



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química



VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE REFINO DE PETRÓLEO

Gabriel Henriqson Teixeira¹, Nilson Romeu Marcilio¹

¹ Laboratório de Processamentos de Resíduos
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,
E-MAIL: henriqson@yahoo.com.br, nilson@enq.ufrgs.br

Palavras Chaves: Tratamento térmico, resíduos, refino de petróleo

Resumo: O tratamento térmico de resíduos da indústria de refino de petróleo se apresenta como uma solução para o problema de geração de borras oleosas que se constitui num passivo tóxico de baixo valor agregado. O presente trabalho tem como objetivo a gaseificação e combustão combinadas deste passivo com aproveitamento da energia gerada no processo e tendo como resíduo uma cinza de toxicidade inferior ao resíduo original. Na primeira etapa do estudo foi realizada a caracterização de borras oleosas provenientes de dois processos industriais distintos, sendo o primeiro da refinaria Alberto Pasqualini, localizada no município de Canoas-RS, e o segundo da Petroquímica do Sul, localizada no município de Alvorada-RS. A segunda etapa do estudo prevê a realização de testes na planta piloto, com capacidade nominal de processar 100 kg/h de resíduos, instalada na empresa Preservar Tratamento e Reciclagem de Resíduos Ltda., localizada no município de Dois Irmãos-RS. Nesta etapa será feito um monitoramento das emissões atmosféricas e dos efluentes sólidos e líquidos gerados no processo de tratamento térmico das borras oleosas. Também, será feita uma modelagem matemática da câmara de gaseificação a fim de avaliar a performance do equipamento.

1 Introdução

A indústria petrolífera é responsável pela geração de quantidades consideráveis de resíduos oleosos. Estes resíduos são formados durante as etapas de extração, transporte e refino do petróleo. As chamadas borras oleosas são emulsões compostas basicamente por óleo, água, sólidos grosseiros, agentes tensoativos e estabilizantes. Devido à variabilidade de sua composição, bem como pela não uniformidade de suas características, o seu reaproveitamento torna-se muito difícil [1].

Um grande desenvolvimento na tecnologia de gaseificação ocorreu durante os anos 90 com a

utilização de resíduos de óleo pesado de refinarias como combustível. A gaseificação destes resíduos, objetivando a geração de energia, tornou-se uma ferramenta essencial para o destino dos mesmos. Embora esses óleos possuam pouca quantidade de hidrogênio, este pode ser gerado durante a gaseificação e utilizado para o craqueamento de compostos mais pesados [2].

Borras oleosas possuem uma elevada estabilidade do sistema multifásico, devido à adsorção do óleo nas partículas sólidas, resultando em uma camada altamente protetora, que leva à deposição da borra no fundo dos tanques de armazenamento. A presença de frações polares no



VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

óleo, em especial resinas e asfaltenos, acentuam esta estabilidade e são responsáveis pelos altos valores de viscosidade [3].

A utilização de um processo de gaseificação e combustão combinadas - IGCC (Integrated Gaseification Combined Cycle) em uma refinaria moderna pode oferecer consideráveis benefícios ambientais. Este processo pode reduzir emissões de CO₂ em 40% e de SO_x, NO_x e CO em 80%, o que ajudaria as refinarias a se enquadrarem aos novos e cada vez mais exigentes padrões de emissão atmosférica [4].

A gaseificação pode ser uma alternativa para muitos problemas encontrados na indústria de refino de petróleo. Isto se deve a grande variedade de combustíveis (correntes intermediárias, coque de petróleo, e resíduos pesados) disponíveis para a gaseificação [5]. A integração da unidade de gaseificação junto a todo complexo de operações da refinaria é fundamental para o aumento da eficiência global do processo [6].

2. Metodologia / Materiais e Métodos

O projeto “Tratamento Térmico de Resíduos da Indústria de Refino de Petróleo” inicialmente foi elaborado com o objetivo de realizar a gaseificação e combustão combinadas de borras oriundas da indústria do petróleo. Na etapa inicial do projeto foi realizada a caracterização de duas borras provenientes do processo produtivo da refinaria Alberto Pasqualini, localizada no município de Canoas-RS.

Durante a etapa de solicitação de licença especial para pesquisa, junto ao órgão ambiental do Estado do RS (FEPAM), houve uma preocupação do mesmo em relação à presença de quantidades significativas de mercúrio (Hg) no resíduo. Desta forma a equipe técnica do projeto optou pela utilização de borras oleosas provenientes do processo de re-refino de óleo lubrificante da Petroquímica do Sul, localizada no município de Alvorada-RS.

Abaixo estão identificados os resíduos oleosos utilizados neste estudo, sendo os dois primeiros provenientes da Refinaria Alberto Pasqualini e os outros três provenientes da Petroquímica do Sul.

- Borra de Refinaria Líquida (BRL);
- Borra de Refinaria Pastosa (BRP);
- Borra Neutralizada Petroquímica (BNP);
- Torta de Filtro Petroquímica (TFP);

- Torta de Filtro Nova Petroquímica (TFNP).

A geração de borras oleosas ocorre em duas etapas distintas no processo de re-refino de óleo combustível. A Torta de Filtro Petroquímica (TFP) é produzida no filtro prensa localizado na base do tanque de clarificação de óleo pesado. A Borra Neutralizada Petroquímica (BNP) é produzida no filtro prensa localizado na base do tanque de neutralização da borra ácida. Modificações realizadas na etapa de filtração da borra proveniente do fundo do tanque de clarificação (TFP) diminuíram a concentração de óleo em sua composição. Desta forma a referida borra foi renomeada como Torta de Filtro Nova Petroquímica (TFNP).

Com o objetivo de avaliar o comportamento das borras em um processo de gaseificação e combustão combinadas foi realizada a análise térmica diferencial (TG, DTA) de todos os resíduos. As análises foram feitas em uma termobalança (Scientific Rheometric, STA) em três condições distintas:

- Elevação da temperatura até 600 °C em atmosfera inerte (N₂), seguida da adição de ar sintético em temperatura constante;
- Elevação da temperatura até 1000 °C em atmosfera inerte (N₂);
- Elevação da temperatura até 1000 °C em atmosfera de ar sintético.

O comportamento das amostras nestas condições fornece informações importantes para o processo de gaseificação e combustão combinadas. Na interpretação dos dados obtidos considera-se como umidade a perda de massa ocorrida até 100 °C. Em atmosfera inerte a matéria volátil é liberada antes da matéria carbonosa (char), o que ocorre de maneira simultânea na presença de ar. A massa restante no final é a quantidade de cinzas presente nos resíduos. A Figura 1 apresenta o comportamento típico deste tipo de análise termogravimétrica.

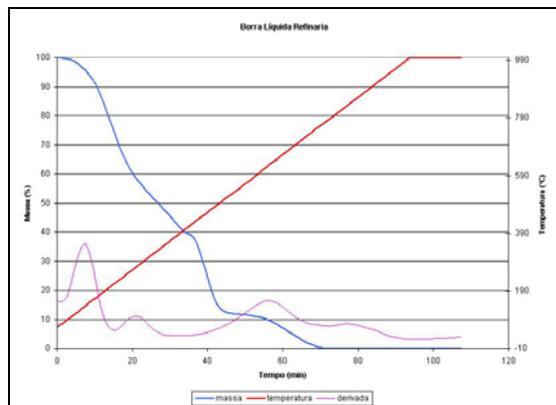


Figura 1– Análise termogravimétrica do resíduo BRL em atmosfera inerte

A cinza proveniente do processo de gaseificação e combustão combinadas das borras representa o passivo gerado e possui elevada importância para a viabilidade do mesmo. Foram realizadas análises para quantificar e qualificar as cinzas das diferentes borras estudadas.

Para a determinação da composição da cinza gerada foram feitas análises de fluorescência e de difração de Raios-X. As análises foram feitas no Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica da UFRGS (CPGq).

Para a análise de difração de Raios-X as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Difractometria de Raios-X do CPGq. O equipamento utilizado na análise foi um difratômetro marca SIEMENS modelo D5000.

A caracterização físico-química dos resíduos foi realizada pela Nova Ambi Serviços Analíticos Ltda, utilizando metodologias baseadas no USEPA (U.S. Environmental Protection Agency).

A planta piloto utilizada para o tratamento térmico dos resíduos está instalada na empresa Preservar Tratamento e Reciclagem de Resíduos Ltda., localizada no município de Dois Irmãos-RS. A referida planta foi inicialmente projetada para a gaseificação e combustão de resíduos da indústria coureiro-calçadista e utilizada em estudos semelhantes [7].

Ensaio foram realizados para avaliar a viabilidade de alimentação dos diferentes resíduos na planta piloto. Para o processo de mistura foi utilizado um pequeno tambor sobre dois eixos rolantes durante duas horas, sendo uma hora para cada sentido de rotação. Devido à quantidade de óleo lubrificante residual na Torta de Filtro (TFP) a mistura em partes iguais de ambas as borras tende a

aglomerar-se em uma massa única. Para reduzir a aglomeração causada pelo óleo lubrificante foi adicionada à mistura serragem de madeira. Foram realizados experimentos utilizando serragem na proporção de 50, 33,3, 20 e 10% da massa total da mistura.

Com a redução da quantidade de óleo lubrificante residual na Torta de Filtro Nova (TFNP) a aglomeração da mistura reduziu consideravelmente, bem como a necessidade de adição de serragem. Foram realizados ensaios de mistura da Torta de Filtro Nova (TFNP) com a Borra Neutralizada (BNP), em partes iguais, bem como com a adição de serragem nas proporções de 10 e 5% da massa total da mistura.

3. Resultados

A comparação das curvas de perda de massa em atmosfera inerte e ar sintético nos permitem avaliar com melhor precisão os teores de umidade, matéria volátil, resíduo sólido carbonoso (char) e de cinzas das borras. A velocidade de perda de massa pode ser analisada a partir da derivada da curva de perda de massa.

A interpretação dos comportamentos das amostras da refinaria em termobalança em atmosfera inerte e de ar sintético esta demonstrada nos gráficos das Figuras 2 e 3.

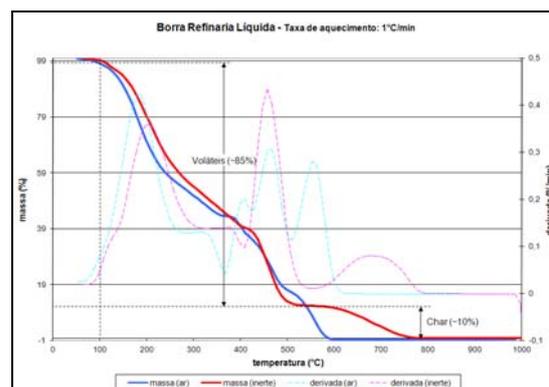


Figura 2: Análise termogravimétrica da Borra de Refinaria Líquida em atmosfera inerte e ar sintético.



23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

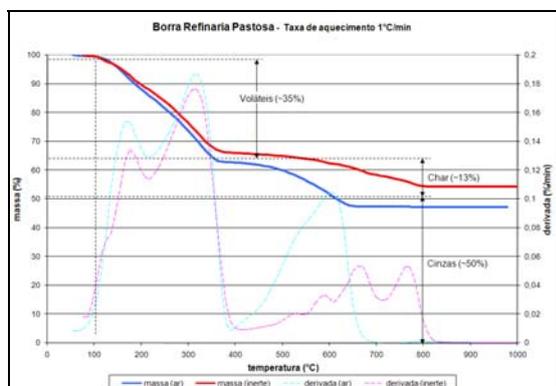


Figura 3: Análise termogravimétrica da Borra de Refinaria Pastosa em atmosfera inerte e ar sintético.

Observando as figuras anteriores nota-se uma diferença considerável entre as duas borras da refinaria. A Borra Líquida (BRL) apresenta uma grande quantidade de matéria volátil (~85%) e pouca quantidade de cinzas. Já a Borra Pastosa (BRP) é em grande parte composta de cinzas (~50%) e apresenta menor quantidade de matéria volátil (~35%). Em ambas as amostras a quantidade de matéria carbonosa (char) é semelhante (entre 10% e 15%) e praticamente não apresentaram umidade em sua composição.

O comportamento da derivada da curva de perda de massa para a borra de refinaria líquida (BRL) apresentou um pico bem definido (~200°C) na região de liberação da matéria volátil, indicando o ponto de maior taxa de perda de massa. O pico observado na região próxima a 700°C, no ensaio em atmosfera inerte, indica a maior taxa de perda de massa da matéria carbonosa (char).

O ensaio da borra de refinaria pastosa (BRP) nos fornece dois picos na região de liberação da matéria volátil, bem como na região de maior temperatura (reação da matéria carbonosa com o ar sintético). Isto ocorreu em função da presença de duas inclinações significativas na curva de perda de massa, uma devido à matéria volátil e outra devido à matéria carbonosa, respectivamente.

O ensaio com a Borra Neutralizada Petroquímica (BNP) em termobalança (atmosfera inerte e de ar sintético) é apresentado na Figura 4.

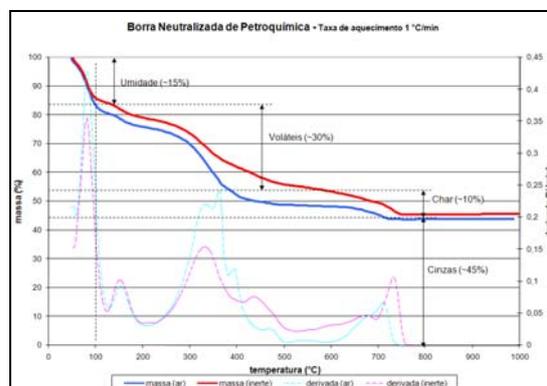


Figura 4: Análise termogravimétrica da Borra Neutralizada de Petroquímica em atmosfera inerte e ar sintético.

A Borra Neutralizada na termobalança apresenta considerável quantidade de cinzas (~45%), baixa quantidade de matéria carbonosa (~10%) e umidade relativamente alta (~15%).

A curva da derivada apresenta três picos de máximo. O primeiro pico é devido à perda de umidade da amostra que ocorre de forma rápida. O segundo e terceiro picos representam as máximas taxas de perda de massa da matéria volátil e matéria carbonosa, respectivamente.

As Figuras 5 e 6 apresentam os resultados obtidos nos ensaios realizados com a Torta de Filtro (TFP) e da Torta de Filtro Nova da Petroquímica (TFPN) em termobalança, com atmosfera inerte e de ar sintético.

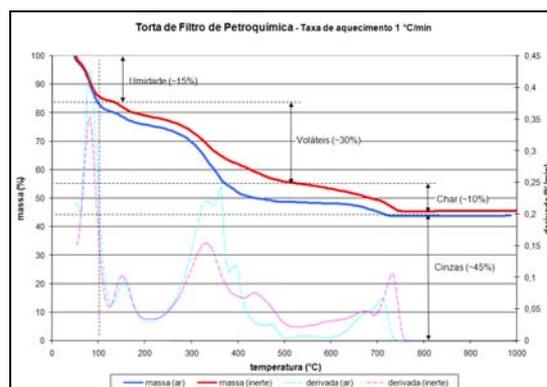


Figura 5: Análise termogravimétrica da Torta de Filtro da Petroquímica em atmosfera inerte e ar sintético.



VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

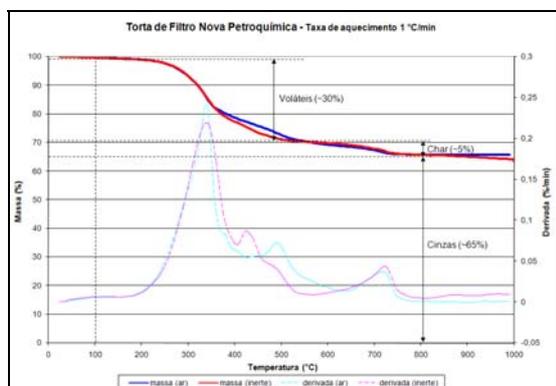


Figura 6: Análise termogravimétrica da Torta de Filtro Nova da Petroquímica em atmosfera inerte e ar sintético.

A partir da análise das Figuras 5 e 6 é possível observar que a modificação do processo de obtenção da referida borra ocasionou a redução da matéria carbonosa de 10 para 5%. A análise da Torta de Filtro Nova indica ausência de umidade, ou seja, a torta está praticamente isenta de água (seca). A quantidade de matéria volátil permaneceu aproximadamente constante. Houve um aumento na concentração de cinzas na Torta de Filtro Nova Petroquímica de 45% para 65%. Em ambos os ensaios o pico representando a taxa máxima de perda de massa na região de liberação da matéria volátil está em torno de 350°C.

A tabela 1 mostra a quantidade de cinzas presentes em cada resíduo.

Tabela 1: Teor de cinzas (%) das diferentes borras

Amostra	BRL	BRP	BNP	TFP	TFNP
Cinza %	3,52	57,35	45,64	61,51	67,38

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados semi-quantitativos e quantitativos das diferentes borras analisadas. A tabela 4 apresenta uma varredura qualitativa para alguns metais nas respectivas borras.

Observa-se nos resultados da tabela 2 que as cinzas dos resíduos, com a exceção da BNP, apresentam uma considerável quantidade de silício, sob a forma de óxido. Observa-se, também que a amostra BNP, diferentemente das outras, apresenta elevado teor de cálcio na sua composição. Isto se deve ao processo de neutralização da borra que é realizado com compostos à base de cálcio.

Tabela 2 – Análise semi-quantitativa das cinzas das amostras

Amostra	BRL	BRP	BNP	TFP	TFNP
Metal	%	%	%	%	%
Si	22,65	25,35	0,50	23,4	20,95
Al	16,30	18,8	0,20	9,5	4,62
Ti	0,60	0,9	0,00	0,5	0,48
Fe	5,90	1,5	0,20	5,9	2,79
Mn	0,00	0	0,00	0,1	0,12
Mg	0,30	0,75	0,00	1,5	1,47
Ca	0,65	0,1	30,90	6,15	8,59
Na	0,90	0,2	0,05	0	0,01
K	0,10	0,05	0,00	2,35	1,16
P	0,10	0,1	0,20	0,1	0,08
Cl	0,65	0,7	0,75	0,7	0,00
S	0,45	0,4	10,10	0,8	0,00

Tabela 3 – Análise quantitativa (ppm) das cinzas das amostras

Amostra	BRL	BRP	BNP	TFP	TFNP
Metal	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Y	nd	nd	nd	56,3	50
Pb	129,6	39,2	18,15	26,35	23
Ni	1874,8	1228,7	nd	21,55	18
Co	103,35	nd	nd	27,55	23
Cu	205,2	18,5	29,4	66,75	90
Ga	43,55	35,7	1,65	26,75	25
Sr	300,9	53,85	933,8	417,5	487
Zr	89,3	117,25	128,75	102,35	105
Zn	1015,6	61	488,5	349,75	396
Nb	nd	nd	nd	28,7	25
Rb	nd	nd	nd	287,55	262
As	45,35	6,2	1,7	10,15	8
Cr	618,5	204,9	3,25	89,55	69
Ba	759,4	541,5	nd	412,3	389

(nd – não detectado)

Segundo a legislação vigente a cinza gerada no tratamento térmico de um resíduo perigoso também é considerada resíduo perigoso, a menos que se comprove sua não periculosidade [7]. Comparando os resultados obtidos na tabela 3 com os limites máximos permitidos para que a cinza seja classificada como resíduo sólido não perigoso apenas a amostra BRL apresenta uma quantidade de chumbo acima da permitida pela legislação ambiental, que no caso seria de 100 ppm [8].



VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

Tabela 4 – Metais Identificados na Varredura de Fluorescência de Raios-X

Amostra	BRL	BRP	BNP	TF	TFN
V	S	S	N	S	N
Co	S	T	N	N	N
Mo	T	N	T	N	N
Sb	S	S	N	N	N
La	S	S	N	N	N
Ce	S	S	N	N	N
Pr	S	S	N	N	N
Nd	S	S	N	N	N

(S – Detectado, N – Não detectado, T – Detectado com traço)

Com base na análise dos difratogramas foi gerada a tabela 5, que apresenta os principais minerais encontrados nas cinzas das respectivas borras analisadas.

Tabela 5 – Minerais encontrados na varredura de difração de Raios-X das diferentes amostras

Mineral	BRL	BRP	BNP	TF	TFN
Faujasita	S	S	N	N	N
Anatásio	S	S	N	N	N
Rutilo	S	N	N	N	N
Hematita	S	N	N	N	N
Cristobalita	N	S	N	N	N
Quartzo	N	N	S	S	S
Calcita	N	N	S	S	S
Anidrita	N	N	S	S	S
Ilita	N	N	N	S	S
Feldspato Alcalino	N	N	N	S	S
Magnetita	N	N	N	S	N
Portlandita	N	N	S	N	N
Lima	N	N	S	N	N

(S – Detectado, N – Não detectado)

A tabela 6 abaixo apresenta os resultados obtidos nas análises de caracterização físico-química dos resíduos.

Tabela 6 – Análises físico-químicas das amostras

Análises pedidas / Amostras	Refinaria Líquida	Refinaria Pastosa	Borra Neutra	Torta de Filtro	TF Nova	
Análise elementar (%)	C	86,07	46,72	26,21	22,63	27,11
	H	10,55	4,51	6,17	7,09	4,76
	N	0,41	0,17	0,18	0,06	0,10
	S	0,95	1,68	7,79	0,87	1,38
Poder Calorífico (MJ/Kg)	Inferior	40,13	39,41	10,39	14,30	11,47
	Superior	42,37	40,37	11,70	15,81	12,48
Teor de metais segundo a Resolução 316/02 do Conama (mg/Kg)	Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,75	< 0,5
	Hg	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
	Tl	< 0,5	8,30	7,90	11,00	11,60
	As	< 3,0	47,00	< 3,0	3,50	3,30
	Co	< 5,0	14,60	< 5,0	12,60	7,26
	Ni	16,20	292,00	10,40	19,80	5,18
	Be	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 0,2
	Se	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 25
	Sb	41,00	330,00	8,50	< 5,0	12,00
	Pb	< 2,0	22,60	17,60	23,40	20,90
	Cr	< 2,0	10,10	8,04	35,60	< 2,0
	CN	< 15	< 15	< 15	< 15	< 0,05
	Cu	< 2,0	5,84	27,50	26,60	35,80
	Zn	10,00	21,00	29,00	166,00	131,00
	F	< 10	< 10	120,00	< 10	4,80
	Mn	4,00	11,60	42,20	578,00	678,00
P	< 10	154,00	< 10	< 10	14,00	
V	35,00	459,00	5,90	44,00	18,80	

A avaliação da concentração de metais nas três correntes envolvidas no processo (resíduo, cinza, fase gás) permite uma estimativa da sua presença nas emissões atmosféricas da planta piloto. A Figura 7 apresenta um fluxograma esquemático das correntes envolvidas no processo de gaseificação e combustão combinadas dos resíduos estudados.

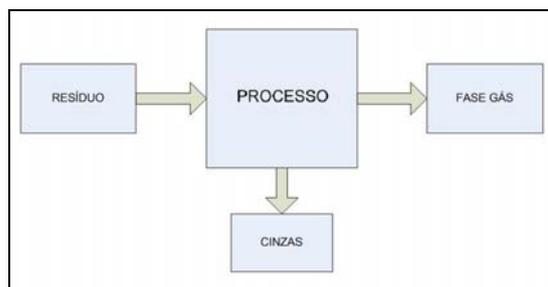


Figura 7: Correntes de processo

A Tabela 7 apresenta uma estimativa da presença de metais nas emissões atmosféricas (fase gás) da planta piloto em função das análises realizadas no resíduo e na cinza.

Tabela 7 – Estimativa qualitativa da presença de metais nas emissões atmosféricas da planta piloto

metal	BRL			BRP			BNP			TFP			TFNP		
	R	C	G	R	C	G	R	C	G	R	C	G	R	C	G
As	N	N	NE	S	S	E	N	N	NE	S	S	NE	S	S	NE
Co	N	N	NE	S	N	E	N	N	NE	S	S	NE	S	S	NE
Ni	S	S	NE	S	S	NE	S	N	E	S	S	E	S	S	NE
Pb	N	N	NE	S	S	E	S	S	E	S	S	E	S	S	E
Cr	N	N	NE	S	S	NE	S	S	E	S	S	NE	N	N	NE
Cu	N	N	NE	S	S	NE	S	S	E	S	S	NE	S	S	NE
Zn	S	S	NE	S	S	NE									
Mn	S	N	E	S	N	E	S	N	E	S	S	E	S	S	NE
P	N	N	NE	S	S	E	N	N	NE	N	N	NE	N	N	NE

R: resíduo; C: cinza; G: fase gás

S: presente, N: não presente, E: esperado, NE: não esperado

Através de um balanço de massa estimou-se os elementos que poderão estar presentes na fase gás. Embora a concentração de alguns metais seja da ordem de traços uma estimativa qualitativa de sua presença na fase gás poderá ser de grande importância para o planejamento do processo em função das características do passivo gerado pelas correntes efluentes.



VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

4. Conclusão

Considerando o poder calorífico dos resíduos oleosos estudados chega-se a conclusão principal de que a gaseificação e combustão combinadas surgem como uma alternativa interessante para solucionar o problema de eliminação de passivos oleosos da indústria de refino de óleos lubrificantes. A idéia de utilizar um passivo sem valor agregado como fonte de energia que possa retornar para o processo produtivo aparece como uma melhoria deste. As análises termogravimétricas dos resíduos forneceram importantes informações a respeito do comportamento dos mesmos em atmosfera inerte e atmosfera oxidante. As análises físico-químicas dos resíduos oleosos e das cinzas serviram para fazer uma estimativa da presença de metais nas emissões atmosféricas oriundas do processo de tratamento térmico destes resíduos.

Entretanto, fica evidente a necessidade e importância de realizarem-se testes em planta piloto a fim de direcionar o estudo de utilização das cinzas provenientes do processo e da própria viabilização deste. Quanto ao passivo apresentado pelas cinzas geradas, além de ser em menor quantidade do que o resíduo original apresenta uma toxicidade menor.

Também se pretende avaliar a possibilidade de aproveitamento energético dos gases oriundos do processo e se pretende realizar uma modelagem matemática da etapa de gaseificação.

5. Bibliografia

- [1] URURAHY A. F. P.; PEREIRA JR, N.; MARINS, M. D. M. Desempenho de um Biorreator do Tipo CSTR no Processo de Degradação de Borra Oleosa – Boletim Técnico da Petrobrás, v. 41, nº 3, p 125, 1998.
- [2] HIGMAN, C.; BURGT, M. V. der. Gasification. Ed. Elsevier, Burlington, 2003.
- [3] LOUVISSE, A. M. T., FREIRE, N. O., TEIXEIRA, C. L. Metodologia para caracterização de borras de petróleo. In: MESA REDONDA SOBRE QUÍMICA ANALÍTICA AMBIENTAL. Coletâneas de trabalhos. Salvador: PETROBRAS. SEREC. CEN-SOR, 1994. 107 p. p. 84-93.
- [4] Cabooter, A. A; Brkic, D; Cooperberg D. C; Sep K. IGCC is environmentally friendly choice in Polish refinery. Oil & Gas Journal. ABI/INFORM Global, vol. 99, pg. 58, Tulsa, 2001.
- [5] HEAVEN, David L. Gasification converts a variety of problem feedstocks and wastes. Oil & Gas Journal. ABI/INFORM Global, vol. 94, pg. 49, Tulsa, 1996.
- [6] PHILCOX, J; FENNER G. W. A Texas project illustrates the benefits of integrated gasification. Oil & Gas Journal. ABI/INFORM Global, vol. 95, pg. 41, Tulsa, 1997.
- [7] GODINHO, M. Gaseificação e Combustão de Resíduos Sólidos da Indústria Calçadista. Porto Alegre, 2006. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS.
- [8] Resolução CONAMA: Nº 316, Ano:2002. "Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos" - Data da legislação: 29/10/2002 - Publicação DOU: 20/11/2002
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR – 10.004 – Resíduos Sólidos: Classificação. São Paulo.