



MONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE UM FORNO PILOTO PARA A PRODUÇÃO E RECUPERAÇÃO DO EXTRATO PIROLENHOSO PROVENIENTE DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA

Gustavo Henrique Lauff Machado¹, Isaque Furieri Luchi², Laís Berteli Bissi², Marcos Roberto Teixeira Halasz³

1. Aluno do curso de Engenharia Química da Faculdade Integradas de Aracruz (gustavolauff@gmail.com), Aracruz – Brasil.
2. Alunos do curso de Engenharia Química da Faculdade Integradas de Aracruz Aracruz – Brasil.
3. Professor do curso de Engenharia Química da Faculdade Integradas de Aracruz Aracruz – Brasil.

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

Os parâmetros controlados durante a produção de carvão vegetal na maioria dos processos atuais são avaliados de maneira rudimentar e subjetiva, o que por sua vez interfere diretamente no rendimento dos produtos e subprodutos, além da quantidade de poluentes emitidos. Este trabalho consiste no projeto, com auxílio do software *Solid Works*, e montagem de uma planta piloto para a carbonização da madeira e recuperação do extrato pirolenhoso, subproduto ainda pouco aproveitado. Foram realizados diversos testes no equipamento montado a fim de definir alguns parâmetros como: temperatura média ao final da carbonização, taxa de aquecimento, tempo de carbonização e taxa de conversão dos produtos e subprodutos. Após as carbonizações verificou-se um rendimento satisfatório tanto de carvão quanto de extrato pirolenhoso, viabilizando o modelo proposto. Por fim, foram realizados testes em laboratório para caracterização do extrato recuperado durante as carbonizações. Compararam-se os resultados obtidos com a norma da APAN (Associação de Produtores de Alimentos Naturais), uma vez que este é utilizado majoritariamente na agricultura, seja como pesticida ou fertilizante.

PALAVRAS-CHAVE: Forno tipo container, Carvão Vegetal, Licor pirolenhoso.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF A PILOT PLANT FOR THE PRODUCTION AND RECOVERY FROM PYROLIGNEOUS EXTRACT PROVIDED BY CARBONIZATION WOOD

ABSTRACT

Nowadays the parameters controlled during charcoal production in the majority of the processes are evaluated in a rudimentary and totally subjective way, therefore, yields of products and byproducts are directly affected. This research consists in a development, aided by the *Solid Works* software, and construction of a pilot plant of wood carbonization and pyrolysis liquids recuperation, product that, even nowadays,

is barely recovered. It were made several tests with the equipment developed, in order to set some parameters, such as: the mean carbonization temperature, heating rate, carbonization time and conversion rate of products and byproducts. After carbonizations it was noted a satisfactory yield of coal and also of extract pyroligneous, enabling then the model proposed. Finally, tests were performed in laboratory for characterization of the recovered extract during carbonizations. In the end the results obtained were compared with the standard of APAN (Producers Association of Natural Foods), since this product is used mostly in agriculture, either as pesticides or fertilizer.

KEYWORDS: pyroligneous liquor, container furnace, charcoal.

INTRODUÇÃO

As crescentes perspectivas da diminuição da oferta de combustíveis fósseis, as novas normativas ambientais e a demanda energética cada vez mais intensa são fatores que têm influenciado uma busca enérgica por fontes de energia alternativas, tais como a biomassa. O que é compreensível já que, segundo SEYE & PINHEIRO (2001), a biomassa é uma matéria prima energética importante, renovável e geralmente menos nociva ao meio ambiente quando comparado com combustíveis fósseis.

No Brasil a importância da biomassa dá-se não somente por ser uma fonte renovável, mas também pelo significado histórico e econômico no país. O carvão vegetal é uma das mais importantes fontes de biomassa nacionais, uma vez que no mundo, o Brasil é o maior produtor e consumidor deste, com até um terço da produção mundial interna. A maior parte do carvão produzido fica em território nacional e é consumido pelo setor industrial brasileiro, principalmente o siderúrgico (BEN, 2007).

Em contrapartida, percebe-se que o processo para produção de carvão vegetal no Brasil é extremamente rudimentar e ocorre em fornos de alvenaria sem controles do processo e por análises exclusivamente subjetivas, como cor da fumaça e o tato do operador (DIAS et al., 2002)

Outro fator atenuante é a quantidade de poluição emitida durante a conversão da madeira, apesar de oriunda de uma fonte renovável. Foram detectados inúmeros compostos poliaromáticos presentes na fumaça da carbonização, capazes de ocasionar toxicidade e mutagenicidade ao ser humano (PIMENTA et al., 1999).

Visto isto e considerando as condições insalubres nas instalações de carbonização da madeira, devido à exposição contínua dos operadores à fumaça, altas temperaturas e à poeira emitida, somado com a elevada perda energética devido a rusticidade do sistema, fez-se necessária a implantação de processos mais limpos e inovadores, que aumentassem, não somente o rendimento de carvão, mas também reaproveitassem os subprodutos ,diminuindo a emissão de poluentes e agregando valor ao processo. (PIMENTA et al., 1999; DIAS et al., 2002).

Um destes subprodutos provenientes da carbonização da madeira, dito por SCHNITZER (2009), e obtido através da condensação da fumaça, é o extrato pirolenhoso (EP), que além de possuir valor agregado maior do que o próprio carvão é utilizado em diversas áreas como: fertilizante orgânico, fungicida, repelente e nematicida. MISAYAKA et al., (2001) acrescentam algumas áreas para utilização do extrato, como o de bioestimulante para vegetais, condicionador do solo, repelente de insetos, acelerador do crescimento de raízes, contribuindo de várias formas para a diminuição do uso de defensivos agrícolas.

Segundo CAMPOS (2007) outro papel importante deste extrato é o de aditivo em alimentos e aromatizante dos mesmos, além de utilizado também, em banhos estéticos para o tratamento de peles ásperas.

Visto a gama de mercado e pelo EP provir da carbonização da madeira, o país, pode ser considerado produtor e consumidor, em potencial deste material. Dito isto há uma grande necessidade de melhoria nos sistemas de carbonizações brasileiros, o que por sua vez justifica pesquisas com intuito de agregar valor ao processo e reduzir a emissões de poluentes.

OBJETIVOS

Propor e montar uma unidade de produção e recuperação do extrato pirolenhoso em escala piloto, e operá-la para obtenção de dados a fim de nortear a montagem de um equipamento em escala industrial.

MATERIAL E METODOS

Neste estudo propõe-se o desenvolvimento de um forno piloto do tipo metálico e dos demais equipamentos para a obtenção do extrato pirolenhoso.

A primeira etapa consiste na escolha, com base na literatura e no custo-benefício dos equipamentos utilizados para construção do protótipo e viabilização da recuperação do extrato pirolenhoso. Para tal, fez-se necessário também o uso do software Solid Works, uma vez que através deste pode-se simular o projeto antes de iniciar sua montagem.

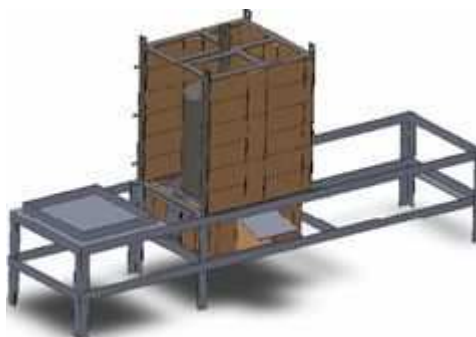


FIGURA 1 – Croqui do forno piloto projetado, utilizando o software Solid Works

Após essas etapas iniciais, divide-se o trabalho nos seguintes passos:

- Montagem dos equipamentos:

QUADRO 1 – DIMENSÕES DO EQUIPAMENTO

Câmara de combustão	Bases quadradas e laterais retangulares (Tijolos refratários)	486 X 600 X 250 mm (dimensões internas)
Câmara de externa		486 X 600 X 729 mm (dimensões internas)
Condensador	Cilíndrico (Metálico)	2 m (subida) x 4 m (descida sob 30°) x 0,075 m (diâmetro interno)

- Caracterização e preparação da matéria prima – toras de eucaliptos da espécie *Eucalyptus Grandis*;
- Procedimento para testes e definição de parâmetros do equipamento, como pode ser observado na Figura 2.



FIGURA 2 – Fluxograma do procedimento para testes da planta piloto

- Preparação da amostra de extrato pirolenhoso bruto para análise. Inicialmente é realizado um processo de separação, seja de decantação e/ou destilação, pois o extrato deverá estar livre de impurezas para então ser submetido à avaliação qualitativa, que através de métodos normatizados pela APAN, avalia os parâmetros do Quadro 2.

QUADRO 2 – PARÂMETROS DO PRODUTO EM ESTUDO

Parâmetro	Instrumento	Observação
pH	pHmetro	
Densidade	Densímetro	Temperatura de 25°C
Acidez Total(%) – Considerando Ácido Acético	Titulação volumétrica	1 ml de extrato, 99 ml de água destilada, fenolftaleína 1% e NaOH 0,1 N.
Cor	Colorímetro	
Transparência	-	Análise subjetiva
Condutividade Elétrica ok (mS / cm)	Medidor de condutividade elétrica	
Odor	-	Análise subjetiva

Toda parte experimental para produção do carvão foi realizada em parceria com uma empresa localizada no interior do estado do Espírito Santo, no decorrer do ano de 2012. A empresa montou o forno projetado pelos autores do trabalho.

Foram realizados testes com diferentes quantidades de madeira, da mesma espécie: *Eucalyptus Grandis*. O valor variou entre 25 kg à cerca de 40 kg de madeira.

Todos os testes mencionados no quadro 2, foram realizados no laboratório das Faculdades Integradas de Aracruz pelos próprios autores.

RESULTADOS

Como resultado da primeira etapa, a Figura 3 abaixo, mostra primeiramente o forno (forno metálico, caixa de areia, câmara externa e de combustão), e em seguida, o sistema completo (forno + condensador), já em operação.

Com o forno em operação pode-se coletar os dados necessários para as análises propostas, conforme indica o Quadro 3 em seguida. Foram feitas experiências de seis a oito horas, alternadamente, uma vez que estes eram os tempos médios, encontrados pela literatura a ser comparada.



FIGURA 3 – Equipamento completo (forno + condensador)

Outros dois parâmetros importantes calculados, em laboratório, e que não se encontram no quadro abaixo, foram os valores da densidade e umidade da madeira utilizada. Sendo estes: 0,599 g/cm³ para densidade e de 22,5% para umidade da madeira.

Segundo PIMENTA (2002) a carbonização do *Eucalyptus grandis*, mesmo material utilizado nos testes, deveria gerar (à base seca):

- 33,0 % de carvão com 86% de carbono fixo (CF);
- 35,5 % de ácido pirolenhoso;
- 6,5 % de alcatrão insolúvel;
- 25,0 % de gases não condensáveis.

No quadro 3 estão representados os valores alcançados no processo proposto pelos autores:

QUADRO 3 – RESULTADOS DAS CARBONIZAÇÕES

Duração	Temperatura máxima	Diâmetro médio das toras	Quantidade de madeira	Rendimento de Carvão	Rendimento de Extrato
6h (1)	252°C	103 mm	31 kg	23%	7,00%
8h (2)	292 °C	90 mm	36 kg	44%	5,17%
6h (3)	193°C	81 mm	33 kg	42%	3,35%
8h (4)	220°C	70 mm	29 kg	17%	3,51%

É possível observar que os resultados referentes ao rendimento de extrato pirolenhoso são significativos, porém inferiores ao informado por PIMENTA (2002), fato justificado pelo processo de troca térmica utilizado ser o mais simples possível, uma vez que, projetos de processos mais eficazes não são encontrados na literatura.

Já em relação ao carvão, o rendimento encontrado foi considerado satisfatório, comparado com a maioria dos processos rudimentares, hoje em operação no Brasil, e com o encontrado na literatura, como pode ser visto na Tabela 1 a seguir:

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE RENDIMENTOS DE CARVÃO

Rendimento médio de carvão do processo proposto	Rendimento esperado (PIMENTA, 2002)	Processos convencionais (BRITO, 1990)
32,37%	33%	16%

Mesmo que o rendimento médio de carvão tenha atingido o valor esperado, percebe-se no Quadro 5 que este oscilou bastante durante as fornadas, e isto está relacionado com a temperatura máxima obtida. A média desta foi de 240°C, valor inferior ao proposto por SÁNCHEZ (2003), que foi um valor próximo a 500°C.

Algumas razões que provavelmente afetaram a taxa de aquecimento foram levantadas, sendo a primeira delas: o fato de que o exaustor utilizado não teve a capacidade de manter a chama viva na câmara de combustão, problema corrigido ao inserir uma entrada de ar comprimido forçada, como pode ser visto na Figura 4, possibilitando então uma carbonização no tempo esperado (entre 6h – 8h).



Mangueira de ar comprimido

FIGURA 4 – Inserção de mangueira de ar comprimido

As dimensões da câmara de combustão também estão relacionadas com as baixas temperaturas atingidas, pois, toda vez que se aumentava a vazão do ar comprimido e conseqüentemente a chama do processo, esta atingia parte do material a ser carbonizado, que começava a entrar em combustão, logo, parte do material não era pirolisado e sim queimado, reduzindo o rendimento de carvão. Tal situação pode ser evitada aumentando o tamanho da câmara de combustão.

Ao começar a operar a planta piloto verificaram-se pequenos vazamentos que poderiam afetar no rendimento do extrato produzido, bem como, reduzir a temperatura interna do forno. Isto ocorreu, pois o sistema era fechado apenas com 6 parafusos, 3 em cada lado da tampa, como demonstra a Figura 5a.

Algumas possibilidades foram levantadas, não só para aumentar a eficiência na coleta do extrato, mas também para não prejudicar a saúde dos operadores. A utilização de um polímero especial ou até mesmo silicone que resistisse a altas temperaturas, seriam duas opções, porém devido ao baixo custo, boa eficiência, tanto para vedação e isolamento térmico, e ao fato de já ser utilizado em alguns processos em escala industrial, o barro foi escolhido para melhorar a vedação do processo, conforme indica a Figura 5b.

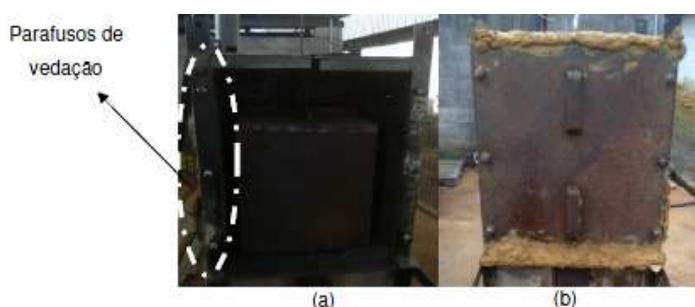


FIGURA 5 (a) – Representação dos parafusos de vedação;
(b) – Barro utilizado na vedação o do sistema.

Outro problema levantado, também relacionando com o exaustor, que além de não ser o suficiente para manter a combustão, retinha parte do material condensado no seu interior, representado na Figura 6. Isto poderia prejudicar o seu funcionamento ou até mesmo queimar o aparelho. Sendo assim, definiu-se que

apenas o uso do ar comprimido seria o suficiente para manter o fluxo de ar do processo e a chama da câmara de combustão acesa.



FIGURA 6 – Licor pirolenhoso dentro do condensador

Durante as operações verificou-se, também, uma crescente redução da quantidade de extrato obtido, como pode ser observado no Quadro 3. Constatou-se então que após a primeira batelada, parte da fumaça condensou na parte interna da tampa da câmara externa, conforme mostra a Figura 7. Esta redução aconteceu até o momento em que cessou completamente a condensação do extrato. Notou-se que, assim como na tampa do forno, parte do material condensou no interior do trocador de calor, muito provavelmente, devido ao choque térmico, uma vez que a temperatura de saída da fumaça está a cerca de 285°C e a temperatura ambiente gira em torno de 25 a 30°C. O procedimento adotado, momentaneamente, foi o de limpar o tubo com água corrente e raspadores, removendo então um lixiviado de cor preta. Após algumas limpezas o rendimento de extrato voltou ao padrão dos outros experimentos.



FIGURA 7 – Material condensado na tampa do forno

O extrato foi analisado segundo as normas da Associação dos Produtores de Agricultura Natural (APAN). Na Tabela 2 estão dispostos os valores esperados e os encontrados após as análises com o extrato proveniente do processo.

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO PIROLENHOSO

ANÁLISE EXTRATO	1	2	3	4	APAN
pH	2,17	2,67	2,61	2,17	3,0 ±0,4
densidade (g/ml)	0,999	0,996	0,996	0,997	1,002 ~ 1,010
condutividade elétrica (mS/cm)	0,855	0,619	0,493	0,871	-
Acidez Total (%)	1,822	0,701	0,601	2,242	1,5 - 3,0
Cor	Coloração amareladas leve (praticamente sem cor)				sem cor
Transparência	Transparentes				Transparente
Odor	Odores de substâncias defumadas				Defumado

A Figura 8 apresenta o extrato obtido em diferentes fases de oxidação, sendo a mais clara e destacada, o extrato recém-distilado.

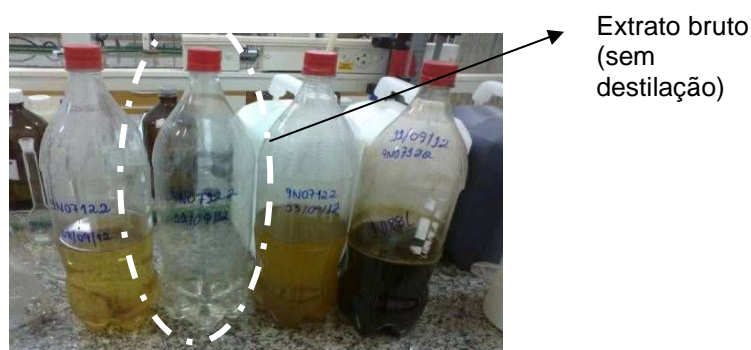


FIGURA 8 – Extrato pirolenhoso em diferentes fases de oxidação

A cor foi analisada também através de um colorímetro multiparâmetros modelo DM-50, porém não há na literatura valores em unidades de cor (UC), dada na escala Pt-Co, para comparação. Segue no Quadro 4, os valores em unidades de cor encontrados:

QUADRO 4 – RESULTADOS COLORÍMETRO

ANÁLISE	03/09/2012	08/09/2012	11/09/2012	15/10/2012
COR (UC)	1438	1032	1412	580

Outras análises realizadas em uma parceria com a LabPetro - UFES, foram as de infravermelho, afim de identificar os possíveis grupos funcionais presentes nas amostras dos extratos obtidos durante as carbonizações, conforme indicam as figuras 9, 10, 11 e 12

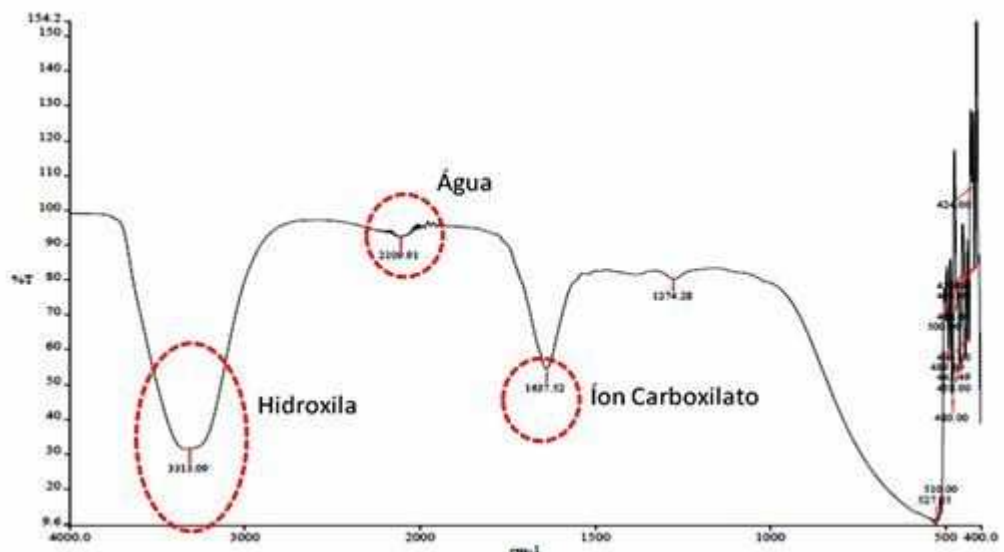


FIGURA 9 – Análise de Infravermelho do extrato pirolenhoso do primeiro experimento

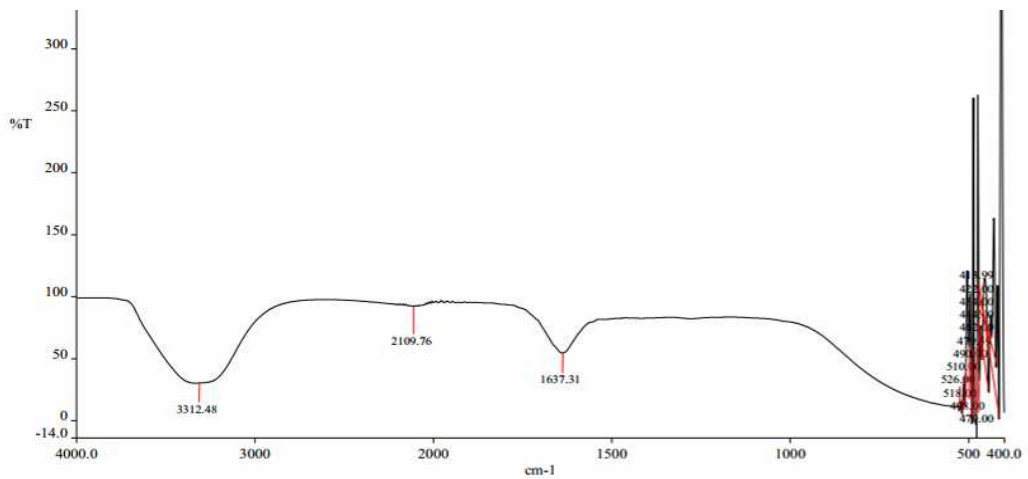


FIGURA 10 – Análise de Infravermelho do extrato pirolenhoso do segundo experimento

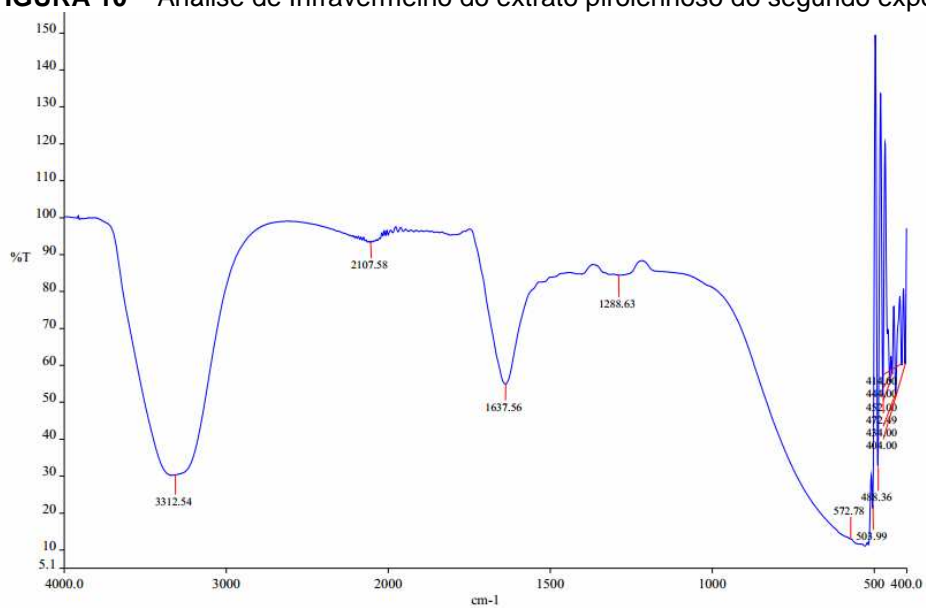


FIGURA 11 – Análise de Infravermelho do extrato pirolenhoso do terceiro experimento

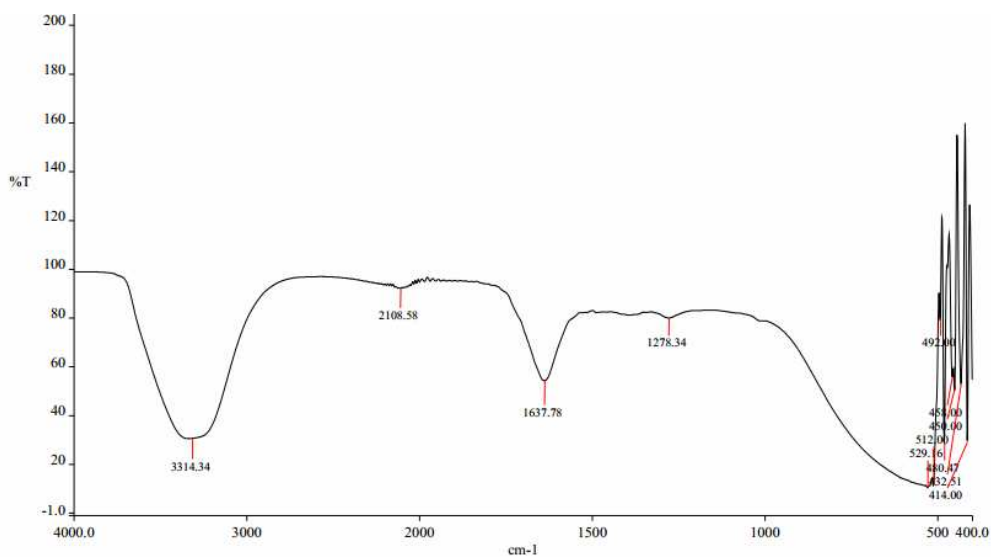


FIGURA 12 – Análise de Infravermelho do extrato pirolenhoso do quarto experimento

Após realizadas as análises das amostras, percebeu-se que devido a diluição das mesmas, ou seja, alta concentração de água no extrato, possivelmente a hidroxila destacada na figura 9 provém do solvente e não do ácido acético como esperado. Além disto, muito provavelmente, a segunda banda em destaque também é um indicativo de interferência da água na análise.

Entretanto notou-se que todo ácido acético presente deve estar ionizado, uma vez que a última banda em destaque indica a presença do íon carboxilato e não da carbonila, como era esperado se o mesmo não estivesse ionizado.

Outro fator que indica esta teoria é o fato de que a banda da hidroxila deveria ser mais definida, mas devido às interações intermoleculares houve uma sobreposição dos sinais.

Ao comparar os resultados apresentados, pode-se concluir que o extrato proveniente do processo proposto possui características dentro dos padrões estabelecidos e encontrados na literatura, sendo validado então como extrato pirolenhoso.

CONCLUSÕES

Por meio deste estudo foi possível analisar os diversos tipos de fornos existentes e com base nas finalidades do projeto, verificou-se que o forno tipo container seria o melhor custo benefício, mesmo quando comparado com os fornos convencionais (rabo quente) amplamente difundidos no Brasil.

Após a escolha e a montagem do equipamento, com o sistema já em operação pode-se verificar as temperaturas máximas atingidas na carbonização, como também a necessidade de inserção de um fluxo forçado de ar, para manter a chama acesa e o fluxo de calor e fumaça pelo equipamento; e a realização de limpeza periódica do condensador, uma vez que, o extrato pirolenhoso pode ser um material bastante viscoso, incrustava com facilidade, podendo interferir no rendimento do mesmo.

Outro fator observado foi o rendimento de carvão vegetal obtido que foi próximo ao previsto na literatura e a caracterização do extrato que teve resultado bastante satisfatório de acordo com os parâmetros definidos pela APAN, assim comprovando a viabilidade do projeto de recuperação de parte da fumaça, através

do extrato pirolenhoso, agregando valor ao processo. Além disso, reduzindo as emissões gasosas prejudiciais ao meio ambiente e melhorando as condições de trabalho dos operários.

REFERÊNCIAS

APAN. **Extrato pirolenhoso**. Disponível em:< <http://ecopirol.com/normapan.pdf>> Acesso em: 25 de maio de 2012.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2008** – Base 2007. Brasília, 2008

CAMPOS, Â.D. **Técnicas para Produção de Extrato Pirolenhoso para Uso Agrícola**. Pelotas-RS: Circular Técnica n. 65 Embrapa, 2007.

DIAS et al. **Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil**. Cad. Saúde Pública, 2002

MIYASAKA, S.; OHKAWARA, T.; KUNIO, N. **Derivados de carvão vegetal, extrato pirolenhoso e fino de carvão na agricultura natural**. São Paulo: APAN (Associação dos Produtores de Agricultura Natural), 2001a. Apostila.

PIMENTA, A.S., BAYONA, J. M., RAMÓN, T.G.; CÁNOVAS, A.M.S. **Evaluation of acute toxicity and genotoxicity of liquid products from pyrolysis of Eucalyptus grandis wood**. Archives of Environmental Contamination and Toxicology.1999.

SCHNITZER, J. A. **Extrato pirolenhoso no cultivo de orquídeas**. Dissertação de Mestrado. UEL. 2009.

SEYE, O.; PINHEIRO, P. C. C. **Influência da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus***. In; Primeiro Congresso Internacional de Uso da Biomassa Plantada para Produção de Metais e Geração de eletricidade. Belo Horizonte – MG. Versão em CD-ROM. 2001.