

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDOS PRELIMINARES SOBRE A QUEIMA DE PNEUS COMO COMBUSTÍVEIS EM CALDEIRAS

André Luiz Vicente de Carvalho¹ (andrelvcarvalho@hotmail.com)

Fernanda Muniz Campos¹ (fernanda@acesseradio.com.br)

Helena Calcagno La-Gatta Martins¹ (helenalagatta@gmail.com)

¹Faculdade Redentor, BR 356, nº25; Cidade: Itaperuna-RJ

Resumo: Reutilizar produtos descartados e usar novas técnicas para o seu reuso é uma boa proposta e ecologicamente responsável. O presente trabalho mostra sobre a reutilização do pneu, enquanto matéria prima, para geração de energia térmica em caldeiras, visando apresentar um novo destino a um material que seria descartado de forma inadequada, na grande maioria das vezes e, geraria impactos ambientais, devido à sua longa degradação na natureza. Foi realizado um estudo sobre o pneu, abordando suas características, composições, poder calorífico e apresentar cálculos estequiométricos, comprovando seu alto poder calorífico. Para validar a tese, foi feito um teste em uma caldeira em condições controladas, respeitando as normas estabelecidas pelo CONAMA. A caldeira Flamotubular era acoplada a uma fornalha, onde aconteceu a queima do pneu. Depois de 30 minutos, através da leitura do manômetro, foi possível verificar que a pressão do vapor gerado pela caldeira é satisfatória e mais eficiente quando comparada a outros produtos. Para que acontecesse a combustão completa, foi necessário utilizar um dispositivo que simulasse a função de um soprador capaz de fornecer ar na quantidade necessária. Após os testes realizados, foi possível ver algumas características do pneu, através do PCI, que corresponde à energia térmica criada pela combustão do combustível.

Palavras-chave: Reutilizar, Pneu, Caldeiras, Energia térmica. Poder Calorífico.

1. INTRODUÇÃO

O diferencial no âmbito industrial hoje tem sido implementar técnicas de reaproveitamento de materiais que seriam descartados de forma incorreta e podendo causar danos e impactos ambientais.

Outros resíduos têm sido acumulados no ambiente, em especial os pneus inservíveis e outros derivados da borracha. (COSTA, 2001). O pneu é um material que pode ser reutilizado de diversas formas, dentre as quais podemos mencionar: pavimentos de estradas, contenção de erosão do solo, compostagem, equipamentos de “Playground”.

Segundo a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), o Brasil produz 41,3 milhões de pneus por ano. Estima-se que a frota nacional de veículos automotores gere mais de 30 milhões de pneus inservíveis por ano, e que estes pneus vêm sendo extensivamente dispostos de maneira incorreta no meio ambiente.

Frente a essa realidade, se faz necessário criar alternativas de reaproveitar um material que apresenta propriedades e características que o tornam eficaz para contribuir em outras áreas. Pode-se ainda afirmar que o aproveitamento é descrito em categorias como: recauchutagem ou reuso, combustão e reciclagem.

Diante de suas inúmeras formas de reaproveitamento, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a combustão do pneu, aproveitando seu alto poder calorífico, como fonte energética em caldeiras.

O presente trabalho aborda um tema que vem ganhando evidência, por se tratar de uma nova forma de reaproveitar o pneu, já que em muitas vezes este se torna inutilizado após o uso na sua atividade fim.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 COMPOSIÇÃO DO PNEU

O material do pneu, apresenta uma composição química elementar, que consiste do percentual de massa ou volume, dos elementos químicos que o constituem que no caso em estudo será o Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Enxofre (S), Cinzas (N) e Umidade (W). Essa composição está apresentada na “Tab. 1” e será utilizada para a análise do processo de combustão, determinação do poder calorífico entre outras propriedades.

Tabela 1: Composição Química do Pneu

Composição	% massa
Carbono	71,8
Hidrogênio	6,7
Oxigênio	1,9
Nitrogênio	0,3
Enxofre	0,8
Cinzas	17,5
Umidade	1,0

Fonte: CB-09 ABNT

2.2 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI)

A obtenção do poder calorífico superior pode ser determinado pela “Eq.1”, na qual substituindo os valores encontrados para o pneu obteremos: (ANDRADE, 2015)

$$PCS = (33900 \times \%C) + \{141800 \times [(\%H) - (\%O/8)]\} + (9200 \times \%S) \quad (1)$$

Onde:

PCS = Poder Calorífico Superior (KJ/Kg);

C = Teor de Carbono;

H = Teor de Hidrogênio;

O = Teor de Oxigênio;

S = Teor de Enxofre;

$$PCS = (33900 \times 0,718) + \{141800 \times [(0,067) - (0,0198/8)]\} + (9200 \times 0,008) = 33577,625 \text{ KJ/Kg}$$

$$PCS = 8019,87 \text{ Kcal/Kg}$$

Já o PCI que não leva em conta o calor latente, é a quantidade de calor liberada em forma de energia quando um material entra em combustão e os gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando que ocorra a condensação. O PCI só corresponde a energia liberada na forma de calor.

Dito isso, conclui-se que a diferença entre o poder calorífico superior e inferior é igual a entalpia de vaporização do vapor de água presente nos gases de combustão, vapor esse produzido pela queima, e também proveniente da umidade presente no combustível. O valor do PCI se obtém pela “Eq.2”, a partir do valor do PCS.

$$PCI = PCS - \{2440 \times [(9 \times \%H) - \%U]\} \quad (2)$$

Onde:

PCI = Poder Calorífico Inferior (KJ/Kg)

U = Teor de Umidade (Base seca)

Substituindo os valores já obtidos anteriormente na fórmula, encontraremos:

$$PCI = 33577,625 - \{2440x[(9x0,067 - 0,01)]\} = 32081,905 \frac{KJ}{Kg} = \mathbf{7834,6Kcal/Kg}$$

De acordo com NÓBREGA (2014), o PCI do pneu corresponde à 8302,28Kcal/Kg, e de acordo com GOBBI (2002), o PCI equivale à 7814Kcal/Kg. Essa parcela de diferença entre o resultado obtido e esses mencionados acima é válido, pois a composição do pneu varia e ainda não se pode afirmar qual tipo de pneu que foi utilizado nos testes dos autores para se obter a composição, pois existem pneus macios, duros, pneus para passeio, para carga entre outros; e a sua composição irá variar de acordo com cada situação.

2.3 CÁLCULO ESTEQUIOMÉTRICO DA QUEIMA DO PÓ DE PNEU.

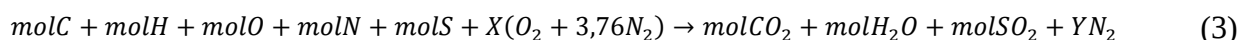
O coeficiente estequiométrico de cada elemento foi obtido através da simples razão entre a composição presente em cada elemento numa análise de 1 Kg, apresentado na “Tab. 1”, e dividido pela massa atômica que é obtida através da tabela periódica das propriedades químicas dos elementos. Os valores obtidos são apresentados na “Tab.2”.

Tabela 2: Coeficiente estequiométrico

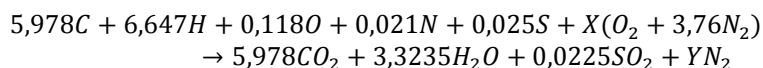
	C	H	O	N	S
Massa do Constituinte Kg/100Kg Combustível	71,8	6,7	1,9	0,3	0,8
Kg mol de cada elemento	5,978	6,647	0,118	0,021	0,025

Fonte: Autor

Esses valores obtidos são denominados de coeficientes estequiométricos, que corresponde ao número que determina quantos mols há em cada molécula. Depois de aplicar esses valores em cada elemento nos reagentes da “Eq.3” é feito o balanceamento químico, onde significa que a mesma quantidade de mols que há no reagente deverá existir no produto.(BIZZO 2011)



Assim, a equação estequiométrica balanceada fica:



O valor de “x” é calculado fazendo o balanceamento dos átomos de oxigênio presente na reação.

$$0,118 + 2X = 153295$$

$$\mathbf{X = 7,60575}$$

Como a combustão é feita com o ar atmosférico, para cada molécula de oxigênio do ar, é considerado obrigatoriamente 3,76 moléculas de nitrogênio, a relação de volumes entre os dois gases no ar atmosférico. Aplicando esta relação na fórmula de estequiometria, obtém o valor de Y.(BIZZO, 2011)

$$\begin{aligned} 0,021 + X.3,76.2 &= 2.Y \\ 0,021 + 7,60575x3,76x2 &= 2Y \end{aligned}$$

$$\mathbf{Y = 28,60812}$$

2.4 MASSA DE AR ATMOSFÉRICO PARA A COMBUSTÃO

Para cada 1 mol da molécula de pneu são necessários 7,60575 volumes de oxigênio. Valor encontrado no cálculo. Assim, o volume de ar atmosférico é dado pela “Eq.4”.

$$m = x(O_2 + 3,76N_2) \quad (4)$$

$$m = 7,60575x[(15,9994x2) + (3,76x14,0067x2)] = \mathbf{1.044,49 kg}$$

A relação ar/combustível é: 1.044,49/100, isso representa 10,44 partes de massa de ar para uma parte de combustível.

Ou seja: **10,44/1**,

2.5 EXPERIMENTO COMPARATIVO ENTRE MADEIRA E PÓ DE PNEU

Os testes experimentais foram realizados em uma caldeira do tipo flamotubular, “Fig.1” gentilmente cedida pela empresa Piscicultura Ventania Industria e Comércio Ltda, localizada na cidade de Espera Feliz-MG. Tendo sido acompanhado os testes pelo engenheiro João Cabral Sobrinho, responsável pelo equipamento utilizado.



Figura 1: Caldeira Flamotubular. Fonte: Autor.

Os testes foram realizados em um dia com temperatura ambiente de 36,5°C, a temperatura da combustão, bem como a temperatura dos gases da chaminé e a pressão vão oscilando periodicamente. Há vários fatores que contribuem para que isso ocorra, como por exemplo, perdas de radiação e convecção.

Antes de fazer o teste com o pó de pneu, combustível estudado, foi realizada a queima da madeira de Eucalipto, para estabelecer um comparativo de eficiência térmica entre os materiais, uma vez que este o principal combustível utilizado neste tipo de caldeira.

Madeira foi queimada, em aproximadamente 4000 cm³ equivalente a 4x10⁻³ m³ de madeira, conforme a “Fig.2”. A densidade deste material é de 1040 kg/m³ (Tecnológicas, 2015). Sendo assim, a massa de madeira que foi queimada, conforme a “Eq.5”, é de:

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho \times v \quad (5)$$

$$m = 1040 \times 0,004 = \mathbf{4,16 \text{ kg}}$$

Figura 2: Queima do Eucalipto



Fonte: Autor

Foram queimados 1 Kg de pó de pneu conforme mostrado na “Fig.3”, para determinar valores de temperaturas e pressão desenvolvida na caldeira, e compará-los com os obtidos na queima do eucalipto.

Figura 3: Pó de pneu para queima em caldeira



Fonte: Autor

O primeiro teste foi realizado com a queima da madeira como mostrado na “Fig.2”, utilizando aproximadamente 4Kg do material.

As medições de temperatura da combustão, mostrada na “Fig.4”, temperatura dos gases da chaminé e pressão, “Fig.5”, foram aferidas em intervalos de 30 mim. Tendo de esperar cerca de uma hora e meia, até que a pressão estabilizasse. Tais dados são apresentados na “Tab.3”.

Tabela 3: Dados obtidos da queima do eucalipto.

	Temperatura da combustão (°C)	Temperatura dos gases da chaminé (°C)	Pressão (Kg/cm ²)
1 ^a	154	48,5	1,0
2 ^a	190	53	1,7
3 ^a	620	61,5	3,0

Fonte: Autor

Figura 4: Medição temperatura da combustão



Fonte: Autor

Figura 5: Medição da pressão da caldeira



Fonte: Autor

Após o teste da queima da madeira, esperamos o fogo diminuir, para então iniciar a queima do pneu. Foi utilizado 1kg do pneu, com referência aos cálculos já apresentados.

Assim como no teste com o Eucalipto, fizemos medições em intervalos de aproximadamente 30 minutos, observando a temperatura da combustão, temperatura dos gases da chaminé e a pressão obtida.

Tais dados são apresentados na “Tab.4” e nas “Fig.6” e “Fig.7”.

Tabela 4: Dados obtidos da queima do pó de pneu.

Medição	Temperatura da combustão (°C)	Temperatura dos gases da chaminé (°C)	Pressão (Kg/cm ²)
1ª	331	59	3,0
2ª	660	66	4,2
3ª	942	86	8,1

Fonte: Autor

Figura 4: Medição temperatura da combustão



Fonte: Autor

Figura 5: Medição da pressão da caldeira



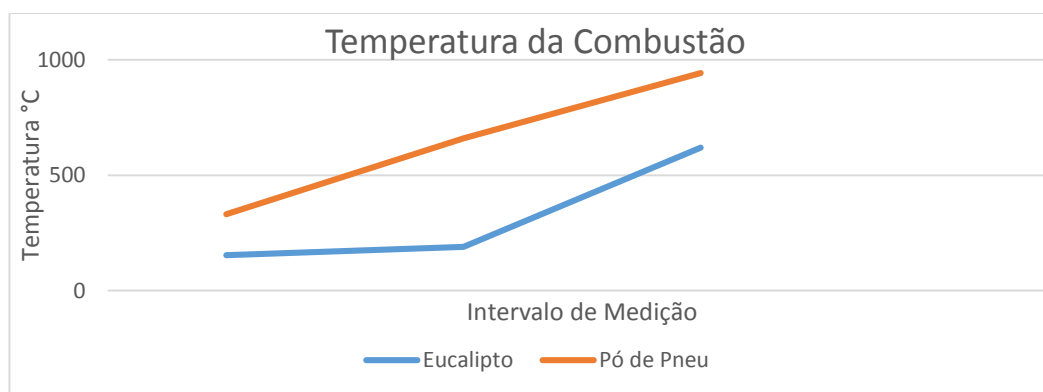
Fonte: Autor

Comparando a “Tab.3” e a “Tab.4” é possível observar que o as temperaturas de combustão e dos gases da chaminé bem como a pressão são elevadas mais rapidamente quando foi utilizado o pó do pneu.

É possível observar também que o intervalo para o aumento dessas grandezas na queima do pneu é menor que na queima da madeira.

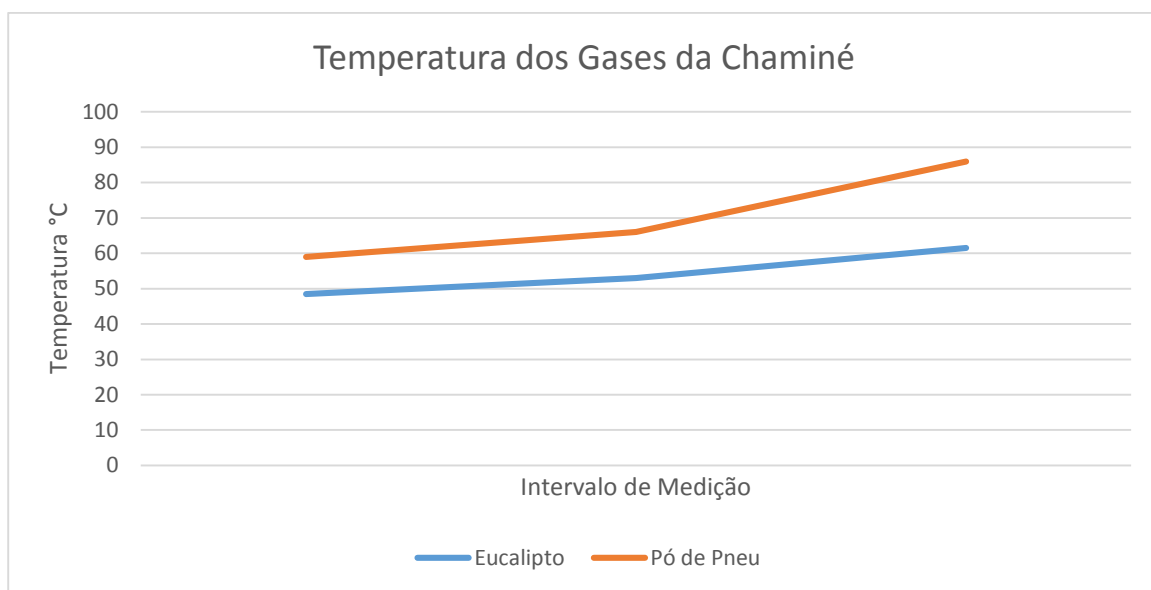
Para análise é apresentado no gráfico 1, gráfico 2 e gráfico 3 o desempenho de cada um dos combustíveis mencionados.

Gráfico 1: Evolução da temperatura de combustão com o tempo.



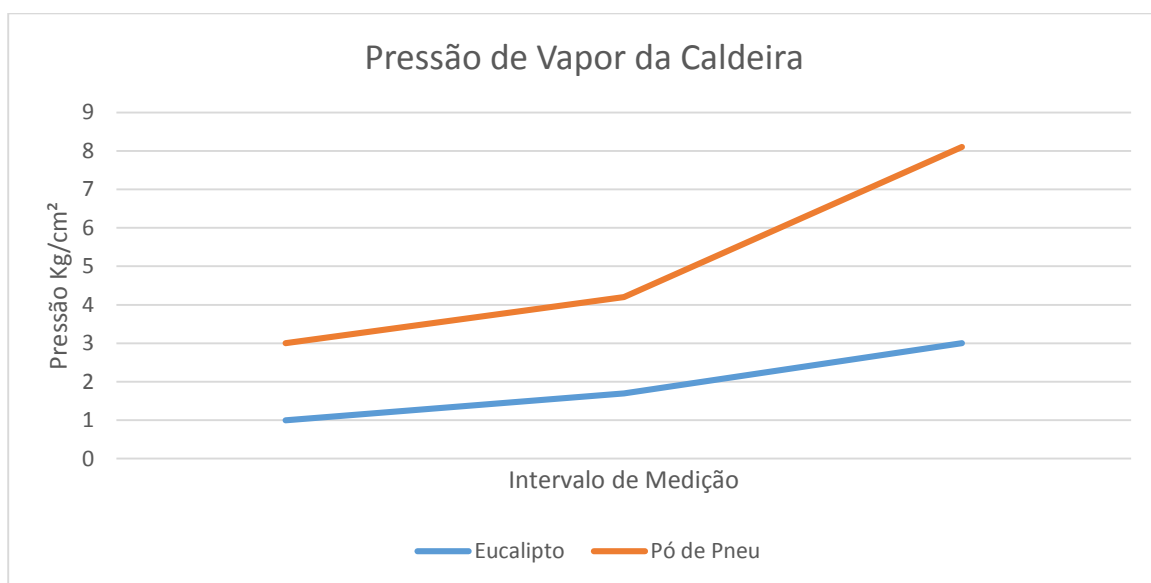
Fonte: Autor

Gráfico 2: Evolução da temperatura dos Gases da Chaminé.



Fonte: Autor

Gráfico 3: Evolução da Pressão de Vapor da Caldeira.



Fonte: Autor

Além desses fatores que favorecem o pneu enquanto combustível, durante os testes foi observado a cor apresentada pela fumaça emitida na chaminé, isto é, o nível de fuligem.

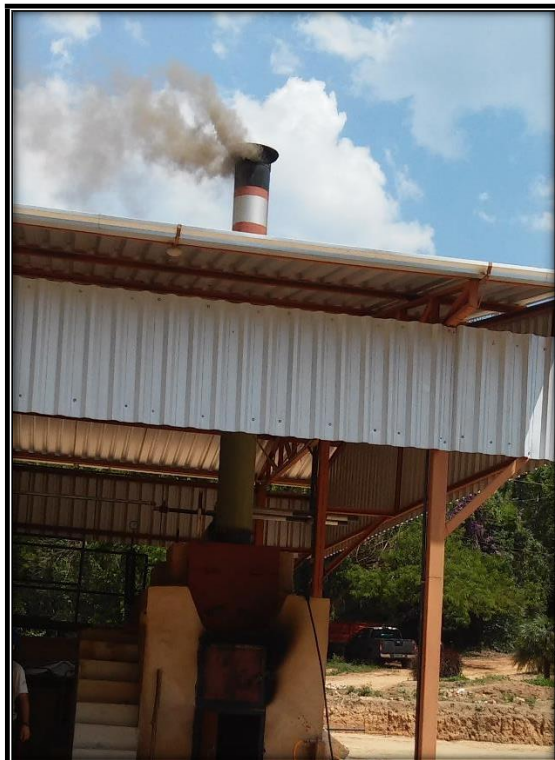
Conforme mostrado na “Fig.6” e “Fig.7” a diferença na fumaça é mínima. Infelizmente não dispúnhamos no local de equipamento para medição dos gases emitidos, ficando isto como proposta para futuros trabalhos.

Figura 6: Fumaça Queima Madeira



Fonte: Autor

Figura 7: Fumaça Queima Pó de Pneu



Fonte: Autor

3. CONCLUSÃO

A reutilização de materiais muitas vezes se torna um assunto polêmico, principalmente quando se trata da queima de pneu para ser útil em outras atividades.

Com esse projeto, foi possível demonstrar através de estudos estequiométricos e testes como pneus inservíveis podem se tornar totalmente servíveis em diversas áreas, destacando-se uma importante área da Engenharia Mecânica, a qual referiu de Sistemas Alternativos de Geração de Energia.

Ficou comprovado que esse material se classifica como combustível, apresentando valores em suas propriedades que muitas vezes supera de outros combustíveis. Segundo o Comitê Brasileiro de Gases Combustíveis ABNT CB-09, quando se compara o PCI do pneu com outros combustíveis sólidos como ele, percebe-se que seu valor é bem significativo e eficaz para utilizá-lo. A casca de arroz, turfa e carvão vegetal apresentam respectivamente o PCI de 3.091Kcal/Kg, 5.040Kcal/Kg e 7.780Kcal/Kg, perdendo apenas com um valor mais significativo para o coque do petróleo que possui um PCI de 8.268Kcal/Kg, mas esse emite uma quantidade maior de CO_2 fóssil do que o pneu, sendo mais viável assim a utilização do material em estudo, visando uma eficiência equivalente ao petróleo mas com uma consciência ambiental.

O uso de uma caldeira para realizar os testes, ajudou a comprovar todos os cálculos que foram mencionados ao longo do projeto, tornando-o mais próximo da realidade ao qual se propôs.

Quando o assunto é reaproveitar pneus inservíveis, os fabricantes devem incentivar as pesquisas em universidades, para que se possa desenvolver novas alternativas, assim como esse projeto, voltadas também em outras áreas, buscando agregar valor econômico aos pneus inservíveis, reduzir os custos dos processos de reaproveitamento e ir além da responsabilidade social, como foi feito nesse projeto, porque sem dúvida o ambiente da recuperação energética é a alternativa mais evidente e pertinente na atualidade.

Conclui-se que reaproveitar pneu significa economia, diminuição dos impactos ambientais do seu processo de produção e um novo conceito a ser estudado com mais profundidade na área da Engenharia Mecânica.

4. AGRADECIMENTOS

Não poderíamos deixar de agradecer à empresa Piscicultura Ventania Industria e Comércio Ltda, localizada na cidade de Espera Feliz-MG. Assim como ao engenheiro João Cabral Sobrinho, responsável pelo equipamento utilizado; tão importante colaboração, sem a qual não teria sido possível a execução dos testes, os quais foram de extrema importância para a conclusão do trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- BIZZO, Waldir Antonio. Combustão, Controle da Poluição, Biomassa, Energia, UNICAMP, 2011.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 382/06. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. MMA: Brasília, 2006.
- COSTA, Janete Teixeira, Reaproveitamento de Sucata de Pneus Inviabilidade Técnica ou Econômica, Revista “Limpeza Pública”, ABLP, São Paulo 2001.
- GARCIA, Roberto, Combustíveis e Combustão Industrial, 2ª edição, Editora Interciência Ltda, Rio de Janeiro, 2013.
- NOBREGA, Claudia Coutinho; FREITAS, Sidcléa Souza Freitas, Os Benefícios do Coprocessamento de Pneus Inservíveis para a Indústria Cimenteira, The Scientific Electronic Library Online, 2014
- IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Informações sobre madeiras, 2015

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

PRELIMINARY STUDIES ABOUT THE BUM OF TIRES AS A BOILER FUEL

First Author's André Luiz Vicente de Carvalho¹ (andrelycarvalho@hotmail.com)

Second Author's Fernanda Muniz Campos¹ (fernanda@acesseradio.com.br)

Third Author's Helena Calcagno La-Gatta Martins¹ (helenalagatta@gmail.com)

¹¹Faculdade Redentor, BR 356, nº25; Cidade: Itaperuna-RJ

Abstract. *Reutilize discarded products and use new techniques for its reuse it's a good proposal and ecologically responsible. The present project shows about tire reutilization as raw material for thermal energy generation in boilers in order to present a new destination to a material that would be in inappropriately discarded in most cases and would result in environmental impacts due to its long turn degradation in nature. It was performed a study about the tire, approaching its characteristics, composition, heat of combustion and present the stoichiometric calculations proving its high heat of combustion. To validate this thesis, it was performed a test in a boiler prototype under controlled conditions, respecting the technical standard established from CONAMA. The flamotubular boiler was coupled in furnace where the tire powder was burned. After "x" minutes, through the reading of the manometer, it was possible to verify that the steam pression generated by the boiler is satisfactory and more efficient when compared to other products. For to happen the complete combustion it was necessities to put at the boiler a blower to able to provide air in the correct amount. After the tests, it was possible to see some characteristics about the tire through PCI that matches the thermal energy created by combustion of fuel*

Keywords: *Reutilize. Tire. Boilers. Thermal Energy. Heat of combustion.*