



Tema: Lavra e Tratamento de Minérios

COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS OBTIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS PARA UTILIZAÇÃO EM FORNOS DE PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO*

Filipe Arthur Firmino Monhol¹
Marcio Ferreira Martins²

Resumo

O setor de mineração gasta milhões de dólares com a utilização de combustíveis fósseis nos seus mais variados processos, como, por exemplo, em fornos de pelletização. Paralelamente a isso, a humanidade está produzindo cada vez mais resíduos e nestes existe um potencial energético que não pode ser negligenciado devido a situação de grande demanda em que se encontra a sociedade. Assim, a reciclagem energética desses resíduos pode aliar os conceitos de sustentabilidade e economia. A utilização de resíduos como fonte energética pode, assim, além de gerar uma grande economia ao setor, aumenta significativamente a contribuição ambiental do mesmo. Portanto esse trabalho faz uma análise de viabilidade do uso de resíduos sólidos, que são transformados em combustíveis fluidos através das tecnologias da gaseificação e da pirólise, para utilização em fornos de pelletização de minério de ferro. Diferentes tipos de resíduos são propostos. Foram realizados alguns ensaios para se obter a capacidade energética desses materiais. Os resíduos se mostraram altamente energéticos e uma excelente alternativa à demanda industrial.

Palavras-chave: Resíduos; Combustível; Gaseificação; Pelotização

ALTERNATIVE FUELS OBTAINED FROM WASTE TO USE IN PELLETIZING FURNACES OF IRON ORE

Abstract

The mining industry spends millions of dollars with the use of fossil fuels in its various processes, such as in pelletizing furnaces. Parallel to this, humanity is increasingly producing wastes and in these there is the potential energy that cannot be neglected due to high demand situation in which society is. Thus, energy recycling these wastes can combine the concepts of sustainability and economy. The use of waste as an energy source can thus besides generating a large savings to the sector, significantly increases the environmental contribution of the same. Therefore this work is an analysis of the feasibility of using solid waste, which is transformed into fluid fuels through gasification and pyrolysis technologies for use in pelletizing furnaces of iron ore. Different types of waste are proposed. Some trials to get the energy capacity of these materials were carried out. The residues were highly energetic and a great alternative to industrial demand.

Keywords: Waste; Fuel; Gasification; Pelletizing

¹ Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Instituto Federal do Espírito Santo, e Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Sistemas e Processos Térmicos, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

² Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A mineração é um dos grandes setores responsáveis pelo crescimento da economia do país. Grandes empresas de exploração dos recursos minerais são responsáveis por grande parte do capital que movimentam a economia do Brasil. A busca pela crescente produtividade e aumento dos lucros deve ser acompanhada pela preocupação em agir de modo sustentável para garantir a qualidade de vida das próximas gerações. As grandes indústrias de mineração e lavra de minérios são cada vez mais cobradas pelos órgãos governamentais quanto aos impactos ambientais que suas atividades proporcionam a sociedade. Por isso, é de grande interesse a esse setor o planejamento e execução de atividades de cunho ambiental e social.

Uma das grandes atividades da mineração é o processo de pelletização do minério de ferro. Basicamente consiste em adequar o minério de ferro à utilização em fornos de redução para produção do aço. Esse processo envolve várias etapas e uma das mais dispendiosas é a etapa de sinterização da pelota, que ocorre nos chamados fornos de pelletização. Para se conseguir atingir elevadas temperaturas no forno de pelletização é utilizada uma grande quantidade de energia obtida a partir da queima de combustíveis fósseis, cuja escassez é cada vez maior. As empresas de pelletização gastam por ano milhões de dólares com o fornecimento de combustíveis e grande parte dos custos desse setor se deve ao processo de queima para sinterizar a pelota de minério de ferro. Assim, o estudo e desenvolvimento de combustíveis alternativos, que substituam a altura os combustíveis de origem fóssil de um modo eficiente e barato, se fazem necessários.

De modo paralelo, a humanidade está produzindo cada vez mais resíduos, que são despejados de forma errada e ocupam um imenso volume na atmosfera, e nestes existe um potencial energético que não pode ser negligenciado devido a situação de grande demanda em que se encontra a sociedade. Assim, a reciclagem energética desses resíduos, com sua consequente retirada do ambiente, pode aliar os conceitos de sustentabilidade e economia. A utilização de resíduos como fonte energética poderia, então, além de gerar uma grande economia ao setor de mineração, aumentar significativamente a contribuição ambiental do mesmo.

Diversos estudos têm sido realizados a respeito do desenvolvimento e obtenção de combustíveis a partir de resíduos de descarte. O desenvolvimento de pesquisas na área energética demonstra que há inúmeras possibilidades de reaproveitamento dos materiais ao nosso redor para produção de fontes alternativas de energia.

Vantelon *et al.* [1] estudaram a degradação térmica de resíduos de pneus para utilização como fonte energética.

Torero e Fernandez-Pello [2] observaram a transformação energética do poliuretano em reator de leito fixo e obtiveram informações sobre o comportamento da combustão desses resíduos.

Blijderveen *et al.* [3] realizaram estudos experimentais sobre a utilização de resíduos de madeira e plásticos para produção de energia.

Liang *et al.* [4] realizaram estudos sobre os efeitos de alguns parâmetros na utilização de resíduos sólidos municipais como fonte alternativa de energia.

Monhol e Martins [5] realizaram estudos sobre a utilização de resíduos provenientes de materiais fecais e plásticos.

Esses são apenas alguns casos dos mais diversos e variados tipos de pesquisas na área energética.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Juntar o conceito de reaproveitamento energético, com a diminuição de resíduos, mais o desejo de minimizar os efeitos nocivos à natureza e ao homem e principalmente ser economicamente viável, são variáveis complexas de se linearizar a fim de se obter o melhor aproveitamento e eficiência das mesmas. A concepção de um processo alternativo de reaproveitamento de resíduos diversos produzidos pela humanidade é um desafio que vem sendo pesquisado arduamente por diversas instituições em vários países, com um desejo de resolver problemas ambientais e de se obter um processo eficiente e altamente lucrativo, que se torne uma solução para o problema gerado pelo consumo acelerado de produtos pela sociedade.

1.1 A solução via combustão

A conversão dos resíduos sólidos, como fonte alternativa de energia tem se tornado possível através da combustão. De acordo com a Plastivida [6], a reciclagem energética pela combustão é um processo praticado em diversas partes do mundo há mais de 20 anos. Atualmente, mais de 150 milhões de toneladas de lixo urbano são tratados anualmente em cerca de 750 usinas de Reciclagem Energética implantadas em 35 países, gerando mais de 10.000MW de energia elétrica e térmica. Essas usinas utilizam todo tipo de resíduo como combustível e são adotadas largamente em países como EUA, Japão, China, Coréia do Sul, Malásia, Itália, França, Suíça, entre outros. Só no Japão existem 249 usinas. Na Suíça, 27. No Brasil, nenhuma.

Tecnologias como a da Gaseificação e da Pirólise são de grande interesse nessa área.

A gaseificação consiste basicamente na combustão incompleta de um combustível sólido de tal modo que os produtos gasosos obtidos (syngas) ainda têm grande potencial energético. Alguns estudos nessa área têm sido realizados com objetivo de dar alternativas à escassez dos combustíveis fósseis.

De acordo com Hobbs *et al.* [7] as pesquisas a respeito da tecnologia da gaseificação geram resultados animadores no que tange a viabilidade do processo. A gaseificação já é uma realidade na produção de energia alternativa nos mais diversos tipos de processo.

A Pirólise é um processo de fornecimento de calor sem a presença de oxigênio. Pode ser realizado conforme indicado na Figura 1, onde um combustor, alimentado pelo próprio combustível produzido, aquece, sem entrar em contato, a mistura de resíduos que libera o material volátil.

A Pirólise pode ser realizada também através da propagação em leito fixo e consiste na liberação do material volátil antes deste ser consumido por uma frente de oxidação. Assim esse material volátil, já condensado, pode ser recuperado na saída do reator e utilizado como combustível. Essa técnica é bastante utilizada na recuperação do óleo contido em xisto betuminoso, conforme estudos de Martins *et al.* [8] que realizou inúmeros experimentos utilizando xisto e encontrou uma composição altamente energética no óleo recuperado. Esse processo tem sido utilizado para recuperar a energia contida em resíduos sólidos urbanos e industriais. Por exemplo, Vantelon *et al.* [1] realizaram um estudo experimental sobre a combustão co-corrente de um leito de pneus e briquetes refratários. Foi descoberto que o processo de combustão é influenciado pela taxa de fluxo de ar através do reator. Uma reação de combustão com oxigênio limitado move-se de um regime de elevada produção de óleo residual e baixas velocidades de propagação a um regime de baixa produção de óleo e uma conversão muito mais rápida.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

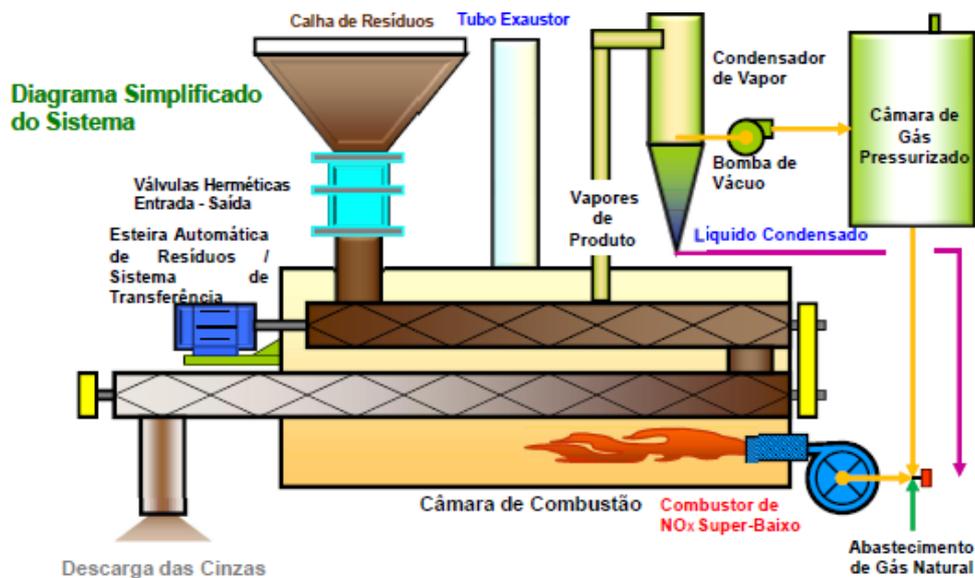


Figura 1. Esquema de um equipamento de Pirólise. Fonte: ACTI.

1.2 Aplicação ao Processo de Pelotização

O processo de pelotização possui uma grande demanda de combustível fóssil na etapa de sinterização nos fornos de pelotização, cuja temperatura atinge valores de 1200°C. O esquema de um forno está mostrado na Figura 2. A substituição de combustíveis fósseis pelos combustíveis obtidos a partir de resíduos seria um grande avanço tanto no aspecto de sustentabilidade como no aspecto econômico.

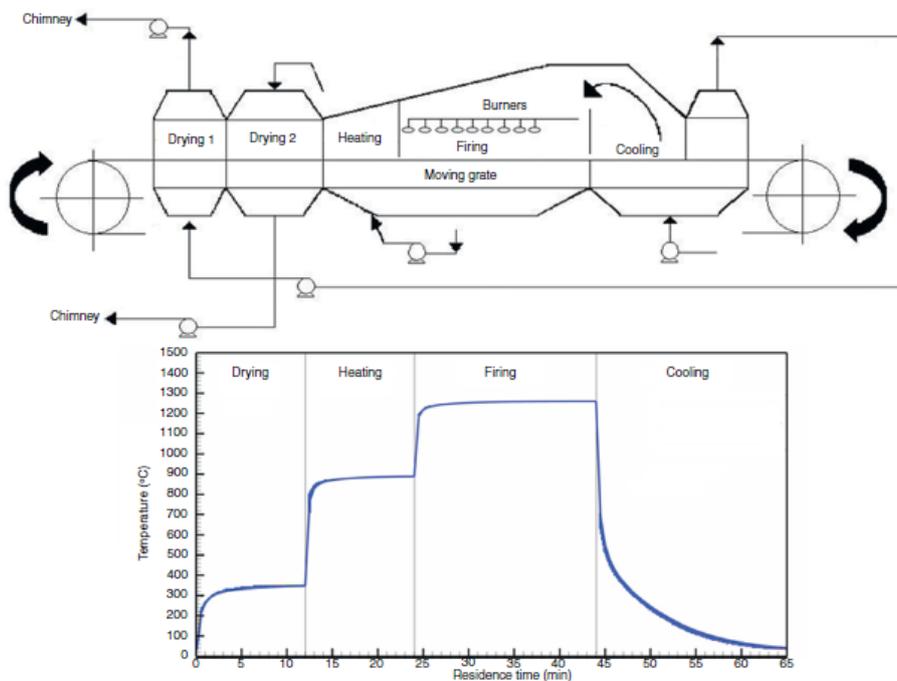


Figura 2. Esquema do forno de pelotização e das temperaturas atingidas em cada etapa [9].

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Os fornos de pelletização utilizam óleo combustível ou gás natural como combustível. Diariamente cerca de 110.000 kg de óleo combustível ou 150.000 Nm³ de gás natural são necessários para alimentar o processo de sinterização da pelota do minério de ferro. Isso resulta em gastos tremendos no processo como um todo. Com a utilização do gás e/ou óleo obtido a partir dos processos de gaseificação e pirólise, deve-se realizar algumas pequenas modificações, de impacto econômico desprezível. Entretanto, os custos iniciais são rapidamente absorvidos pela grande economia obtida pela substituição do combustível. Na seção a seguir será realizado um levantamento da economia prevista com essa modificação bem como um dimensionamento da planta de gaseificação a ser instalada. Para se verificar a disponibilidade energética de alguns tipos de resíduos alguns ensaios em um reator de combustão foram realizados para se encontrar uma estimativa da energia contida nos mesmos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Viabilidade do Uso do Combustível Alternativo

Uma análise quantitativa foi realizada para se encontrar a economia gerada pela substituição do combustível fóssil pelo combustível obtido a partir do lixo. O processo tomado como base foi o de gaseificação, tendo em vista que para esse caso há um menor aproveitamento da energia contida no lixo, uma vez que parte dela é utilizada para se gaseificar o combustível sólido. Assim, para o processo de pirólise a economia será ainda maior. Mas será feita a análise para o pior caso, de tal modo que não restem dúvidas da economia proporcionada.

Para o levantamento serão necessárias algumas informações sobre o combustível utilizado no processo de pelletização e o obtido na gaseificação (syngas).

A Tabela 1 mostra as principais características de cada combustível.

Tabela 1. Informações dos combustíveis utilizados em fornos de pelletização e do combustível proposto (syngas)

Combustível	Poder calorífico	Quantidade diária necessária	Quantidade de lixo necessário	Custo mensal (R\$)
Óleo Combustível	10.000 kcal/kg	110.000 kg	-	3,4 milhões
Gás Natural	9.400 kcal/Nm ³	150.000 Nm ³	-	5,5 milhões
Syngas	1.200 kcal/Nm ³	1.175.000 Nm ³	470 ton/dia*	1,0 milhão**

* Cada kg de resíduo produz 2,5 Nm³ de syngas; ** Referente à coleta seletiva de alta qualidade.

Observa-se a grande economia prevista ao se utilizar o combustível obtido a partir de resíduos sólidos urbanos. Embora a quantidade de lixo necessário chame a atenção. De acordo com Nascimento [10], uma região metropolitana produz cerca de 2000 ton/dia. Assim, a quantidade é razoavelmente viável.

2.2 Ensaios Experimentais

2.2.1 Dispositivo experimental

Para realizar os ensaios da combustão dos resíduos foi utilizado um reator de leito fixo projetado por Monhol *et al.* [11]. O reator foi projetado para estudos detalhados

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

da combustão. Para o presente trabalho foram utilizados apenas os instrumentos de temperatura.

A Figura 3 mostra um croqui do dispositivo.

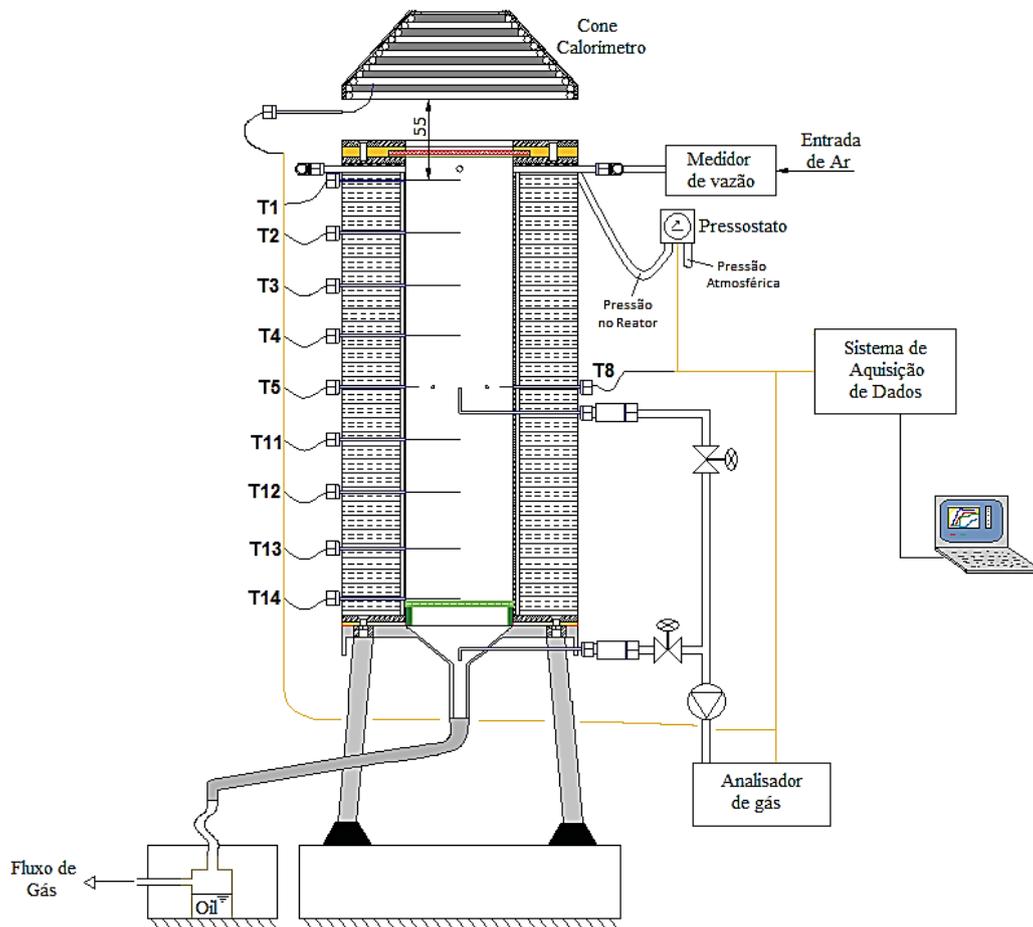


Figura 3. Croqui do dispositivo experimental utilizado [11].

O leito do reator consiste em um cilindro vertical de aço inoxidável, diâmetro interno de aproximadamente 73 mm e altura 450 mm. O diâmetro foi projetado amplo o suficiente para limitar as perdas de calor através das paredes do reator, e ao mesmo tempo estreito o suficiente para evitar a preparação de grandes amostras experimentais. O cilindro é rodeado por dois tipos de materiais isolantes térmicos: 3 mm de uma manta térmica (Superwool 607 blanket, Thermal Ceramics, condutividade térmica = 0.28 Wm-1K-1 a 982°C) e 46 mm de espessura de fibras refratárias (Kaowool HS 45 Board, Thermal Ceramics, condutividade térmica = 0.21 Wm-1K-1 a 1000°C). A grelha está localizada na parte inferior da câmara, e consiste de uma malha de aço inoxidável. Na saída da célula é colocado um tubo flexível de silicone ligado a borbulhadores, para coletar o condensado, e o gás sai através do sistema de exaustão. A entrada de ar é projetada para fornecer fluxo de ar ininterrupto em uma forma simétrica. Um grupo de oito termopares em linha de 1,5 mm de diâmetro e 122 mm de comprimento (T1, T2, T3, T4, T11, T12, T13, T14) estão localizados em Z=0, 45, 90, 135 e 225, 270, 315, 360 mm (medindo do topo para o fundo do reator), permitindo medir a temperatura ao longo do eixo da célula em diferentes alturas. Uma coroa de seis termopares iguais aos descritos anteriormente, porém de 95 mm de comprimento (T5, T6, T7, T8, T9, T10), permite

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

medir a temperatura ao longo de um plano horizontal, a 6.5mm da parede, que está localizado em Z=180mm.

A ignição da combustão é realizada por radiação térmica proveniente de uma resistência térmica cônica, de tal modo que haja a menor interferência possível.

2.2.2 Informações dos experimentos

A Tabela 2 mostra os combustíveis utilizados bem como os parâmetros de cada experimento realizado. Foram escolhidos os resíduos plásticos de polietileno (PE) e os de material fecal obtido em estações de tratamento. Ambos resíduos foram escolhidos devido a grande disponibilidade, desconhecimento de seu potencial e grande impacto ambiental gerado pelos mesmos. Para o plástico foi realizado uma co-combustão com o carvão, uma vez que os plásticos são constituídos essencialmente de material volátil, impossibilitando sua combustão em leito fixo.

Tabela 2. Metodologia experimental

Combustível	Massa total (kg)	Razão mássica	Vazão de ar (kg/h)	Granulometria média (mm)
Carvão/PE	0,6146	10:2	0,676	2
Material fecal	0,8652	1	0,676	5

A Figura 4 indica o aspecto físico de cada material combustível utilizado nos ensaios. A imagem foi obtida através de microscópio óptico de lentes convencionais.

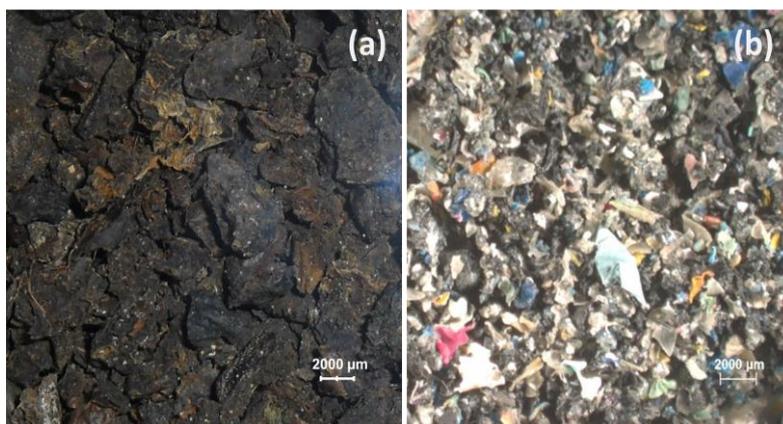


Figura 4. Imagem de microscopia óptica dos materiais utilizados (a) Material fecal, (b) Polietileno.

Uma caracterização química de cada material utilizado como combustível foi realizada. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise química elementar e imediata dos combustíveis.

Tabela 3. Análise química elementar e imediata dos combustíveis (valores médios em % wt).

Combustível	Umidade	Cinzas	C	H	O	N	S
Carvão	11.5	8.5	62.56	3.94	10.64	1.16	1.35
PET	0.05	0.25	85.7	14.3	0	0	0
Material Fecal	20	20	48.25	7.15	32.1	5.49	1.6

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do Uso do Combustível Alternativo

Conforme mostrado na Tabela 1, observou-se uma grande economia na etapa da sinterização do minério de ferro em pelotas. Observou-se uma economia de 71,3 % nos custos com combustível no caso do óleo combustível. Já para o caso do gás natural, observou-se uma economia de 82,2 %. Assim, os resultados para o gás de gaseificação (syngas) são realmente animadores para as indústrias de pelotização. Em um ano isso significa, para cada forno, uma economia de 29,8 milhões de reais para o caso da substituição do óleo combustível por syngas. Para o caso da substituição do gás natural pelo syngas isso significa uma economia de 55,4 milhões de reais.

A quantidade de syngas necessária para igualar capacidade calorífica do gás natural é 7,83 vezes maior do que a quantidade de gás natural. Assim, pode-se resolver esse ponto através do aumento do diâmetro da tubulação dos combustores do forno e/ou pelo aumento da vazão nos mesmos.

De acordo com a Energrup [12], empresa construtora de gaseificadores industriais o gaseificador do modelo *Caema Ankur-Scientific Power Pack ANKUR GAS 1500 – WBG 1800* consegue realizar a gaseificação de 1,5 toneladas de resíduos por hora (36 toneladas por dia). Assim, como são necessários 470 toneladas de resíduos por dia, será preciso uma planta energética composta por apenas 13 gaseificadores. É notável a vantagem econômica dessa mudança no processo da pelotização do minério de ferro, assim, os resultados trarão impactos gigantescos no setor.

3.2 Resultados dos Experimentos

A Figura 5 apresenta os resultados dos perfis de temperatura obtidos para cada experimento realizado.

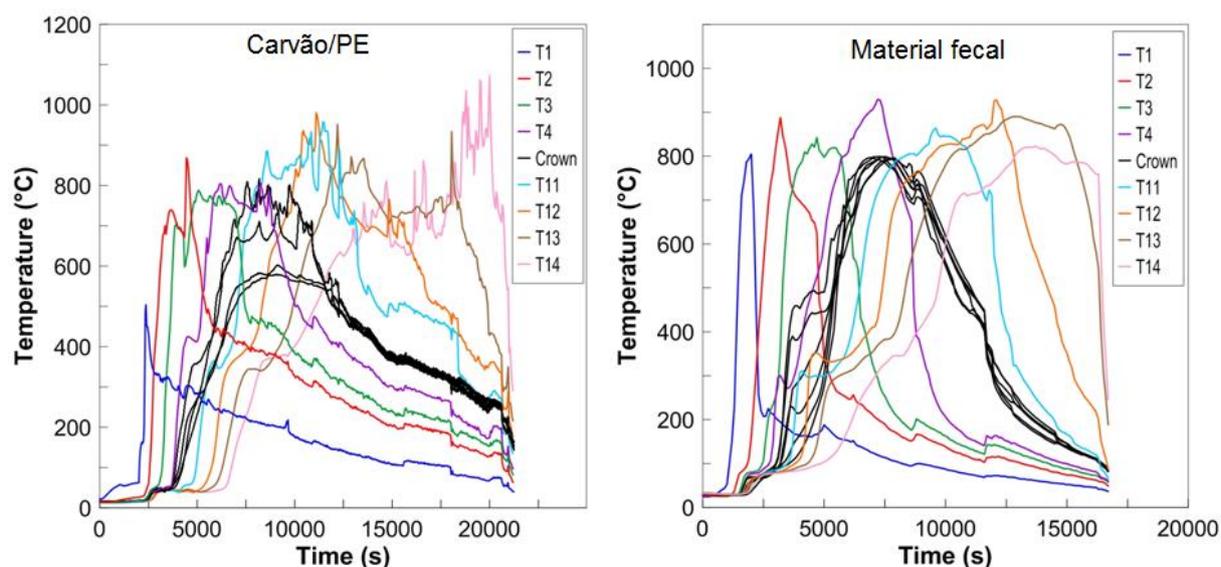


Figura 5. Evolução da temperatura nos experimentos.

Shin e Choi [13], Martins [8] e outros encontraram resultados semelhantes para combustíveis bem conhecidos e de alto teor energético como o carvão e o xisto. Esses resultados indicam que ambos os resíduos utilizados possuem um alto

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



potencial energético, o que torna-se evidente nas grandes temperaturas atingidas. A Tabela 4 indica as médias de temperatura obtidas bem como o tempo total de cada experimento.

Tabela 4. Informações de tempo e temperatura média alcançada nos ensaios.

Resíduo	Tempo total (min)	Temperatura (°C)
Carvão/Polietileno	294	925
Material fecal	195	885

Os resultados indicam que esses dois tipos de resíduos, cuja capacidade térmica é negligenciada pela sociedade, possuem um grande potencial de utilização como combustíveis alternativos. A cada dia toneladas desses dois tipos de material são despejados no meio ambiente e não são dispostos de modo adequado. Assim, sua utilização resolveria inúmeros problemas relacionados à busca por economia no setor energético industrial, à sustentabilidade das atividades industriais e à obtenção de combustíveis alternativos.

4 CONCLUSÃO

Foi verificado que a substituição dos combustíveis fósseis pelos combustíveis obtidos a partir de processos térmicos como a gaseificação e a pirólise, são de grande impacto econômico para o processo de pelotização. Na etapa de sinterização do minério de ferro em pelotas, observou-se uma redução de gastos de cerca de até 82,2% resultando numa economia anual de 55,4 milhões de reais.

Uma planta com cerca de 13 gaseificadores já seria o suficiente para fornecer a demanda necessária de combustível. Ao invés de gastar milhões com o fornecimento de combustível fóssil pode-se investir, por um preço muito mais em conta, na coleta seletiva e transporte de resíduos até as plantas de gaseificação.

Utilizando-se a Pirólise ao invés da Gaseificação certamente a economia será muito maior, visto que nesse processo há um maior aproveitamento da energia contida no resíduo.

Os resultados experimentais também foram satisfatórios, uma vez que se assemelharam com os da literatura, propostos para combustíveis de grande utilização. As temperaturas atingidas são elevadas e indicam uma grande quantidade energética nos resíduos. Isso indica que existe um grande potencial nos resíduos de descarte que não pode ser desconsiderado. Cabe a seguir uma análise dos produtos obtidos durante a pirólise e gaseificação de determinados resíduos para se ter informações a respeito do teor de substâncias com potencial de poluição, de tal modo que estas sejam devidamente controladas.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Instituto Federal do Espírito Santo pelo apoio e espaço concedido para realização da pesquisa. Ao Laboratório de Combustão e Combustíveis – LCC. Ao Programa de recursos Humanos da Petrobras – PRH-29

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

REFERÊNCIAS

- 1 Vantelon J-P, Lodeho B, Pignoux S, Ellzey JL, Torero JL. Experimental observations on the thermal degradation of a porous bed of tires. Proceedings of the Combustion Institute. 2005;30(2) 2239-46.
- 2 Torero JL, Fernandez-Pello AC. Forward smolder of polyurethane foam in a forced air flow. Combustion and Flame. 1996;106(1-2):89-109.
- 3 Blijderveen VB, Bramer EA, Brem G. Modelling piloted ignition of wood and plastics. Waste Management. 2012;32:1659-68.
- 4 Liang L, Sun R, Fei J, Wu S, Liu X, Dai K. Experimental study on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid wastes in a fixed bed. Bioresource Technology. 2008;99(15):7238-46.
- 5 Monhol FAF, Martins MF. Ignition by thermal radiation of polyethylene and human feces combustible wastes: Time and Temperature to Ignition. Advanced Materials Research. 2014; **volume:páginas**.
- 6 Plastivida, Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos [página da internet]. Reciclagem: Reciclagem Energética. 2009 [acesso em 15 mar. 2014]. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/2009/Reciclagem_Energetica.aspx.
- 7 Hobbs ML, Radulovic PT, Smoot LD. Combustion and gasification of coals in fixed-beds. Progress in Energy and Combustion Science. 1993;19(6):505-586.
- 8 Martins MF, Salvador S, Thovert J-F, Debenest G. Co-current combustion of oil shale Part 1: Characterization of the solid and gaseous products. Fuel. 2010;89:144-151.
- 9 Vitoretti FP, Castro JA. Study of the induration phenomena in single pellet to traveling grate furnace. Journ. Mater. Res. Technol. 2013;2(4):315-322.
- 10 Nascimento G. Lixo deixado a céu aberto em 52 municípios do Estado. A Gazeta. Notícias e destaques. 2009 [acesso em 15 mar. 2014]. Disponível em: <http://www.reciclaveis.com.br/noticias/00805/0080528lixo.htm>.
- 11 Monhol FAF, Pretti JN, Martins MF. Design and calibration of a combustion cell thoroughly instrumented for analysis of solid waste conversion as alternative energy source. International Congress of Mechanical Engineering (Cd-Rom). 2013;22:9240-51.
- 12 Energrup Bio-Renovables, S.L. [página da internet]. Gasificador Caema Ankur-Scientific, Barcelona: Energrup. 2013 [acesso em 15 mar. 2014]. Disponível em: http://www.energrup.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=24.
- 13 Shin D, Choi S. The combustion of simulated waste particles in a fixed bed. Combustion and Flame. 2000;121(1-2):167-180.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.