

TRATAMENTO DE REVESTIMENTOS GASTOS DE CUBA¹

Jose Giovanni Concha Lazarinos²
Francisco José Moura³
André Bastos Cardoso⁴

Resumo

Os Revestimentos Gastos de Cuba (RGC) são resíduos provenientes da indústria de alumínio. O RGC é formado por duas frações: carbonácea e refrataria. Segundo a NBR 10004 o RGC é classificado como resíduo perigoso (K088) devido ao fato de possui elevadas quantidades de complexos de cianeto. O objetivo principal do presente trabalho é desenvolver um método para tratar os RGC; especificamente se busca a destruição dos compostos de cianeto contidos na fração carbonácea. Tornando assim o RGC um resíduo não perigoso. O RGC foi tratado em um sistema de Gaseificação e Combustão Combinada (GCC) em escala piloto (20 Kg/h). Os Sistemas GCC são constituídos de duas seções. A primeira seção é um Reator de Gaseificação e a segunda seção é um Reator de Combustão. A alimentação do RGC no reator foi de 1kg RGC/kg lenha. Mediante este processo conseguiu-se destruir aproximadamente o 99 % dos compostos de cianetos. Com a destruição dos compostos de cianeto se buscará a classificação das cinzas (do RGC) do processo como resíduo não perigoso.

Palavras-chave: Revestimentos Gastos de Cuba; Cianeto; Gaseificação.

TREATMENT OF SPENT POTLINER

Abstracts

Spent Potliner (SPL) is an aluminium industry hazardous waste. SPL is formed by two fractions: carbon and refractory material. In Brazil the spent potliner is listed as hazardous waste (NBR 10004) because it contains high amounts of cyanide complexes. The main objective of this work is to develop a method to treat SPL, mainly searching the destruction of cyanide compounds; cyanides are mostly contained in the carbon fraction. Spent Potliner was treated in a Gasification-Combustion System (GCS), pilot scale (20 Kg/h). GCS are constituted of two sections. The first is a Gasification Reactor and the second section is a Combustion Reactor. The feeding into the GCS was 1kg SPL/kg wood. Cyanide destruction was approximately 99 %. With the destruction of the cyanide compounds will be tried to classify the ashes as no hazardous waste.

Key words: Spent potliner; Cyanides; Gasification.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Engenheiro Químico, Aluno de mestrado do DCMM - PUC - Rio. jconcha@dcmm.puc-rio.br

³ Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., Ph.D., Professor Assistente do DCMM – PUC - Rio. moura@dcmm.puc-rio.br

⁴ Engenheiro Químico, M.Sc. Valesul Alumínio S.A. andrebastos@valesul.com.br

1 INTRODUÇÃO

O alumínio é produzido industrialmente pela redução eletrolítica (processo Hall-Heroult) da alumina (Al_2O_3) dissolvida em um banho de fluoretos fundidos. O processo Hall-Heroult se desenvolve em cubas eletrolíticas as quais possuem dois componentes principais: os anodos e o cátodo. Os principais materiais constituintes do cátodo são, material refratário, pasta catódica, e blocos de carvão. Na vida útil do cátodo (5 – 8 anos), durante o processo eletrolítico, os blocos de carvão e o material refratário absorvem parte dos componentes do banho. A absorção, principalmente da criolita prejudica a integridade dos materiais do cátodo, em alguns casos inclusive causando fratura. Estes materiais danificados são conhecidos como Revestimentos Gastos de Cuba (RGC), em inglês como *Spent Potliner* (SPL). O RGC pode ser dividido em duas frações: RGC de primeiro corte (*fração carbonácea*) e RGC de segundo corte (*fração refratária*).^[1-4] Os Revestimentos Gastos de Cuba são uns dos maiores problemas ambientais ligados à indústria do alumínio. Assim, o RGC de primeiro corte foi classificado pela *United State Environmental Protection Agency* (EPA) como resíduo perigoso (K088), em 1988. Esta classificação foi devida às quantidades elevadas de cianeto contidas no RGC.^[2-5] No Brasil, os Revestimentos Gastos de Cuba também são classificados como resíduos perigosos, Resíduo Sólido Classe I, principalmente por conter quantidades tóxicas de cianetos (complexos).^[6]

A formação de cianetos nos blocos catódicos ocorre pela reação entre o nitrogênio do ar, o carbono dos revestimentos e o sódio do banho eletrolítico, produzindo cianeto de sódio – NaCN .^[1,7] A reação de formação dos cianetos é favorecida nas regiões frias da cuba e catalisada por compostos de ferro.^[1,2,7,8] Os cianetos, contidos no RGC armazenado, com o transcurso do tempo entram em contato com água (umidade do ar), a maioria deles reage com esta água e se tornam aptos para formar complexos de ferro ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$), os quais são altamente estáveis. Assim, em RGC armazenados durante muito tempo, 90 % dos cianetos encontrados foram na forma de ferrocianetos. Sendo os complexos de ferro muito mais difíceis de oxidar que o cianeto de sódio. Os cianetos que não formam complexos são altamente solúveis e podem ser facilmente lixiviados com a água de chuva.^[7,9,10]

Segundo Courbariaux *et al.*^[7] se estima que a nível mundial são geradas aproximadamente 800000 – 1000000 toneladas de RGC por ano. A geração de RGC por tonelada de alumínio primário produzido está na faixa de 25 – 35kg.^[11] Atualmente, no Brasil existem dois destinos para o RGC, estes são, armazenamento ou co-processamento na indústria cimenteira. A quantidade de RGC armazenada é enorme, e está na espera de um método apropriado para trata-las, enquanto o co-processamento de RGC na indústria cimenteira, nem sempre é o método mais adequado, principalmente, pelos custos envolvidos e versatilidade deste método, além disto muitas das empresas produtoras de alumínio se localizam longe das plantas cimenteiras, tornando impossível seu co-processamento. A produção Brasileira de alumínio primário em 2006 atingiu 1,603 milhões de toneladas,^[12] fazendo cálculos aproximados para estimar a geração de RGC no Brasil, levando em conta os dados do *International Aluminium Institute*,^[11] em 2006 teria se gerado entre 40000 – 56000 toneladas de RGC.

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um processo que permita tratar eficientemente o RGC; especificamente destruir os compostos de cianeto contidos nele, mediante um processo que seja economicamente viável para ser implantado industrialmente. Além disto, busca-se o uso eficiente da fração

carbonácea do RGC para recuperação de energia. O processo selecionado foi o de gaseificação. Gaseificação pode ser definida como a conversão térmica de um material combustível (sólido ou líquido) em um produto gasoso combustível (Gás de Síntese), que contém CO, H₂, CH₄, CO₂, H₂O, outros hidrocarbonetos, gases inertes e diversos contaminantes (ex. particulados, alcatrões, etc.).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostra

Os Revestimentos Gasto de Cuba estudados neste trabalho foram fornecidos pela Valesul Alumínio S.A.. O resíduo, que se encontra armazenado em pilhas, foi coletado mediante uma amostragem aleatória simples. Foram retiradas amostras da fração carbonácea, a qual tinha sido previamente separada da fração refratária. As amostras foram cominuídas para tamanhos de partícula menores que 10 μ m. Lenha (pino) foi utilizada como combustível adicional, o tamanho da lenha foi de 20 – 30 cm, umidade 10%, e 1% de cinzas.

2.2 Composição Química

A caracterização química foi feita principalmente para determinar cianetos, fluoretos, compostos inorgânicos, fração carbonácea e poder calorífico. As amostras analisadas foram os revestimentos gastos de cuba de primeiro corte (fração carbonácea) e as cinzas do processo de gaseificação.

2.3 Caracterização Petrográfica

O microscópio ótico utilizado foi da marca Carl Zeiss, modelo Axioplan MD 100, luz refletida. As imagens foram obtidas com uma vídeo câmera Sony, Modelo 3 CCD, acoplada ao microscópio. Usaram-se oculares ajustáveis de 5x, 10x. O software utilizado para obter as imagens foi KS400 2.0. Depois de cortadas as frações das partículas selecionadas para as análises, as amostras foram embutidas em resina epóxica, em seguida preparadas por via úmida, em uma série de lixas número 150, 220, 320, 400, 600, 800 e 1200, em seguida foram polidas por meio de politrizes manuais com pasta de diamante de 6 μ m, finalmente foram lavadas com álcool e secas.

2.4 Difração de Raios X

As amostras analisadas foram pulverizadas até tamanho de partículas menores que 105 μ m. Os difratogramas foram obtidos por um Difrátômetro de raios-X marca Siemens, modelo D5000, com radiação CuK α ($\lambda=1,406 \text{ \AA}$), voltagem de 40 kV e corrente de 30mA e passo de varredura de 5° a 90° (2 θ) com uma largura de 0,02° e tempo de aquisição de 2s por passo.

2.5 Descrição do Equipamento Piloto

Os experimentos foram realizados empregando tecnologia de Gaseificação e Combustão Combinada (GCC) da *Termoquip Energia Alternativa Ltda.* em escala piloto (20 Kg/h). O Sistema GCC - Termoquip são constituídos principalmente de

duas seções: Reator de Gaseificação e Câmara de Oxidação. A fotografia do sistema GCC e as principais partes deste são apresentadas na Figura 1.

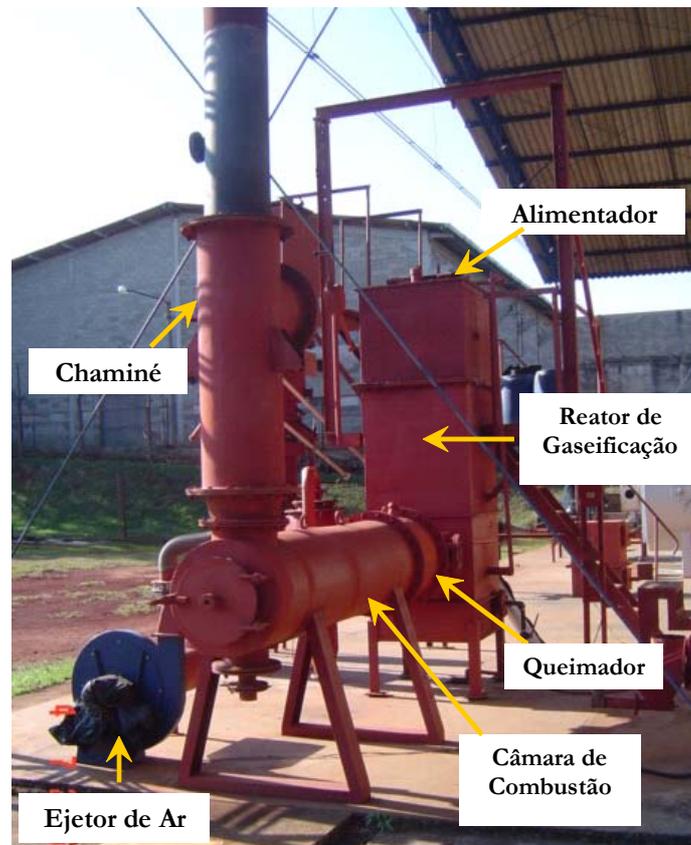


Figura 1. Fotografia do reator GCC – Termoquip.

O reator de gaseificação é um reator de leito fixo de fluxo cruzado. Aqui o resíduo é inicialmente gaseificado, usando como combustível auxiliar a lenha. No interior do reator de gaseificação, a lenha e o RGC são submetidos a uma decomposição termoquímica que se processa em quatro etapas: Secagem, pirólises, oxidação e redução. Os produtos do reator de gaseificação são uma mistura combustível de gases leves e cinzas (constituídos por materiais inorgânicos presentes no RGC e na lenha). A grelha do reator de gaseificação é projetada de modo que as cinzas tenham o tempo de residência mínimo de uma hora no interior do equipamento, a fim de atender a Norma NB-1265 da ABNT referente à incineração de resíduos sólidos perigosos. Na Câmara de oxidação (câmara de combustão) o gás combustível é totalmente queimado com ar. O projeto do reator de oxidação prevê um tempo de residência mínimo de dois segundos para que os gases provenientes do processo de gaseificação sejam totalmente destruídos, sendo o efluente constituído essencialmente de uma mistura de vapor de água, CO_2 , N_2 e O_2 , e no caso da gaseificação do RGC se terá fluoretos.

2.6 Procedimento Experimental do Processo de Gaseificação

A alimentação inicial ao reator foi aproximadamente 30 Kg de lenha/h, durante um período de 3 horas, isto permitiu obter um perfil adequado de temperatura ($> 850^\circ\text{C}$) necessário para otimizar a destruição de cianetos durante o processamento do RGC. Após três horas de alimentação com lenha, iniciou-se a alimentação do

RGC, com uma vazão aproximada de 15 kg RGC/h alternadamente com 15 kg lenha/h. No total foram alimentados 50 kg de RGC. Cada meia hora foi efetuada medições de temperatura na câmara de combustão, antes e depois da alimentação do SPL, com o objetivo de avaliar o efeito do RGC na geração dos gases combustíveis. A coleta das cinzas foi feita quando estas e o reator estiveram totalmente frios. A destruição dos compostos de cianeto foi avaliada mediante um balanço de massa, empregando as análises químicas das cinzas geradas no processo. Aplicando a lei da conservação de massa:

$$\sum m_{entrada} = \sum m_{saída}$$

$$m_{CN-destruido} = m_{RGC} \cdot C_{CN-RGC} - m_{RGC-cinza} \cdot C_{CN-cinza}$$

Onde:

$m_{CN-destruido}$ = Quantidade de cianeto destruído na gaseificação (ppm)

m_{RGC} = Massa de RGC alimentada no processo (Kg)

C_{CN-RGC} = Concentração do cianeto no RGC alimentado no processo (ppm)

$m_{RGC-cinza}$ = Massa da cinza produzida a partir da gaseificação do RGC (Kg)

$C_{CN-cinza}$ = Concentração do cianeto na cinza gerada a partir do RGC (ppm)

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização do RGC

Os resultados das análises químicas dos principais elementos e compostos contidos no RGC encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Composição química dos Revestimentos Gastos de Cuba de primeiro corte.

Elemento	Unidade	Valor
S	%	0,26
C	%	58,66
H	%	0,08
N	%	0,75
Na ₂ O	%	16
K ₂ O	%	0,1
Cl	%	0,29
F	%	11,64
CN	ppm	1088,2
PCS	MJ/Kg	16

As imagens obtidas no microscópio ótico da fração carbonácea dos revestimentos gastos de cuba, são apresentadas nas Figuras 2 e 3.

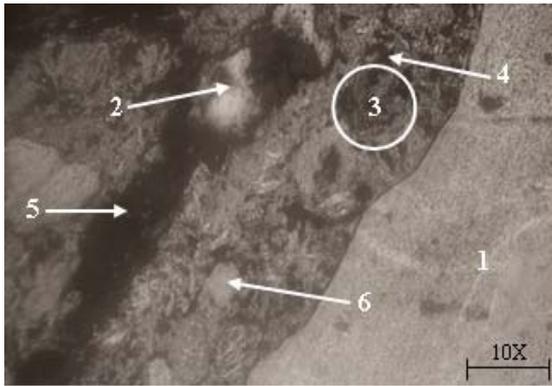


Figura 2. Micrografia de uma partícula de RGC de primeiro corte.

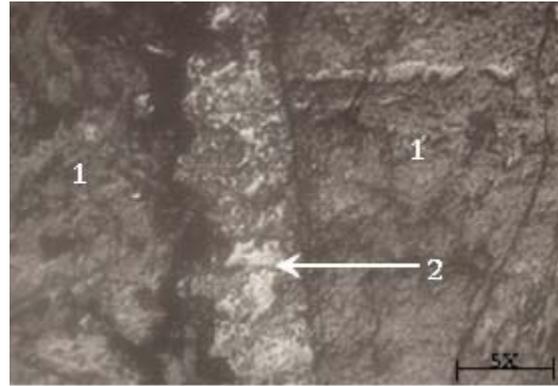


Figura 3. Micrografia de RGC de primeiro corte com infiltração de banho eletrolítico.

Na Figura 2, observa-se a imagem típica de uma fração de um bloco catódico danificado, onde:

- 1: Partícula de antracito (bloco amorfo).
- 2: Banho eletrolítico infiltrado no bloco catódico.
- 3: Pasta, a qual é uma mistura de piche e grãos de coque.
- 4: Porosidade na pasta catódica.
- 5: Trincas, as quais teriam sido geradas durante o processo de redução ou durante a desmontagem da cuba danificada.
- 6: Material de enchimento da pasta (coque ou antracito).

Na Figura 3, que também é RGC de primeiro corte, encontrou-se banho eletrolítico infiltrado entre as partículas de antracito do bloco. Onde:

- 1: Partículas de antracito.
- 2: Banho eletrolítico infiltrado no bloco catódico.

As principais fases cristalinas encontradas no RGC de primeiro corte foram determinadas mediante análises de raios X. O difratograma do RGC é apresentado na Figura 4.

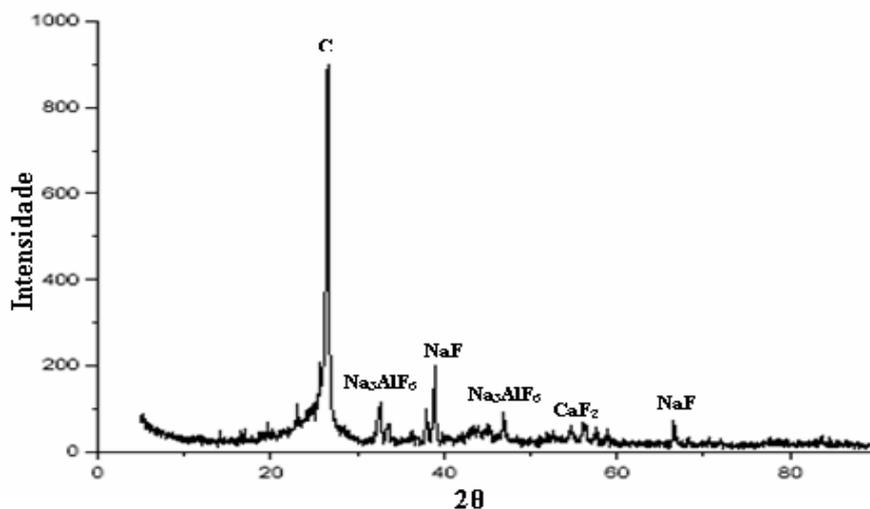


Figura 4. Difratograma do RGC de primeiro corte (fração carbonácea)

3.2 Gaseificação

A percentagem de conversão (gaseificação) alcançada no processo GCC foi 21%. A conversão foi calculada pela seguinte expressão:

$$X_{SPL} = 100 * \frac{m_o - m_f}{m_o - m_{Cinzas}}$$

Onde:

X = Conversão (%)

m_o = Massa inicial do RGC (50 kg)

m_f = Massa final, cinzas do processo (43 kg).

m_{cinzas} = massa cinzas do RGC mais cinzas da lenha, (17,7 kg)

A composição química das cinzas geradas no processo de gaseificação é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química das cinzas do processo de gaseificação.

Elemento	Unidade	Valor
Carbono	%	49,7
Fluoreto total	%	4,56
Cianeto total	mg/L	ND
Cianeto lixiviável	mg/L	ND
pH		11,02
SiO ₂	%	4,55
Al ₂ O ₃	%	11,08
Fe ₂ O ₃	%	0,52

Nas cinza do processo GCC, observou-se que aproximadamente 60 % das partículas apresentaram uma camada de cor branca, contendo no interior um núcleo não reagido da fração carbonácea, como é apresentado nas Figuras 5 e 6.

A Figura 7 apresenta o difratograma da camada branca formada durante o processo de gaseificação do RGC de primeiro corte.

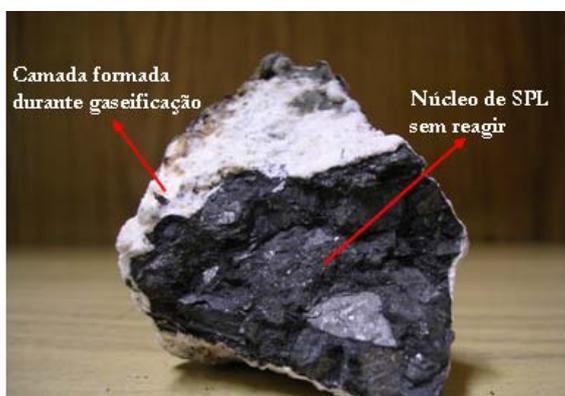


Figura 5. Partícula de RGC gaseificada.

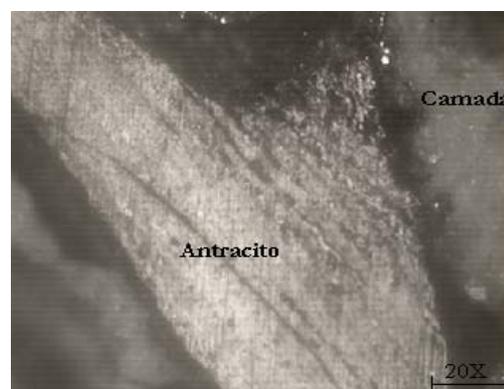


Figura 6. Micrografia da camada branca, do RGC gaseificado.

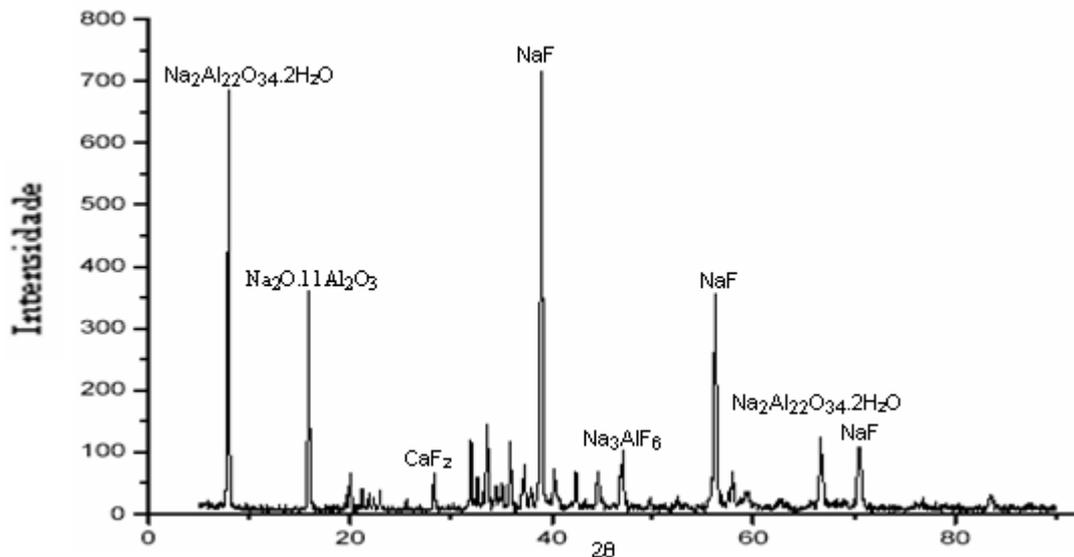


Figura 7. Difratoograma da camada branca formada durante a gaseificação do RGC.

Na caracterização ótica da camada das cinzas do processo (Fig. 6) observa-se que esta é uma fase cristalina, indicando que durante o processo de gaseificação alguns dos compostos infiltrados no RGC teriam se fundido. Segundo o difratograma da camada (Fig. 7), estas fases cristalinas são principalmente, NaF, $\text{Na}_2\text{Al}_{22}\text{O}_{34} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ e Na_3AlF_6 , e em menor proporção CaF_2 .

Durante o processo GCC registrou-se um aumento considerável da temperatura na câmara de combustão, inicialmente de 1000°C (sem adição de RGC), elevando-se para temperaturas maiores que 1250°C , isto aproximadamente uma hora depois de ter sido alimentado o RGC. A variação da temperatura na câmara de combustão é apresentada na Figura 8.

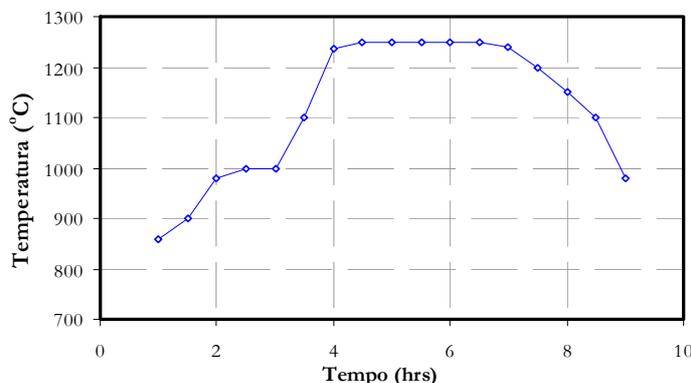


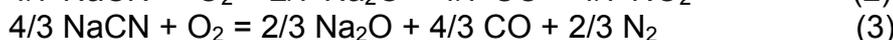
Figura 8. Variação da temperatura na Combustão.



Figura 9. Câmara de combustão/GCC.

3.3 Destruição de Cianetos

A destruição do cianeto de sódio, que é a principal forma na qual se encontra presente o cianeto no RGC quando este é desmontado, ocorre por oxidação; as duas possíveis reações são:



Para fins de avaliar termodinamicamente a viabilidade das duas reações propostas construiu-se um diagrama de energia padrão de Gibbs vs. Temperatura, apresentado na Figura 9 (dados obtidos no HSC Chemistry 5.0).

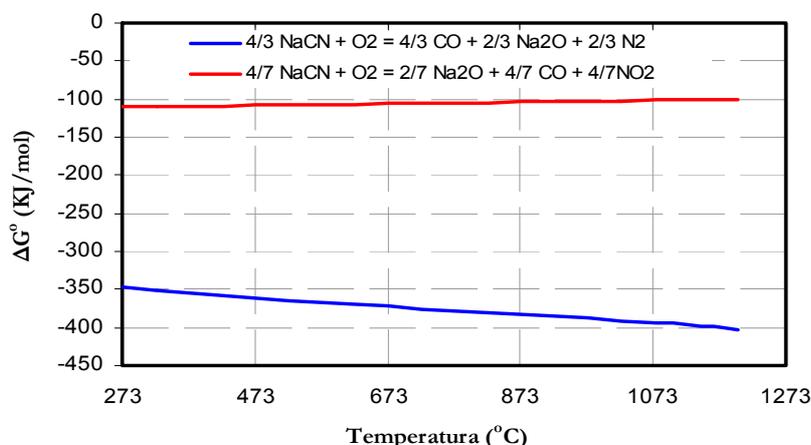


Figura 9. Diagrama de estabilidade da oxidação do cianeto de sódio.

No processo GCC, as análises químicas das cinzas provenientes do teste de gaseificação mostraram que a destruição dos compostos de cianeto foi aproximadamente 99%.

4 DISCUSSÃO

4.1 Caracterização

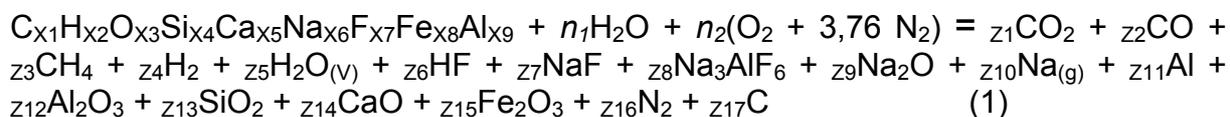
Segundo as análises químicas (Tabela 1) a quantidade de cianetos ultrapassa o valor mínimo permissível para que um resíduo sólido seja classificado como resíduo não perigoso. Confirmando assim a classificação do RGC de primeiro corte como Resíduo Classe I. A quantidade de fluoretos (penetração do banho) também está por acima do valor mínimo que um resíduo sólido precisa para ser classificado como resíduo não perigoso. O valor do pH do RGC foi altamente alcalino (10,90), a alcalinidade principalmente é devida ao alto conteúdo de soda no RGC.

Na caracterização ótica do RGC (Fig. 2 e 3) se confirmou a penetração de banho eletrolítico nos blocos catódicos. Este banho é infiltrado inicialmente através da porosidade dos blocos. A infiltração do banho danifica a estrutura do bloco. Uns dos principais responsáveis deste fenômeno é o sódio, o qual penetra no carvão reage e produz inchamento na estrutura do bloco, esta expansão produz tensões causando a aparição de trincas nos blocos, incrementando assim a penetração do banho. Segundo Lossius e Oye^[8] o inchamento devido à penetração de sódio e a formação de compostos por reação química (NaCN) é maior nos blocos amorfos que nos blocos grafitizados.

A penetração do banho foi comprovada pela análise de difração Raios-X (Fig. 4), que mostraram que a presença principalmente de NaF e Na₃AlF₆.

4.2 Gaseificação

A reação química simplificada do processo de gaseificação do RGC, usando ar como agente oxidante; teria sido a seguinte:



Onde o primeiro composto da esquerda é a fórmula química empírica global do RGC. Nesta fórmula só foram considerados os elementos químicos presentes em maiores quantidades. A gaseificação da fração carbonácea do RGC é um fenômeno complexo devido à grande quantidade de compostos contidos no RGC, muitos dos quais são altamente reativos. Estes compostos durante a gaseificação reagem formando novos compostos ou novas estruturas cristalinas, em alguns casos prejudicando o processo. Este é o caso da camada branca formada em torno da fração carbonácea (Figuras 5 e 6). Segundo Goodes *et al.*^[13] em temperaturas maiores que 875°C, a combustão da fração carbonácea do RGC é limitada pela formação de uma camada impermeável em torno das partículas, este fenômeno reportado por Goodes *et al.*^[13] é o mesmo observado neste trabalho. A formação desta camada é possivelmente uma das principais causas da baixa conversão do RGC no processo GCC. A camada atua como uma barreira impedindo a difusão do agente oxidante para o núcleo não reagido evitando que ocorram as reações de gaseificação da fração carbonácea do RGC. As cinzas do processo GCC possuem ainda um alto teor de carbono (>45%), estas poderiam ser usadas como substituto de matéria prima na indústria do aço. O carbono das cinzas incrementaria o teor de carbono no aço, e os fluoretos, principalmente NaF e criolita, atuam como agentes fundentes substituindo parcialmente o consumo de fluorita (CaF₂).

No processo GCC também foi observada uma alta percentagem de aglomeração e sinterização das cinzas. Segundo Rickman *et al.*^[14] para obter a combustão estável do RGC se precisa de temperaturas maiores que 760°C, mas nesta temperatura muitas das partículas do RGC apresentam tendência à aglomeração. No processo GCC as temperaturas atingidas na zona de reação no reator de gaseificação, são maiores que 900°C, assim a aglomeração e sinterização de partículas foi elevada. Para evitar estes problemas, os quais danificam seriamente os reatores, diversos autores recomendam trabalhar em temperaturas menores que 850°C.^[7,13,15]

Com relação ao aumento da temperatura na câmara de combustão durante o processo (Figuras 8 e 9), este seria devido à gaseificação do RGC. Em um processo convencional de gaseificação usando lenha como combustível, empregando o mesmo reator e as mesmas condições operacionais que foram utilizadas no processo de gaseificação do RGC, é possível atingir temperaturas máximas de 1100°C. O aporte do RGC no poder calorífico dos gases combustíveis gerados durante o processo de gaseificação foi apreciável, produzindo temperaturas superiores a 1250°C. A influência do RGC no aumento do poder calorífico dos gases da gaseificação, deve-se ao maior poder calorífico da fração carbonácea e também se deve à ação catalítica de algumas substâncias inorgânicas contidas no RGC (ex. potássio, cálcio).

4.3 Destruição de Cianetos

O gráfico de energia padrão de Gibbs *vs.* Temperatura, Figura 9, mostra que as duas reações propostas para a destruição do NaCN são altamente viáveis (ΔG° negativo) na temperatura de operação do reator Termoquip 900°C (zona de reação). Indicando que as duas reações são possíveis de ocorrer, podendo ocorrer simultaneamente, sendo a reação (3) a mais estável. Isto é corroborado pelas análises químicas das cinzas as quais reportaram nenhuma presença de compostos de cianeto. Assim mediante o balanço de massa, mostra-se que se conseguiu a destruição total dos compostos de cianeto.

Na literatura, a temperatura mínima para a destruição de compostos de cianeto contidos no RGC é da mais variada, segundo Goodes *et al.*^[13] 700 °C asseguram a destruição completa dos compostos de cianeto; o processo da Reynolds Company^[2,5] reporta que em temperaturas maiores que 650°C se obtém 94 % da destruição dos compostos de cianeto. Segundo Rickman *et al.* [14] a combustão do RGC destrói eficientemente os compostos de cianetos, assim em 760°C os cianetos são oxidados para N₂, CO₂ e óxidos de nitrogênio. Segundo Snodgrass e Cambridge^[16] em temperaturas na faixa de 760 – 850°C os cianetos são completamente destruídos e segundo Personnet e Bouzat^[15] temperaturas na faixa de 700 – 950°C são suficientes para assegurar a destruição dos cianetos.

No processo GCC – Termoquip, a temperatura (900°C) e o tempo de residência (>1 hr.) no reator de gaseificação asseguram a destruição total dos compostos de cianeto. Além disto, se ocorrer uma possível volatilização de cianetos durante a gaseificação (ex. HCN), estes seriam destruídos termicamente na câmara de combustão, onde os gases produzidos durante o processo de gaseificação são oxidados. Tornando o processo GCC altamente eficiente na destruição de compostos de cianeto do RGC.

5 CONCLUSÕES

Os compostos de cianeto contidos no RGC foram totalmente destruídos no processo GCC, evidenciando a alta eficiência do processo desenvolvido.

A gaseificação de RGC gerou gases combustíveis com alto poder calorífico, produzindo temperaturas superiores em mais de 150 °C (câmara de combustão) que em processos de gaseificação de lenha. Isto principalmente se deveu ao poder calorífico do RGC e também a alguns compostos inorgânicos os quais atuariam como catalisadores no processo de gaseificação (Ca, K, entre outros).

A percentagem de conversão da fração carbonácea do RGC foi baixa (~21%), uma das principais causas seria a fusão dos fluoretos (principalmente NaF, Na₂Al₂₂O₃₄.2H₂O, Na₂O.11Al₂O₃ e Na₃AlF₆) formando uma camada branca, a qual limitaria a gaseificação do RGC.

As cinzas do processo GCC (sem cianetos) possuem ainda um alto teor de carbono (>45%), estas poderiam ser usadas como substituto de matéria prima na indústria do aço. O carbono das cinzas incrementaria o teor de carbono no aço, e os fluoretos, principalmente NaF e criolita, atuariam como agentes fundentes substituindo parcialmente o consumo de fluorita (CaF₂).

A tecnologia desenvolvida em este trabalho representa uma opção interessante para ser desenvolvida no tratamento do RGC. O sistema GCC é um processo versátil e de fácil operação no tratamento dos Revestimentos Gastos de Cuba.

REFERÊNCIAS

- 1 CENCIC, M.; KOBAL, I.; GOLOB, J. Thermal hydrolysis of cyanides in spent pot lining aluminium electrolysis, **Chem Eng. Technol.** 21, 6, 523-532, 1998.
- 2 CHANANIA, F.; EBY, E. Best Demonstrated Available Technology (BDAT) Background Document For Spent Aluminum Potliners – K088, **U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste**, 2000.
- 3 CONSTANS, D. L. Primary Aluminum Production Wastes Spent Aluminum Potliner, K088, **Gossman Consulting Inc. Publication**, Volume 4, Number 09, 1998.
- 4 MASSACCI, P.; DE NARDIS, M. Remediation of Spent Pot Linings, New Remediation Technology in the Changing Environmental Arena, Scheiner et al. (Editors), **Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME)**, Littleton, CO, pp. 191-197, 1995.
- 5 BANKER, D. B. *et al.* Detoxification of aluminum spent potliner by thermal treatment, lime slurry quench and post-kiln treatment, **U.S. Patent N° 5164174**, Reynolds Metals Company Richmond, VA, 1992.
- 6 NORMA TÉCNICA BRASILEIRA NBR 10004 – Resíduos Sólidos, **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1987.
- 7 COURBARIAUX, Y.; CHAOUKI, J.; GUY, C. Update on Spent Potliners Treatments: Kinetics of Cyanides Destruction at High Temperature. **Ind. Eng. Chem. Res.**, 43, 5828-5837, 2004.
- 8 LOSSIUS, L. P.; OYE, H. A. Melt penetration and chemical reactions in 16 industrial Aluminium carbon cathodes, **Metallurgical and Materials Transactions B**, volume 31B, 1213-1224, 2000.
- 9 SATERLAY, A. J.; HONG, Q.; COMPTON, R. G.; CLARKSON, J. Ultrasonically enhanced leaching: removal and destruction of cyanide and other ions from used carbon cathodes, **Ultrasonics Sonochemistry**, V. 7, 1–6, 2000.
- 10 SMITH, A; MURDDER, T. **The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes**. Mining Journal Books Limited, London, 1991.
- 11 **International Aluminium Institute**, Sustainability Update 2005, Aluminium for Future Generations; Disponível em: http://www.world-aluminium.org/iai/publications/documents/update_2005.pdf Acesso em: 10/02/2007
- 12 Associação Brasileira do Alumínio – **ABAL**, Notícias. <http://www.abal.org.br/> Acesso em 10/02/2007
- 13 GOODES, CH. G.; WELLWOOD, G. A.; HAYDEN, JR., H. W. Recovery of fluoride values from waste materials, **U.S. Patent N° 4900535**, Comalco Aluminum Limited, Melbourne, AU, 1990.
- 14 RICKMAN, W. S; KAAE, J. L.; GAMSON, G.W. Method for the combustion of spent potlinings from the manufacture of aluminum, **U.S. Patent N° 4763585**, Ogden Environmental Services, Aug. 1988.
- 15 PERSONNET, P.; E BOUZAT, G. Process for insolubilizing and consolidating Spent Linings from Hall-Heroult electrolysis cells, **U.S. Patent No 5947888**, Aluminium Pechiney, France, 1999.
- 16 SNODGRASS, J. B.; CAMBRIDGE, E. L. Method for the recovery of fluorides from spent aluminum potlining and the production of an environmentally safe waste residue, **U.S. Patent N° 4444740**, Atlantic Richfield Company, Los Angeles, CA, 1984.