



## REDUÇÃO DE METANO NO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO UTILIZANDO UM QUEIMADOR DE GASES

Lívia Martins Alves<sup>I</sup>, Artur Queiroz Lana<sup>II</sup>, Angélica de Cássia Oliveira Carneiro<sup>III</sup>,  
Benedito Rocha Vital<sup>III</sup>, Márcio Aredes<sup>IV</sup>, Carlos Miguel Simões da Silva<sup>V</sup>

<sup>I</sup> Graduanda em Engenharia Florestal pela UFV – Universidade Federal de Viçosa.

E.mail: [liviamalves18@gmail.com](mailto:liviamalves18@gmail.com)

<sup>II</sup> Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP

<sup>III</sup> Departamento de Engenharia Florestal da UFV - Universidade Federal de Viçosa.

<sup>IV</sup> Departamento de Engenharia Agrícola da UFV - - Universidade Federal de Viçosa

<sup>V</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV - Universidade Federal de Viçosa

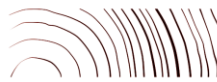
### Resumo

O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, porém a produção brasileira ainda é majoritariamente feita em fornos rudimentares de alvenaria e com emissão não controlada de gases poluentes. Esses gases, além de promover uma condição insalubre de trabalho, causam diversos impactos ambientais. Com isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência de um queimador de gases na redução de gás metano ( $CH_4$ ) durante o período de carbonização em forno circular de alvenaria. Para tal experimento foram realizadas cinco carbonizações, com faixas de temperatura predefinidas, utilizando-se madeira de *Eucalyptus* sp., na Unidade Experimental de Carvão Vegetal da Universidade Federal de Viçosa - MG. Para caracterização do gás Metano foram realizadas coletas, com intervalo de 1 hora durante o processo, utilizando um analisador de gases *gasboard 9030 Whan CUBIC Optoelectronics Co.* Foram determinadas as concentrações antes (duto) e após (chaminé) o queimador de fumaça para averiguar a redução das emissões desses gases. A queima dos gases levou à redução média de 88% de metano durante o período em que houve combustão. Conclui-se que a utilização de um queimador de gases acoplado ao forno de produção de carvão vegetal reduz significativamente a emissão do gás metano durante o processo, contribuindo para melhorar a condição de trabalho local, além de reduzir os impactos ambientais gerados por essa atividade.

**Palavras-chave:** Carvão vegetal, gases poluentes, forno circular.

### Abstract

Brazil is the largest producer and consumer of charcoal in the world, but the Brazilian production is still mostly made in rudimentary ovens masonry and uncontrolled emission of polluting gases. These gases, beyond promote an unhealthy working condition, cause many environmental impacts. The objective of this study was to evaluate the efficiency of a gas burner in the reduction of methane ( $CH_4$ ) emission during the carbonization period on circular masonry oven. For this experiment were made five carbonization, with predefined



temperature ranges, using *Eucalyptus* sp in Experimental Unit of Charcoal at the Federal University of Viçosa. - MG. To characterize the methane gas, samples were taken, with 1 hour break during the process, using the gas analyzer gasboard 9030 Whan CUBIC Optoelectronics Co. Concentrations were determined before (pipeline) and after (chimney) the gas burner to ascertain the reduction of gas emissions. The burning of the gases led to an average reduction of 88% methane during the period in which there was combustion. It was concluded that the use of a gas burner attached to the production of charcoal oven significantly reduces the emission of methane gas in the process, helping to improve the local working condition and the environmental impacts caused by this activity.

**Keywords:** Charcoal, greenhouse gases, circular oven.

## 1. INTRODUÇÃO

O carvão vegetal destina-se quase exclusivamente ao setor siderúrgico como insumo termorreductor do minério de ferro para produção de ferro gusa, aço e ferro-ligas. Um percentual menor é destinado às indústrias cimenteira e ceramista, ao uso comercial em churrascarias e padarias, além do uso residencial para cocção de alimentos e aquecimento (ABRAF, 2012).

Atualmente o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal. Quase 20% da área total com plantios de eucalipto no Brasil são destinados à produção desse insumo (ABRAF, 2013), gerando um interesse considerável por parte de pesquisadores em novas tecnologias que visem a diminuição dos problemas enfrentados durante o processo de carbonização bem como a redução na liberação de gases poluentes agravantes do efeito estufa para a atmosfera.

Apesar dos avanços tecnológicos já alcançados, a produção de carvão vegetal no Brasil ainda é realizada majoritariamente em fornos rudimentares de alvenaria no sistema de “bateladas” (intermitente) (BRITO, 2010). Segundo esse autor, 60% da produção é realizada em fornos do tipo rabo-quente; 20% em fornos retangulares; 10% em fornos de superfície; e os 10% restantes utilizam outros tipos de tecnologias. Os fornos do tipo rabo-quente, os mais utilizados, possuem baixo rendimento gravimétrico e não possuem controle de emissão de gases tóxicos, causando impactos econômicos e ambientais.

Segundo Brito *et al.* (2013), tem-se observado o interesse pela combustão em fornalhas dos gases gerados durante a produção do carvão vegetal. O aproveitamento desses gases visa à redução de emissões gasosas, o que por si só significaria uma grande contribuição

ambiental, como também a possibilidade de obtenção de energia térmica, em uma primeira etapa, e talvez elétrica, em uma etapa mais avançada de desenvolvimento.

Cardoso (2010) e Costa (2012) afirmam que as fornalhas conferem aspecto salubre às unidades de produção de carvão vegetal e contribuem para o processo de carbonização, realizando a exaustão de gases do interior do forno, em função da pressão manométrica negativa gerada no sistema pela chaminé do queimador.

Assim o desenvolvimento e utilização de tecnologias que visem a recuperação ou queima de gases são de grande importância frente à atual preocupação com o aquecimento global, resultado da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e pela preocupação por parte dos países desenvolvidos ao cumprimento das metas estipuladas no Protocolo de Quioto ou pelos incentivos econômicos do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) que propiciam o desenvolvimento de projetos que estimulem a redução da emissão de GEE.

A redução das emissões de gases de efeito estufa na carbonização, por meio da combustão dos mesmos, além das vantagens para o meio ambiente, pode ser economicamente interessante, a partir da possibilidade de gerar projetos de créditos de carbono, pois há, nesse processo, a redução da emissão, principalmente de metano, que é cerca de 21 vezes mais nocivo que o dióxido de carbono (ELK, 2010), o que confere também grande potencialidade para a inserção do processo no mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

Segundo Pennise (2014), a utilização de fornalhas para combustão dos gases diminui consideravelmente o aspecto visual e o efeito tóxico da emissão, cuja inalação pode desencadear doenças respiratórias e carcinomas, o que contribui positivamente para as condições de trabalho nas proximidades.

Tendo em vista a importância na redução de gases agravantes do efeito estufa no processo de produção de carvão vegetal este trabalho visa como objetivo principal a redução de metano ( $CH_4$ ) durante o período de carbonização utilizando-se um queimador de gases. Os objetivos específicos consistem na obtenção das concentrações de metano em função das temperaturas de carbonização bem como os percentuais médios de redução de metano nas diferentes fases da carbonização.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, vinculado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, situada no município de Viçosa em Minas Gerais.

### **2.1. Forno**

Para proceder à combustão dos gases foi adotado um queimador de gases acoplado a um forno circular, através de um duto metálico para condução dos gases. Optou-se por esse tipo de forno para receber queimador por ser de baixo custo, fácil construção e bastante difundido entre os pequenos e médios produtores de carvão vegetal, principalmente no Estado de Minas Gerais.

O forno possuía capacidade de 12 st, aproximadamente 8,5 m<sup>3</sup> de madeira. Foi construído em tijolos maciços cerâmicos e revestidos externamente por uma argamassa especial, com o objetivo de reduzir possíveis entradas de ar e perdas térmicas e também aumentar a sua durabilidade. Ao nível do solo e piso no interior do forno haviam seis aberturas de 10 x 15 cm, uniformemente distribuídas em suas duas laterais, para entrada de ar.

A abertura e o fechamento das entradas controlavam a oxigenação do sistema e, conseqüentemente, as temperaturas, auxiliando a condução da carbonização. A porta do forno foi construída em formato trapezoidal, com base maior de 90 cm, base menor de 70 cm e altura de 150 cm. Uma cinta metálica de 3/8 polegada foi instalada ao redor do forno, externamente, dando estabilidade ao forno às pressões internas dos gases durante a carbonização e às forças gravitacionais incidentes sobre a copa.

Para o controle da carbonização foram inseridos oito poços metálicos (cilindros metálicos com fundo fechado): quatro localizados na copa a 1,70 m e quatro laterais a 60 cm em relação ao solo, distribuídos entre as aberturas para admissão de ar. Para medir as temperaturas do forno, utilizou-se um sensor infravermelho, pirômetro, com capacidade de aferir temperaturas entre - 30 e 550°C.

### **2.2. Transporte dos gases até o queimador**

A condução dos gases do forno até o queimador foi realizada por um duto dotado de uma válvula borboleta, para controle da carbonização. O duto para condução dos gases possuía 38 cm de diâmetro interno e 80 cm de comprimento. Um tubo de cobre foi inserido no

duto, para coleta dos gases da carbonização e sua análise. Utilizou-se cola de silicone em gel para aderir e vedar os pontos de conexão com o termopar e também a mangueira coletora de gases. A vazão dos gases do forno foi controlada pela operação da válvula borboleta, operada manualmente, instalada no início do duto próximo ao forno, aproximadamente a 20 cm de distância da parede do forno.

### 2.3. Coleta e caracterização dos gases

Para avaliar a qualidade e a quantidade de gases emitidos durante a carbonização da madeira, utilizou-se um analisador de gás. A coleta de gases foi realizada continuamente durante as carbonizações, em intervalos regulares de 1 hora.

A coleta dos gases foi realizada por tubos de cobre inseridos até a metade do diâmetro interno de dois diferentes locais do sistema. O primeiro ponto de coleta foi no duto de condução dos gases do forno para o queimador, próximo ao forno, para evitar interferências de combustão da fornalha. O segundo ponto de coleta foi feito a 80% da altura total da chaminé, para evitar efeito da atmosfera na composição dos gases.

Os gases coletados foram tratados por um sistema de pré-lavagem, constituído por quatro frascos de kitassato em linhas, dentro de uma caixa de isopor. Os frascos foram parcialmente submersos em gelo, para diminuição da temperatura, a fim de reter a fração condensável dos gases. O gás percorria uma mangueira que transpassava centralmente a tampa de silicone de cada frasco e submergia no fluido no seu interior. Sua saída se dava pelo bico de abertura lateral do Kitassato (que funcionaram como frascos do tipo drechsel), seguindo assim para o próximo frasco e por último para o analisador de gás (Figura 2). O primeiro kitassato vazio foi utilizado somente para condensação dos gases, o segundo para lavagem dos gases em álcool 80%, o terceiro para lavagem em água e o quarto para lavagem em álcool 80%, novamente.

Após a pré-lavagem, os gases não condensados foram conduzidos até o sistema de condicionamento de gases do tipo *gasboard 9030 Whan CUBIC Optoelectronics Co. Ltda.*, no qual passaram por uma lavagem em água, resfriamento a 4°C em um desumificador (*chiller*) e posteriormente por um cilindro contendo carvão ativado e algodão. Em seguida, procedeu-se à última limpeza dos gases por meio de filtros de precisão, denominados FIT1 e FIT2, os quais retêm impurezas menores que 3 e 1 µm, respectivamente. Então os gases foram admitidos pelo sistema *online* de análise de *gasboard*, que forneceu leituras da composição

porcentual base volume de  $CH_4$ . A vazão média de sucção dos gases pelo equipamento foi de 1 L/minuto.

Utilizou-se um sistema de válvulas para alternar o fluxo de gases da saída do forno e da chaminé, o que permitiu que a concentração dos gases não condensáveis nos dois pontos fosse obtida em intervalos muito próximos. Para o estabelecimento de um equilíbrio completo na porcentagem dos gases dentro do analisador considerou-se um tempo mínimo de 10 minutos, após alterar o fluxo de gases. Esse tempo mínimo, associado à vazão de sucção dos gases de 1L/minuto, impediram leituras de concentração equivocadas com mistura dos gases advindos de locais diferentes no interior do sistema. A Figura 1 ilustra os sistemas descritos anteriormente.

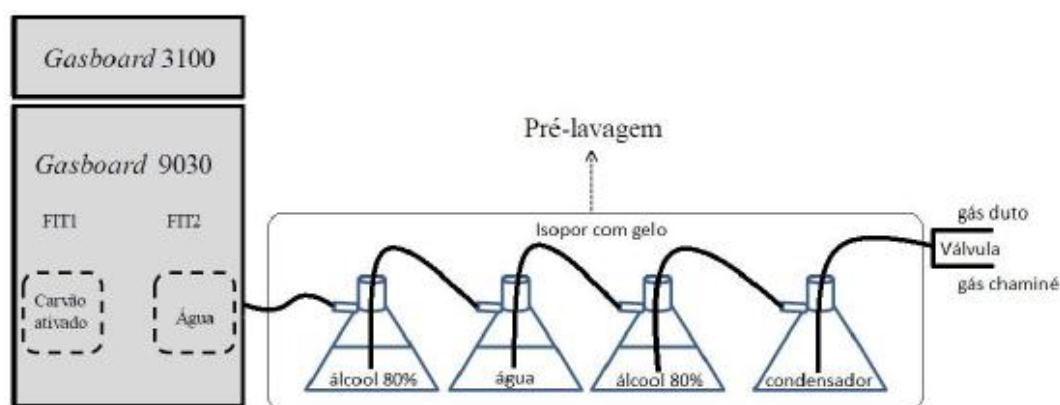


Figura 1-Sistema de lavagem, condicionamento e análise de gases

#### 2.4. Carbonização da madeira

Nas carbonizações da madeira foram adotados alguns critérios, para garantir a qualidade do processo. Cada carbonização foi dividida em quatro etapas, baseadas em esquema proposto por Oliveira *et al.* (2013), porém o tempo de duração das fases foram diferentes, assim como as temperaturas máximas, que foram reduzidas (Tabela 1).



Tabela 1 – Faixas estipuladas de temperatura média na cúpula do forno para controle da carbonização

Fase	Faixa de temperatura	Tempo de duração	Fenômenos
1	120 – 150 °C	24 horas	Secagem da madeira, fase endotérmica caracterizada pela grande liberação de vapor de água.
2	150 – 275 °C	12 – 16 horas	Degradação das hemiceluloses, eliminação de gases, fase endotérmica, ainda com presença de vapor de água.
3	275 – 375 °C	24 horas	Degradação da celulose, grande produção de gases, fase exotérmica. Formação do carvão vegetal.
4	375 – 400 °C	10 – 18 horas	Redução da emissão de gases, fase exotérmica. Aumento da concentração de carbono no carvão vegetal.

A primeira fase de secagem da madeira, com temperatura máxima de 150 °C, foi para efetuar a retirada de parte da umidade de forma mais lenta e evitar colapsos intercelulares e intracelulares por pressão de vapor. O tempo de permanência na fase de secagem foi determinado de acordo com o teor de umidade da madeira a ser carbonizada. A segunda fase consistiu na elevação da temperatura do forno até 275 °C, iniciando o processo de degradação térmica da madeira, com duração de 12 horas. Na terceira fase elevou-se a temperatura até 375 °C, acentuando-se a degradação térmica da madeira, com duração de 24 horas. Na quarta e última fase a temperatura máxima final foi fixada em 400 °C, evitando ultrapassar essa temperatura, adotada para garantir a carbonização de toda massa de lenha enfiada e o aumento da concentração de carbono no carvão vegetal. Essa fase teve duração variável, finalizando o processo de acordo com a redução do volume de gases e com a inspeção visual dos controladores de ar.

O término da carbonização e a vedação do forno foram determinados pela chegada da frente de carbonização nas últimas entradas auxiliares de ar do forno, localizadas mais próximas ao ponto de retirada de gases. Mesmo com a chegada da frente de carbonização, as entradas de ar foram mantidas por algum tempo, com aberturas reduzidas para garantir a carbonização nas imediações, até ser constatada a redução do volume dos gases da carbonização, que é acompanhada pela redução da temperatura no interior da fornalha. Depois as entradas de ar foram vedadas, dando início ao processo de resfriamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentados os valores médios da concentração de metano em função do tempo de carbonização.

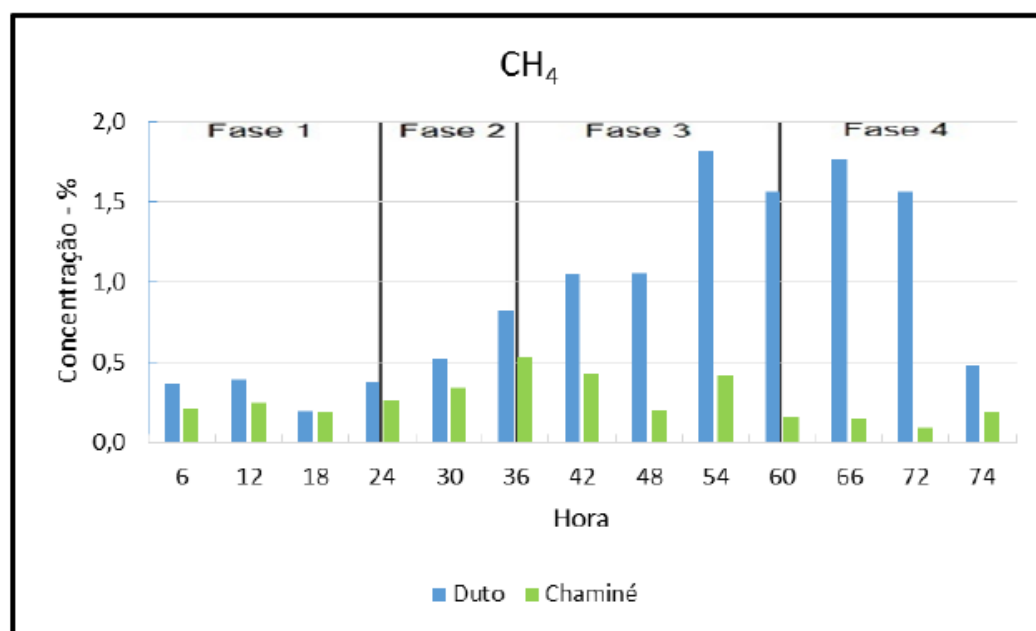


Figura 2 - Concentrações médias de  $CH_4$ , em função do tempo de carbonização

De modo geral, verificou-se o aumento gradativo das concentrações médias de metano no duto com o aumento da temperatura do forno, que apesar de não ultrapassar em média os 2% é bastante expressiva, pois ele é considerado 25 vezes potencialmente mais causador do efeito estufa do que o  $CO_2$ .

Observa-se que houve redução das emissões de metano na terceira e na quarta fase, da ordem de 88,03%, evidenciando sua combustão no queimador de gases. Valores superiores foram encontrados por Cardoso *et al.* (2010) relataram redução de 96% do metano após a queima dos gases e por Coelho (2013), de 99,8%. A baixa concentração de metano explica a não ocorrência de 100% de redução desse gás. Segundo Law (2006), o limite de inflamabilidade do  $CH_4$  varia entre 5 e 15%, a 1 atm. e 25 °C, no entanto, estes limites se alargam com o aumento da temperatura.

Observa-se na Figura 3 que houve um pico de emissão de metano na chaminé devido ao apagamento do queimador, ocasionado pelo grande volume de gases advindos do forno. Em seguida, constatou-se que a concentração de metano volta a ser reduzida, devido à nova



ignição do queimador e também em função do melhor equilíbrio e da melhor estabilidade do forno, obtidos com o controle dos gases de saída pela válvula borboleta e pela admissão de ar primário na fornalha.

Na Tabela 2 são apresentados os valores percentuais médios de redução alcançada pelo queimador de gases para o  $CH_4$  e CO, na terceira e na quarta fase e a redução média nessas duas fases, comparando-se as concentrações obtidas no duto e na chaminé.

Tabela 2 - Redução das concentrações na chaminé em relação ao duto

Redução nas Concentrações (%)			
Gases	3ª Fase	4ª Fase	Média
CO	81,18	91,31	86,24
$CH_4$	81,71	94,36	88,03

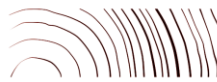
Observa-se que o queimador, quando operante, conseguiu reduzir grande parte da emissão dos gases nocivos para atmosfera. No entanto, melhores resultados poderiam ser obtidos com a utilização de materiais construtivos refratários para promover o amortecimento térmico e o isolamento do sistema. Além disso, a sincronia de vários fornos acoplados a um único queimador de gases, faz com que cheguem até a fornalha gases com poder calorífico suficiente para manter a temperatura da câmara alta o suficiente, realizando a combustão dos gases durante todas as etapas da carbonização, evitando o apagamento da chama no seu interior.

#### 4. CONCLUSÃO

A utilização do queimador para combustão dos gases reduz significativamente as concentrações de gás Metano ( $CH_4$ ) na massa de gás expelida pela chaminé, o que contribui para a mitigação do efeito estufa.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Lapem/UFV, FAPEMIG, Embrapa Floresta, SECTEC e CNPq.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2012. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. Brasília, 2012. 130p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. Anuário estatístico ABRAF: ano base 2012. Brasília, 2013. 148 p.

BRITO, J. O. Desafios e perspectivas da produção e comercialização do carvão vegetal. 2010. II Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal. Sete Lagoas – MG. 2010.

BRITO, J. O; CARNEIRO, A. C; TRUGILHO, P. F & RODRIGUEZ, A. V. Produção de Carvão Vegetal no Brasil e o Atual Estágio das Tecnologias para aproveitamento dos Gases do Processo. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/download.php?tabela=documentos&id=987&leitura=s>> Acesso em Julho de 2015.

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.

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. 2010. Cerne, v. 16, p. 115-124, 2010.

COELHO, M. P. Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de câmaras de combustão para gases oriundos do processo de carbonização de madeira. 2013. 78p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COSTA, J. M. F. N. Temperatura final de carbonização e queima dos gases na redução de metano como base à geração de créditos de carbono. 2012. 60f. Universidade Federal de Viçosa. Dissertação de mestrado. Viçosa, MG.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Share of total primary energy supply in 2008: energy statistics, 2010. Disponível em:< [http://www.iea.org/textbase/stats/pdf\\_graphs/29TPESPI.pdf](http://www.iea.org/textbase/stats/pdf_graphs/29TPESPI.pdf) >. Acesso em Julho de 2015.

LAW, C. K. Combustion Physics. Cambridge University press, 2006. 347p.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C.; VITAL, B. R.; CARVALHO, A. M. L.; TRUGILHO, P. F.; DAMÁSIO, R. A. 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.