esta pesquisa objetivou desenvolver e

avaliar uma nova metodologia de carbonização da madeira, visando o incremento da produtividade por meio da redução do tempo demandado para o resfriamento.

Para melhor compreensão este trabalho foi desenvolvido em capítulos:

Capítulo 1. Introdução Geral, anteriormente apresentada.

Capítulo 2. Aspectos da produção de carvão vegetal

Este capítulo explana brevemente sobre o cenário atual da produção de carvão vegetal, principais fornos utilizados, resfriamento artificial de fornos e mecanismos envolvidos na carbonização.

Capítulo 3. Desempenho de forno experimental de carbonização com produtividade incrementada pelo resfriamento externo do carvão vegetal

Neste capítulo foram avaliadas as curvas térmicas das carbonizações, os tempos e os rendimentos do processo, bem como as características da madeira utilizada e do carvão vegetal produzido.

Capítulo 4. Viabilidade econômica do forno “Rampa” em diferentes cenários

Neste capítulo foram simulados dois projetos, baseados nos fornos utilizados nesta experimentação, diante de diferentes cenários, visando fornecer subsídios para auxiliar na escolha de investimentos e futuras pesquisas.

## 2. CONCLUSÕES

As faixas de temperatura estipuladas e a utilização do pirômetro nas carbonizações resultaram em carvão vegetal com qualidade satisfatória para siderurgia e cocção de alimentos, exceto pela baixa densidade a granel, correlacionada a baixa densidade da madeira.

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi satisfatório e, provavelmente, pode ser elevado utilizando madeira com menor teor de umidade e maior teor de lignina.

O container metálico reduziu substancialmente o tempo demandado para o resfriamento da massa de carvão produzida.

O sistema projetado possibilitou a significativa redução do tempo demandado para realização de um ciclo de carbonização da madeira em fornos de alvenaria.

Nos dois cenários avaliados (mercado de cocção e mercado siderúrgico), ambos os conjuntos de fornos se apresentaram viáveis economicamente por todos os índices econômicos calculados.

O sistema de fornos “Rampa” apresentou melhor desempenho econômico que os fornos de superfície em ambos os cenários, ou seja, apresentou maior lucro. Os fornos “Rampa” apresentaram melhores índices nos dois cenários, exceto para o Período de Retorno do Investimento e Taxa Interna de Retorno Modificada, os quais foram influenciados pelo menor dispêndio financeiro para implantação do sistema de fornos circulares de superfície.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**: Carvão Vegetal - Determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1981. 2p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno, em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010. 7p.



ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14782**: Caçamba estacionária de aplicação múltipla operada por poliguindaste. Rio de Janeiro, 2005. 10 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2002. 3p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ALFENAS HOJE. 2014. Produção de carvão vegetal no Brasil e o atual estágio das tecnologias para aproveitamento dos gases do processo. Disponível em: [http://www.alfenashoje.com.br/noticia.asp?id\\_noticia=7764](http://www.alfenashoje.com.br/noticia.asp?id_noticia=7764) Acessado em: 05 de jun. 2018.

APERAM BIOENERGIA, 2018. Aperam BioEnergia investe em inovação e sustentabilidade. Disponível em: <http://aperambioenergia.com.br/aperam-bioenergia-investe-em-inovacao-e-sustentabilidade/>. Acessado em 25 de jul. 2018.

ARRUDA, T.P.M. **Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares**. 2005. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Minas Gerais.

ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; ACOSTA, F. C. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, pp 949-955, 2011.

ASSIS, M. R. BRANCHERIAU, L.; NAPOLI, A.; TRUGILHO, P.F. Factors affecting the mechanics of carbonized wood: literature review. **Wood Science and Technology**, v.1, n.3, pp 519-536, 2016.

ATKINSON, A. A.; BANKER, R. D.; KAPLAN, R. S.; YOUNG, S. M. **Management Accounting**. 3<sup>rd</sup> edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

BAER FILHO, R. **Aspectos econômicos, ambientais e técnicos de três tecnologias para produção de carvão vegetal**. 2008. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

BARCELLOS, D. C., COUTO, L. C., MULLER, M. D. The state of the art of eucalypt timber quality for energy production: a focus on silvicultural treatments. **Biomassa & Energia** 2 (2), 141-158. 2005.

BARBIERI, J.C.; ÁLVARES, A.C.T.; MACHINE, C. Taxa interna de retorno: controvérsias e interpretações. **GEPROS**. v.5. pp 131-142, 2007.

BIOCOAL. 2004. Traditional Earth Mound Kiln & charcoal consumption. Disponível em: <https://www.biocoal.org/earth-mound-kiln/>. Acessado em: 05 de jun. 2018.

BORDET FRÈRES, 2018. Charbon de bois. Disponível em: <http://www.bordet-freres.fr/>. Acessado em 07 de jun. 2018.

BRAND, M.A.; RODRIGUES, A.A.; OLIVEIRA, MACHADO, M.S.; ZEN, L.R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v.39, n.6, pp. 1165-1173, 2015.

BRASIL (2018). Ministério de Minas e Energia. **Relatório Final: Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017. 294 p. Disponível em:

<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018.pdf>. Acessado em: 29 de out. 2018.

BRITO J.O. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. Documentos Florestais. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, 9: 1-19, 1990.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, 1993. 6 p. (Circular Técnica, 181).

BRITO, J. O. Situação e desafios do uso da madeira para energia no Brasil. In: II Encontro brasileiro de silvicultura, 46 p., 2011, Campinas. **Anais...** Campinas: SP, Semana Florestal Brasileira, 2011. Disponível em: <http://www.ipef.br/eventos/2011/ebs.asp>. Acessado em: 25 de jul. 2018.

BRASIL. Ministério da ciência, tecnologia e inovação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015. 154p. Disponível em: [https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Carvao\\_Vegetal\\_WEB\\_02102015\\_10225.PDF/a3cd6c7c-5b5b-450a-955b-2770e7d25f5c?version=1.3](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Carvao_Vegetal_WEB_02102015_10225.PDF/a3cd6c7c-5b5b-450a-955b-2770e7d25f5c?version=1.3). Acessado em: 25 de jul. 2018.

CARDOSO, M. T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira**. 2010. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010.

CARNEIRO, A.C.O.; LANA, A.Q.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B.L.C.; SALLES, T.T. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da produção de carvão vegetal em fornos circulares com baixa emissão de poluentes**. 2012. 41p. CNA – Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária. CEPEA/ESALQ. Viçosa – MG. 2012.

CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, A. C. **Produção Sustentável de Carvão Vegetal**. 39p. v1. 1. ed. Viçosa - MG, 2013.

ÇENGEL, Y.A; GHAJAR, A.J. **Transferência de Calor e massa: uma abordagem prática**. 906 p. Porto Alegre: AMGH, 4 ed., 2012.

CI FLORESTAS. 2016. Carvão Vegetal Reúne Especialistas em Minas. 2016. Disponível em: [www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?tit=carvao\\_vegetal\\_reune\\_especialistas\\_em\\_minas&id=12667](http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?tit=carvao_vegetal_reune_especialistas_em_minas&id=12667). Acessado em: 11 de dez. 2016.

COLOMBO, S. de F. de O.; HATAKEYAMA, H.; PILATTI, L. A. O custo de produção como fator determinante do futuro da produção artesanal de carvão vegetal no Brasil. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006.

COSTA, T.G.; BIANCHI, M.L.; PROTÁSIO, T.P., TRUGILHO, P.F.; PEREIRA, A.J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **CERNE**, v.20, n.1, pp. 37-46, 2014.

DIAS JÚNIOR, A. F. **Carvão vegetal para cocção de alimentos: aspectos mercadológicos e de qualidade para o consumo**. 2018. 105p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2018.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; BRITO, J. O.; MILAN, M. Desdobramento da função de qualidade na avaliação da qualidade do carvão vegetal utilizado para cocção de alimentos. **Floresta & Ambiente**, v. 22, n. 2, 2015.

DPC Processos Termoquímicos. Disponível em: <http://dpcbiomassa.com.br/>. Acessado em: 30 de out. 2018.

FAO. Faostat. Statistics Database. Disponível em: <http://www.fao.org/statistics/en>. Acessado em 25 de jul. 2018.

FAO - Fundação das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Bioenergy and food security rapid appraisal. Section 3: Charcoal.** 55p. 2014.

FÁVERO, G. C.; VALLE, R. M.; DUARTE, T. M. Análise térmica de um sistema de combustão de alcatrão em fornos retangulares para secagem da madeira. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 8., 2007, Cusco. **Anais...**, Peru: PUCP, 2007, 343-347.

FERREIRA, L. H. C. **Desenvolvimento de uma retorta metálica para carbonização da madeira.** 1988. 47p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1988.

FREDERICO, P. G. U. Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

GIARDINI, L. F. M. R.; TIBIRIÇA, A. M. B. Modelagem e simulação cfd de trocador de calor para condicionamento de ar. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 4, p. 040-042, 2016. Disponível em: <https://jcec.ufv.br/index.php/req2/article/view/140/166>. Acessado em: 30 out. 2018.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDIWING, C. H. (Eds). **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions.** John Wiley e Sons, 1971. Cap. 6.

HARD RAIN PROJECT. 2018. Roadmap to a sustainable future. Disponível em <http://www.hardrainproject.com/hrpl?n=6247>. Acesso: 05 de jun. 2018.

IBÁ – Indústria brasileira de árvores. **Relatório Anual: ano base 2016.** 80 p. Brasília, 2017. Disponível em: [https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf). Acessado em: 29, out. 2018.

IEA – International Energy Agency. **Key world energy statistics: 2017.** 97 p. Paris, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>. Acessado em: 29, out. 2018.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Pesquisador do INPE desenvolve sistema para eliminar fumaça das carvoarias. 2008. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=1690](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1690). Acessado em: 30 de out. 2018.

KASSAI, J.R.; KASSAI, S.; SANTOS, A.; ASSAF NETO, A. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial.** São Paulo: Atlas, 1999. 280p.

KEELLING, R. **Gestão de Projetos: uma abordagem global.** 3ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2014, 286 p.

LANA, A.Q. **Desenvolvimento e avaliação de uma fornalha metálica para combustão dos gases da carbonização da madeira.** 2014. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2014.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: **Produção e utilização do carvão vegetal**. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. p. 75-89. 1982.

MEZERETTE, C. e GIRARD, P. 1996. **Environmental Aspects of Gaseous Emissions from Wood Carbonisation and Pyrolysis Processes**. Centre Technique Forestier Tropical, France, 20 p.

MINAS GERAIS. **Lei nº18.365**, de 01 de setembro de 2009. Altera a Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado, e o art. 7º da Lei Delegada nº 125, de 25 de janeiro de 2007, que dispõe sobre a estrutura orgânica básica da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, e dá outras providências.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. Cotações de silvicultura. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/silvicultura>. Acessado em 25 de jun. de 2018.

OLIVEIRA, A.C. CARNEIRO, A.C.O.; BARCELOS, D.C.; RODRIGUEZ, A.V.; AMARAL, B.M.N.; PEREIRA, B.L.C. Resfriamento artificial em fornos retangulares para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 769-778. 2015.

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A.C.O.; PEREIRA, B.L.C.; VITAL, B.R.; CARVALHO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; DAMÁSIO, R.P. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 557-566, 2013.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; ALMEIDA, W.A.; PEREIRA, B.L.C.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. 2010. **Scientia Forestalis**, v.38, n.87, pp. 431-439, 2010.

OLIVEIRA FILHO, D.; TEIXEIRA, C. A.; SILVA, J. S.; REIS, H. O.; VOROBIEFF, C. L. Resfriamento rápido de fornos de carbonização. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 1023-1032, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n6/a04v30n6>. Acessado em: 30 de out. 2018.

OLIVEIRA, J. B.de.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: **Produção e utilização de carvão vegetal**. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 1982.

OLIVEIRA, A. C. **Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal**. 2012. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012.

ONDATEC, 2018. Tecnologia do carvão limpo. Disponível em: <http://www.ondatec.com/>. Acessado em 25 de jul. 2018.

OSBORN, G. Review of sulphur and chlorine retention in coal-fired boiler deposits. **Fuel**, v.71, pp.131-142, 1992.

PEREIRA, 2012. **Qualidade da madeira de eucalyptus para a produção de Carvão vegetal**. 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012.

PEREIRA, B.L.C; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, A.C.; FONTES, M.P.F. Influence of Chemical Composition of *Eucalyptus* Wood on Gravimetric Yield and Charcoal Properties. **BioResources**, v.8, n.3, p 4574-4592. 2013.

PIMENTA, A.S.; BARCELLOS, D.C. **Como produzir carvão para churrasco**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2000. 76p.

PINHEIRO, P.C.C.; SAMPAIO, R.S.; REZENDE, M.E.A; VIANA, E.A. **Produção de carvão vegetal: Teoria e Prática**. 2006. Belo Horizonte - MG. 1ª edição, 120p.

PRÓCARVÃO - Programa de qualificação e certificação do carvão vegetal no estado de São Paulo. **Relatório descritivo SEBRAE**. São Paulo. 2002. 63p.

PROTÁSIO, T. P., TRUGILHO, P. F., NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Canonical correlation analysis between characteristics of Eucalyptus wood and charcoal. **Scientia Forestalis** v.40, n.95, pp. 317-326, 2012.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: Fórum nacional sobre carvão vegetal, 1., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SANTOS, I.S.S. **Resfriamento artificial de carvão vegetal em fornos de alvenaria**. 2013. 98p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2013.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003. **Diário Oficial do Poder Executivo**, São Paulo, SP (2003 jul).

RAAD, T. J. **Simulação do processo de secagem e carbonização do *Eucalyptus spp***. 2004. 115p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2004.

REVISTA FATOR BRASIL, 2007. Carvão vegetal. Disponível em: [http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver\\_noticia.php?not=9429](http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=9429). Acessado em 28 de jul. 2018.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 3ª ed. Viçosa: UFV, 2013, 385 p.

REZENDE, M. E. **Produção de carvão vegetal – importância do conhecimento fundamental**. Belo Horizonte, 2006. Curso: Fundamentos e práticas da carbonização da biomassa, ministrado durante o Seminário: Prática, logística, gerenciamento e estratégias para o sucesso da conversão da matéria lenhosa em carvão vegetal para uso na metalurgia e indústria.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2011.

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.

SABINO, Millena Gomes; TIBIRIÇÁ, Álvaro Messias Bigonha. Modelagem e simulação cfd de trocadores de calor compactos tipo tubo aletados com aletas modificadas. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 0214-0219, jul. 2018. Disponível em: <https://jcec.ufv.br/index.php/req2/article/view/361/495>. Acessado em: 31 out. 2018.

SANTOS, E. Queima de Gases da Carbonização e Recuperação de Licor Piro lenhoso - Aperam BioEnergia, 31p. 2014. In: III Fórum Nacional Sobre Carvão Vegetal. Belo Horizonte. Anais... Belo

Horizonte - MG. Disponível em: <http://www.sif.org.br/evento/forum-nacional-sobre-carvao-vegetal>. Acessado em: 19 set. 2017.

SANTOS, E. Queima de Gases da Carbonização e Recuperação de Licor Piro lenhoso - Aperam BioEnergia, 31p. 2014. In: III Fórum Nacional Sobre Carvão Vegetal. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte - MG. Disponível em: <http://www.sif.org.br/evento/forum-nacional-sobre-carvao-vegetal>. Acessado em: 19 set. 2017.

SANTOS, I.S.S. **Resfriamento artificial de carvão vegetal em fornos de alvenaria**. 2013. 98p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2013.

SANTOS, S.F.O.M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Resolução nº 40 SAA**, de 14 de dezembro de 2015. Diário Oficial do Poder Executivo, São Paulo, SP (2015 dez).

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 2ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T 222 om-02. Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. 2002, 5p.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, São Paulo, n. 79, p.47-69, nov. 2007.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relationships among chemical properties, physical and energy wood properties of five cerrado species. **Ciência Florestal** v.20, n.1, pp 137-145, 2010.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro – ES. 2008. p. 196-246.

YANG, H., YAN, R., CHEN, H., LEE, D.H., AND ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v.86, 1781-1788. 2007.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **University Physics with Modern Physics**. Santa Bárbara: Pearson, 14 ed. 2015.

WANG, S.; WANG, K.; LIU, Q.; GU, Y.; LUO, Z.; CEN, K.; FRANSSON, T. Comparison of the pyrolysis behavior of lignins from different tree species. **Biotechnology Advances**, n. 27, p. 562–567, 2009.

WEC – World Energy Council. 2016. **World Energy Resources 2016: Full Report**. 1028p. Disponível em: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources\\_Report\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources_Report_2016.pdf). Acessado em 25 de jul. 2018.