

## 6 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

### 6.1. Amostra

O *spent potliner*, estudado neste trabalho, foi fornecido pela Valesul Alumínio S.A., empresa que produz e comercializa alumínio primário e ligas para a indústria de transformação. Instalada em Santa Cruz, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, a Valesul iniciou suas operações produtivas em 1982 e atualmente tem uma produção em torno de 100 mil toneladas de alumínio ao ano. Na Figura 23 é apresentada uma área destinada para armazenagem do *spent potliner*.



**Figura 23.** Área destinada para armazenagem de *spent potliner*

O resíduo se encontra armazenado em pilhas. Foram retiradas amostras da fração carbonácea, a qual tinha sido previamente separada da fração refratária. Estas amostras foram subministradas na forma de blocos com tamanho na faixa de 15–20 cm. O *spent potliner* foi cominuído para tamanhos de partículas na faixa de 7–10cm. A lenha (pinho) foi utilizada como combustível adicional, o tamanho da lenha foi de 5 – 15cm, umidade 15% e 1% de cinzas.

## **6.2. Equipamento**

Os experimentos de gaseificação foram feitos empregando a tecnologia de Gaseificação e Combustão Combinadas (GCC), da *Termoquip Energia Alternativa Ltda*, em escala piloto. A tecnologia GCC foi desenvolvida para tratar resíduos industriais, resíduos de serviço de saúde (RSS) e agropecuários.

### **6.2.1. Descrição da tecnologia GCC – Termoquip**

A tecnologia GCC-Termoquip baseia-se no princípio que no processo de combustão os materiais orgânicos são mais fáceis e eficazmente destruídos se estiverem no estado gasoso, pois o contato com radicais  $H^+$  e  $OH^-$  é imediato e direto. Quando os materiais são líquidos ou sólidos, a estrutura mais ordenada dificulta a reação com o oxigênio e reduz a eficiência da queima, resultando freqüentemente em combustão incompleta do material, evidenciada pelo alto teor de Produtos de Combustão Incompleta (PIC's) nos fumos, responsáveis pela baixa eficiência na incineração. Assim, na tecnologia GCC - Termoquip, os resíduos sólidos e líquidos são previamente gaseificados antes de serem destruídos por combustão na forma de gás. Os Sistemas GCC-Termoquip são constituídos de três seções: sistema de alimentação, o reator de gaseificação e a câmara de combustão (Fig. 24)

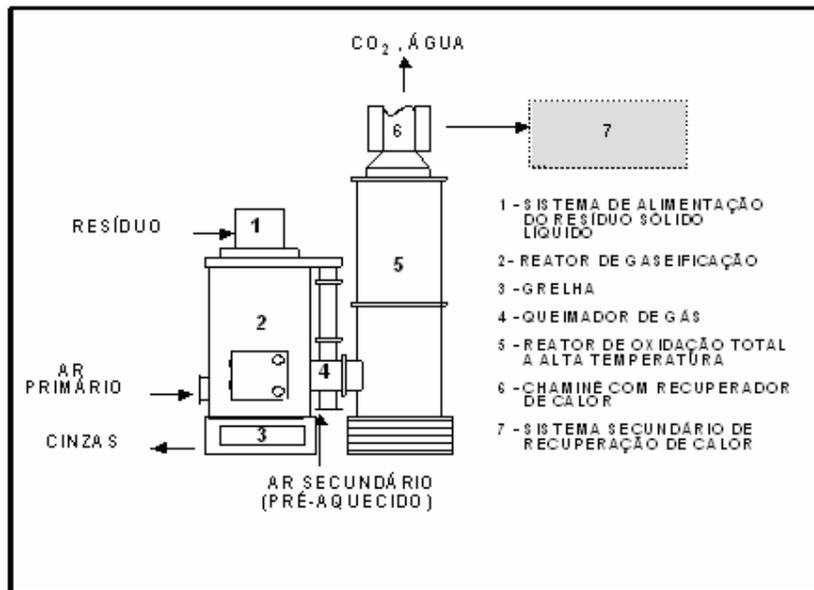
#### **6.2.1.1. Sistema de alimentação**

O sistema de alimentação é constituído por uma caçamba (*skip*) que transporta uma batelada de resíduo ou de lenha para o silo de carga que é totalmente isolado do restante do equipamento. A alimentação é realizada com duas tampas em um sistema de eclusa.

#### **6.2.1.2. Reator de gaseificação**

A segunda seção é um reator de gaseificação de fluxo cruzado (ou transversal), no qual o resíduo é inicialmente gaseificado, usando como combustível auxiliar a lenha ou outro material sólido carbonáceo, que é alimentado alternadamente ou em

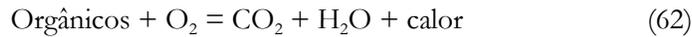
mistura com o resíduo. O resíduo e o material carbonáceo, dentro do reator de gaseificação, são transformados em uma mistura gasosa combustível que, tipicamente, poderá conter os gases leves, tais como  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ , além de vapor de água,  $\text{N}_2$  e um pouco de  $\text{O}_2$ , os dois últimos provenientes do ar de gaseificação. A composição da mistura, e conseqüentemente seu poder calorífico, depende do tipo de resíduo processado.



**Figura 24.** Sistema GCC – Termoquip – Seção transversal (Moura *et al.* 1998)

No interior do reator de gaseificação, a lenha e o resíduo (sólido ou líquido) são submetidos a uma decomposição termoquímica que se processa em quatro etapas:

1. A primeira etapa é a de secagem dos materiais sólidos e de evaporação das substâncias mais voláteis presentes no resíduo e na lenha.
2. Na etapa seguinte, denominada de pirólise, os sólidos e a mistura de vapor de água (umidade) e de compostos voláteis são decompostos por ação térmica, em carbono, gases e vapores combustíveis e vapor de água.
3. A terceira etapa, oxidação (combustão) é aquela que fornece energia para a gaseificação por combustão parcial do carvão e dos voláteis orgânicos formados na etapa de craqueamento:



As reações de oxidação são fortemente exotérmicas, gerando grande quantidade de energia para a etapa seguinte onde ocorre craqueamento térmico e a formação de radicais  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ .

4. A última etapa, denominada etapa de redução, os gases e vapores produzidos são forçados a passar através de um leito de carvão incandescente, onde é formada a mistura gasosa combustível referida acima conforme as reações:



As exigências de energia destas reações endotérmicas são totalmente satisfeitas pela energia liberada na etapa de combustão. A passagem pelo leito de carvão incandescente também garante a completa destruição dos  $\text{NO}_x$  que porventura tenham se formado na etapa de combustão, bem como a finalização do processo de craqueamento de moléculas mais complexas presentes no resíduo.

Os produtos do reator de gaseificação são, portanto, uma mistura combustível de gases leves e cinzas (constituídas por materiais inorgânicos presentes no resíduo 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, quando exigido, à Norma NBR-11175 referente à incineração de resíduos sólidos perigosos.

### 6.2.1.3. Câmara de combustão

A terceira seção é essencialmente um reator de oxidação, (câmara de combustão) onde o gás combustível é totalmente queimado com ar, transformando-se em dióxido de carbono e água. No reator de oxidação podem ser identificadas três exigências distintas do processo (3Ts). Primeiramente, para garantir uma combustão completa, os gases combustíveis que deixam o reator de gaseificação são perfeitamente misturados com ar (ar secundário) na câmara de mistura de um queimador de gases, projetado para esta finalidade. A segunda etapa é a oxidação (combustão) da mistura gasosa na câmara de combustão, a temperatura elevada que pode ser superior a 1200°C, dependendo do grau de pré-aquecimento do ar de combustão. O projeto do reator de oxidação prevê um tempo de residência mínimo de dois segundos para os gases nas condições atuais do reator. No reator de oxidação, os gases provenientes da gaseificação do resíduo e da lenha são totalmente destruídos, sendo o efluente constituído essencialmente de uma mistura de vapor de água, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Quando necessário, os particulados podem ser tratados posteriormente, por exemplo, por lavagem com água em lavador tipo *venturi* ou por outro método. Os produtos finais do processo GCC são, portanto, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapor de água e cinzas. Dependendo do porte do Sistema GCC-Termoquip e do tempo de operação, ou seja, da tonelagem de resíduo processado, existe a possibilidade de recuperação adicional de calor, já que após da oxidação o calor sensível dos gases pode ser aproveitado. Sendo economicamente compensador, pode-se acoplar ao Sistema GCC-Termoquip uma unidade de recuperação secundária de calor para geração de ar quente, água quente ou vapor.

### 6.2.2. Parâmetros operacionais do sistema GCC–Termoquip para a gaseificação do SPL

Os principais parâmetros operacionais do equipamento GCC são apresentados abaixo.

- Tipo do equipamento: Gaseificador de leito fixo de fluxo cruzado (*crossdraft*) para biomassa combinado com câmara de combustão. Escala piloto. Na Figura 25 é apresentada uma fotografia do equipamento usado nos experimentos.



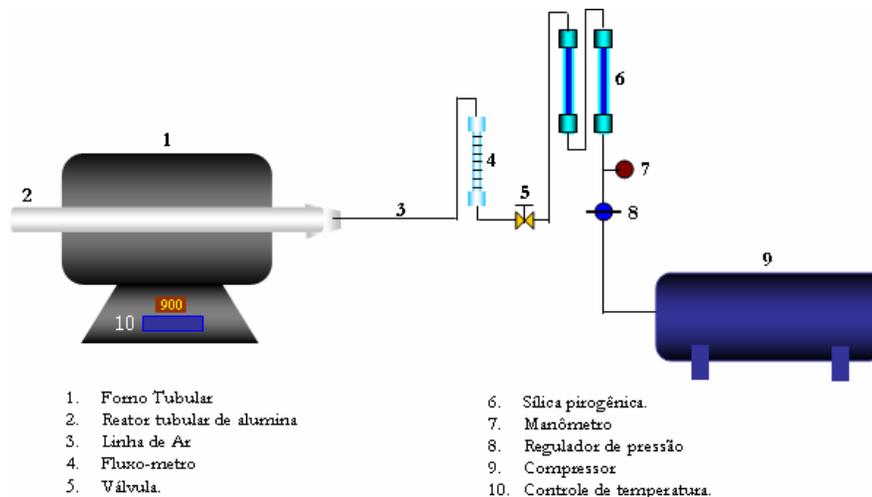
**Figura 25.** Fotografia do sistema piloto de GCC – Termoquip.

- Temperatura de operação: Na câmara de oxidação se atinge temperaturas na faixa de 1000 a 1100°C; enquanto na saída do gaseificador, que é a etapa final (endotérmica), a temperatura é aproximadamente 700°C.
- Tamanho de partícula da alimentação: No piloto se usa lenha em pedaços de 5 a 15cm que pode ser misturado com material contendo partículas de menor tamanho.
- Combustível: Lenha e o próprio resíduo.
- Capacidade: O piloto processa cerca de 20 - 30kg/h de combustível.

- Tempo de residência: O tempo de residência do resíduo no gaseificador é superior a 1h. Tempo de residência dos gases na câmara de combustão aproximadamente 2s.
- Tratamento de Gases: O piloto não possui sistema de tratamentos dos gases, mas nas unidades comerciais coloca-se também sistema de limpeza dos gases da combustão que pode ser composto de *quencher* (resfriador), lavador *venturi*, separador ciclônico com *demister* (tira gotas) e sistema para abate de gases ácidos tipo HCl, HF e SO<sub>x</sub>.

### 6.2.3. Forno tubular

O sistema do forno tubular utilizado no presente trabalho é representado esquematicamente na Figura 26.



**Figura 26.** Sistema do forno tubular

O tubo utilizado no reator tubular foi de alumina, o qual foi selecionado para evitar possíveis corrosões do equipamento devido à volatilização de fluoretos durante o processo de combustão do *spent potliner*. Utilizou-se cadinho de alumina.

Nos testes empregou-se ar do ambiente, fornecido por um compressor, pois se desejava trabalhar com as condições mais próximas do reator em escala piloto.