

PROGRAMA 6 - ESTUDOS RELATIVOS AO IMPACTO AMBIENTAL DECORRENTE DO USO DO CARVÃO MINERAL

PROJETO 6.1. - CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO DOS PROCESSOS DE GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO

D. GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO - PROCESSO LURGI

CETESB - CIA. DE TÉCNOLOGM DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA  
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 CEP 05489 PINHEIROS  
SÃO PAULO - BRASIL

DAEN/GFPAE

Superintendência de Engenharia do Ar  
Diretoria de Engenharia do Ar e de  
Ação Metropolitana.

QUANTITY	
ATTN	
TO/MBD	16458

82  
R151c (RCET  
016458

## Í N D I C E

OBJETIVO .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. O GASEIFICADOR LURGI .....	4
3. PLANTAS DE GASEIFICAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DE GÁS DE BAIXO, MÉDIO E ALTO PODER CALORÍFICO .....	9
3.1. INTRODUÇÃO .....	9
3.2. ESQUEMAS DE PLANTAS PARA A PRODUÇÃO DE GÁS (Re- ferência 4) .....	9
4. FONTES DE POLUIÇÃO EM PLANTAS DE GASEIFICAÇÃO .....	
4.1. POLUIÇÃO DO AR (Referências 1 e 7) .....	24
4.2. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS (Referências 1 e 7) .....	24
4.3. POLUIÇÃO POR RESÍDUOS SÓLIDOS (Referências 1 e 7). .....	27
5. BIBLIOGRAFIA .....	31

 T A B E L A S

TABELA 1: Principais reações que podem ocorrer na gasei- ficação do carvão (tabela extraída do traba- lho "Química da Gaseificação" - DAEN - Re- ferência 2) .....	6
TABELA 2: Composição típica do gás bruto produzido por um gaseificador operando com o carvão especi- ficado e com ar enriquecido de O <sub>2</sub> a 98% (gás de médio poder calorífero) .....	15
TABELA 3: Composição típica do gás processado, após puri- ficação (Unidade Rectisol), cujo gás bruto foi pro- duzido por um gaseificador operando com carvão especificado e ar enriquecido a 98% em teor de O <sub>2</sub> ..	18
TABELA 4: Composição típica do gás (SNG), após metanação, cu- jo o gás bruto foi produzido por um gaseificador operando com carvão abaixo especificado e ar en- riquecido a 98% em teor de O <sub>2</sub> .....	23

 F I G U R A S

FIGURA 1: O gaseificador Lurgi (Referência 1) .....	4
FIGURA 2: Fluxograma das Unidades Processuais da Planta para Produção de Gás de Baixo poder Calorífi- co (Adaptado da Figura 3 p/ Gás de Baixo Po- der Calorífico) .....	10
FIGURA 3: Fluxograma das Unidades de Processo da Planta de Produção de Gás de Médio Poder Calorífico (Referência 4) .....	11
FIGURA 4: Fluxograma das Unidades Processuais da Planta para Produção de Gás de Alto Poder Calorífico (Referência 4) .....	12

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECAOBJETIVO

O presente relatório se refere ao item - D do Projeto 6.1. do Programa de atividades da Superintendência de Engenharia do Ar - SEAR para 1980. O referido projeto trata da caracterização das fontes de poluição dos Processos de Gaseificação do Carvão, se constituindo em um dos itens do Programa 6, que abrange os Estudos Relativos ao Impacto Ambiental Decorrente do Uso do Carvão Mineral.

A tecnologia Lurgi é uma das mais antigas e, ainda hoje, uma das mais utilizadas na produção de gás a partir do carvão mineral. Assim sendo, julgamos conveniente começar a descrição dos diversos processos de gaseificação por esta tecnologia buscando, desta forma, fornecer conhecimentos básicos indispensáveis à análise dos problemas ambientais decorrentes da adoção desta tecnologia em projetos futuros de plantas para produção de gás de síntese ou gás combustível.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreverá, inicialmente, o gaseificador Lurgi e seus acessórios, posteriormente o mesmo faremos com as diversas unidades processuais presentes em plantas para a produção de gás de baixo, médio e alto poder calorífico.

Finalmente citaremos dentre as unidades quais ficam caracterizadas como fontes de poluição do ar, das águas ou do solo. Descreveremos também, os principais poluentes emitidos sem, no entanto, entrarmos nos aspectos quantitativos, o que deixaremos para um trabalho futuro quando abordarmos uma planta específica para a produção de gás de médio poder calorífico.

## 2. O GASEIFICADOR LURGI

Abaixo a figura 1 apresenta um esquema do Gaseificador Lurgi.

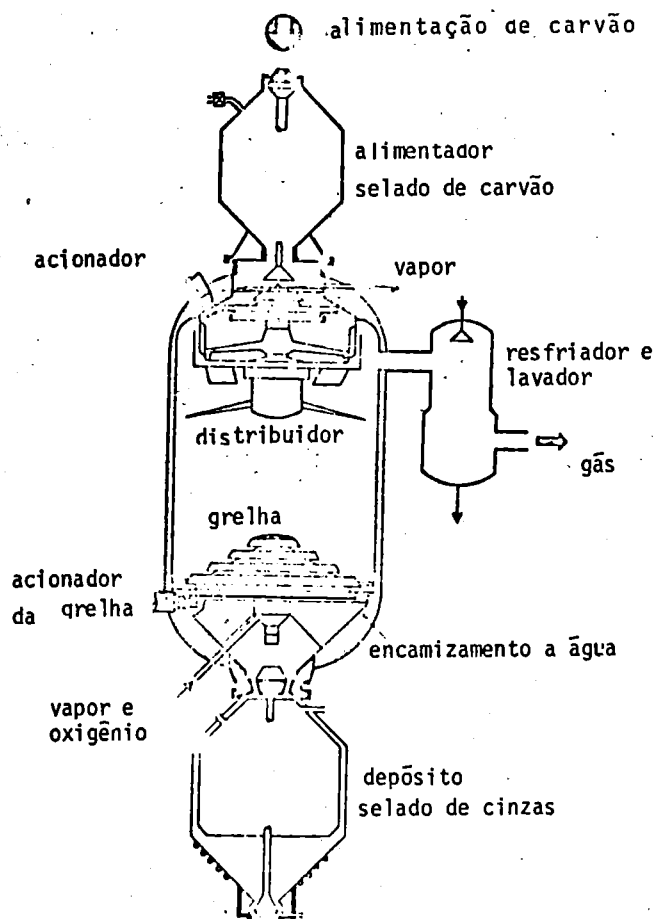


Figura 1: O gaseificador Lurgi (Referência 1)

Dentre os processos de gaseificação do carvão denominados de primeira geração, os baseados no emprego dos gaseificadores Lurgi são os mais importantes. Nestes a gaseificação ocorre em um leito móvel onde o carvão flui descendentemente em fluxo contracorrente ao gás produzido. A pressão no interior dos diversos gaseificadores pode variar de 20 a 30 atms. e as temperaturas de 540°C a 760°C. Como principais acessórios incluem-se:

- . um dispositivo fechado e pressurizado para armazenar e alimentar o carvão na parte superior do gaseificador: "alimentador selado de carvão (lock hopper)";
- . um encamisamento a água para proteger o gaseificador e fornecer cerca de 10% do vapor necessário ao processo;
- . lamina para retirar mecanicamente o carvão aglomerado;
- . uma grelha móvel na base para remover as cinzas;
- . um mecanismo para introduzir vapor e ar (ou ar enriquecido em teor de oxigênio) uniformemente no interior do gaseificador;
- . um dispositivo fechado e pressurizado para receber e armazenar as cinzas provenientes do interior do gaseificador: "depósito selado de cinzas" (lock hopper) .

Em geral há três zonas de processo no gaseificador.

A primeira, na parte superior, desvolatiliza o carvão à medida que este desce e encontra os gases quentes subindo da base. Ao descer um pouco mais, o carvão encontra a segunda zona onde a gaseificação ocorre pela reação do carbono com o vapor d'água. Finalmente, o carvão atinge a terceira zona onde o carbono remanescente é queimado para produzir o calor requerido para o processo de gaseificação.

Das reações apresentadas na tabela I (em anexo), extraída da Referência 2, os seguintes casos ocorrem nos gaseificadores Lurgi quando se considera as três zonas processuais referidas acima:

- 1.<sup>a</sup> zona de desvolatilização e secagem:

**Tabela 1 - Principais reações que podem ocorrer na gaseificação do carvão (tabela extraída do trabalho "Química da Gaseificação" - DAEN - Referência 2)**

Reação Nº	Reagentes	Produtos	$\Delta H(^*)$ cal/mol t= 250C	$\Delta H(^*)$ cal/mol t= 12270C
01	C (sólido) + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> (gás)	CO (gás)	- 26,416	- 27,545
02	CO (gás) + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> (gás)	CO <sub>2</sub> (gás)	- 67,636	- 67,010
03	C (sólido) + O <sub>2</sub> (gás)	CO <sub>2</sub> (gás)	- 94,052	- 94,555
04	C (sólido) + H <sub>2</sub> O (vapor)	CO (gás) + H <sub>2</sub> (gás)	31,382	32,265
05	C (sólido) + 2H <sub>2</sub> O (vapor)	CO <sub>2</sub> (gás) + 2H <sub>2</sub> (gás)	21,544	25,066
06	H <sub>2</sub> (gás) + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> (gás)	H <sub>2</sub> O (vapor)	- 57,798	- 59,811
07	C (sólido) + CO <sub>2</sub> (gás)	2 CO (gás)	41,220	39,464
08	CO (gás) + H <sub>2</sub> O (vapor)	CO <sub>2</sub> (gás) + H <sub>2</sub> (gás)	- 9,838	- 7,199
09	2 CO (gás) + 2H <sub>2</sub> (gás)	CH <sub>4</sub> (gás) + CO <sub>2</sub> (gás)	- 59,109	- 61,524
10	CO (gás) + 3 H <sub>2</sub> (gás)	CH <sub>4</sub> (gás) + H <sub>2</sub> O (vapor)	- 49,271	- 54,325
11	CO <sub>2</sub> (gás) + 4 H <sub>2</sub> (gás)	CH <sub>4</sub> (gás) + 2H <sub>2</sub> O (vapor)	- 39,433	- 47,126
12	C (sólido) + 2H <sub>2</sub> (gás)	CH <sub>4</sub> (gás)	- 17,889	- 22,060

\* sinal negativo : reação exotérmica  
sinal positivo : reação endotérmica

. carvão + calor  $\rightarrow$  CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O + outros compostos orgânicos

2<sup>a</sup> zona de gaseificação:

. reação nº 4: C + H<sub>2</sub>O + 31,382 cal/mol (25<sup>o</sup>C)  $\rightarrow$   
CO + H<sub>2</sub>

. reação nº 8: CO + H<sub>2</sub>O  $\rightarrow$  CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> + 9,838 cal/mol (25<sup>o</sup>C)

. reação nº 7: C + CO<sub>2</sub> + 41,220 cal/mol (25<sup>o</sup>C)  $\rightarrow$   
2 CO

. reação nº 12: C + 2 H<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CH<sub>4</sub> + 17,889 cal/mol (25<sup>o</sup>C)

3<sup>a</sup> zona de combustão parcial

. reação nº 1: C + 1/2 O<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CO + 26,416 cal/mol (25<sup>o</sup>C)

. reação nº 3: C + O<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CO<sub>2</sub> + 94,052 cal/mol (25<sup>o</sup>C)

As temperaturas nas zonas de topo e intermediária atingem valores no intervalo de 590<sup>o</sup>C a 760<sup>o</sup>C, onde a desvolatilização e a gaseificação ocorrem. Dependendo entre outros fatores, do tipo de carvão o gás deixa o leito entre 370 a 590<sup>o</sup>C. Este gás contém pó de carvão, óleo, nafta, fenol, amônia, óleo de alcatrão, cinzas e outros constituintes que devem ser eliminados antes do gás alcançar outras unidades na planta de gaseificação. Para tanto, um lavador resfriador é utilizado (ver figura I) como uma parte integrante do gaseificador. A água efluente do lavador é denominada de licor do gás que é, posteriormente, processado para recuperar os óleos e o alcatrão.

A seguir, de maneira resumida, apresentaremos algumas características gerais dos gaseificadores Lurgi (Referência 3).

. operam a temperaturas abaixo do ponto de fusão das cinzas do carvão.

. a presença de finos de carvão na alimentação são prejudiciais ao processo.

- . consumo de  $O_2$  aproximadamente igual a  $0,17 \text{ Nm}^3$  de  $O_2$  por  $\text{Nm}^3$  de gás bruto produzido.
- . pressão de operação aproximadamente igual a 3.000 kPa (30 atm), de acordo com a referência 2. Isto proporciona uma maior formação de metano do que nos processos à pressão atmosférica e, conseqüentemente, um gás com poder calorífico um pouco maior.
- . exige tratamento do gás produzido, com recuperação de produtos comerciáveis (fenois p.e.), mas não são unidades de grande porte.
- . alto custo de manutenção.
- . opera somente com carvão mineral.
- . não opera com carvão que possuam características aglutinantes.
- . para o caso da gaseificação ser utilizada para a produção de gás de síntese da amônia, o tratamento do gás é um tanto mais complexo por causa da existência de metano, por outro lado a compressão exigida para o tratamento do gás é desnecessária uma vez que o gaseificador trabalha a alta pressão.
- . operação um tanto complexa por causa da existência de peças móveis no gaseificador.
- . tempo de partida aproximadamente igual a 24 horas.
- . custo total instalado aproximadamente igual a US\$  $2,57 \times 10^6/10^9$  kcal/diárias incluído a lavagem inicial dos gases e os equipamentos relacionados à alimentação do carvão.
- . pode estar sujeito a riscos de explosão, porém com menor frequência do que, por exemplo, nos gaseificadores Koppers - Totzek.
- . pequena quantidade das cinzas são arrastadas pelo gás produzido.
- . não existem queimadores.
- . a granulometria do carvão de alimentação deve ser supe-

rior a 15 mm.

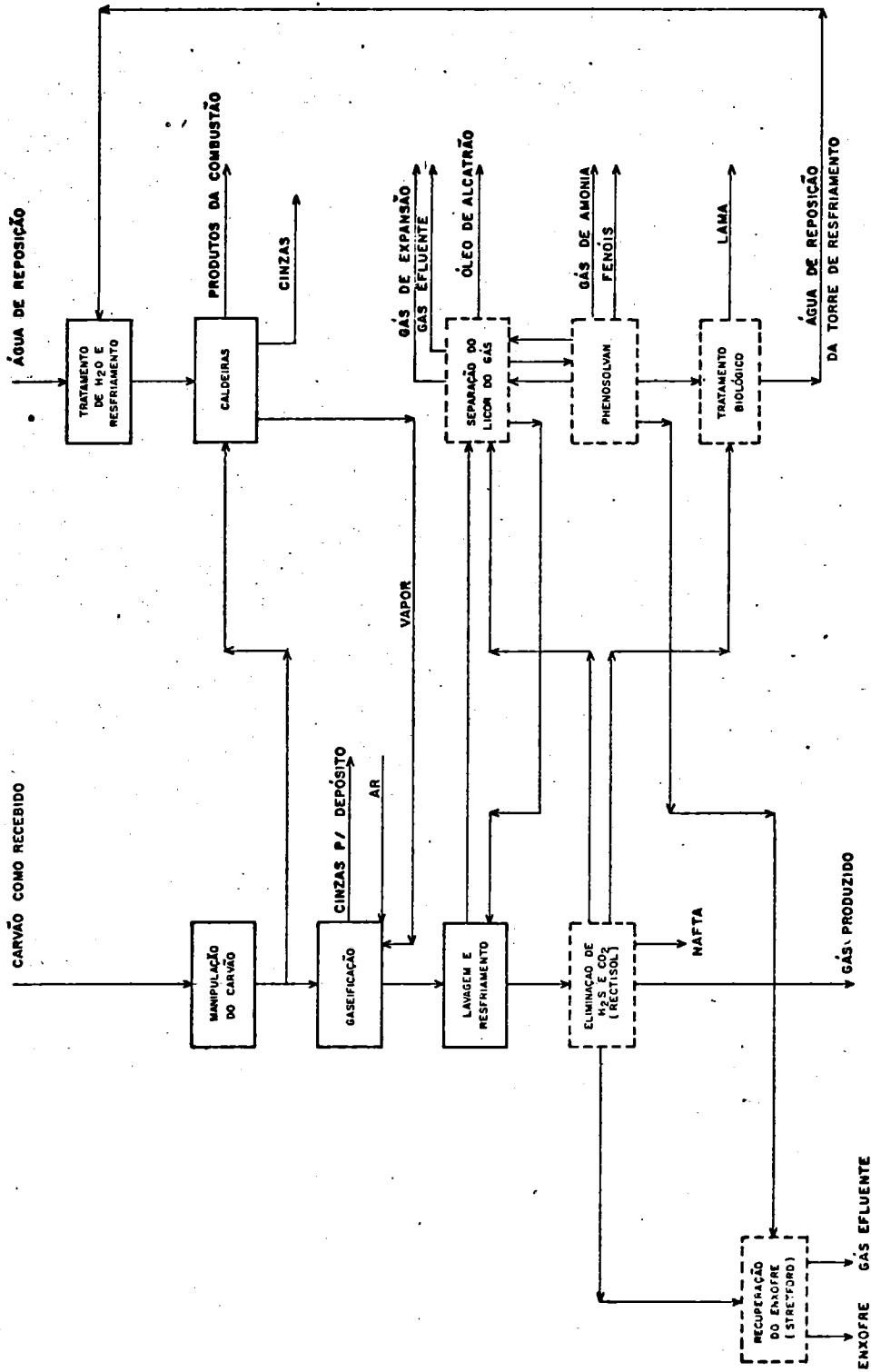
### 3. PLANTAS DE GASEIFICAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DE GÁS DE BAIXO, MÉDIO E ALTO PODER CALORÍFICO:

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Como já foi esclarecido a gaseificação do carvão envolve a reação deste com ar (ou ar enriquecido em teor de oxigênio) e vapor. Na utilização da gaseificação para se produzir gás combustível, o fato de se utilizar ar ou ar enriquecido com oxigênio como reagente e da planta de gaseificação admitir ou não uma unidade de metanação ou qualquer outro processo para aumento do poder calorífico determinará o tipo de gás final produzido. Assim sendo, se for utilizado ar como reagente e a planta não admitir uma unidade de metanação, o produto final terá um poder calorífico menor e será denominado de gás de baixo poder calorífico. Por outro lado, se for utilizado ar enriquecido a mais ou menos 98% de oxigênio e a planta admitir uma unidade de metanação, o produto será um gás de alto poder calorífico, também denominado gás natural sintético (SNG). No caso da obtenção de gás de médio poder calorífico, ar enriquecido de oxigênio deve ser utilizado e dependendo do teor deste enriquecimento bem como das características do carvão e do tipo de gaseificador, a planta deverá ou não admitir uma unidade de metanação parcial do gás ou qualquer outro processo ou procedimento que aumente o poder calorífico do gás processado (carburação).

#### 3.2. ESQUEMAS DE PLANTAS PARA A PRODUÇÃO DE GÁS (REFERÊNCIA 4).

As figuras 2, 3 e 4 apresentam respectivamente esquemas típicos de produção de gás de baixo, médio e alto poder calorífico. Convém neste momento lembrar que as mesmas referem-se a exemplos de plantas de produção, que poderão, dependendo de projetos específicos,



OBS: Geralmente as plantas de gás de baixo poder calorífico, acham-se instaladas em pequenas indústrias onde não se exige grandes capacidades de produção de gás. Portanto as unidades indicadas acima por linhas tracejadas tendem, devido aos custos envolvidos, a não ser instaladas, o que resultará em maiores problemas de poluição na própria planta ou quando o gás for utilizado como combustível.

Figura nº 2 — FLUXOGRAMA DAS UNIDADES PROCESSUAIS DA PLANTA PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE BAIXO PODER CALORÍFICO (Adaptado da Figura 3 p/ Gas de Baixo Poder Calorífico)

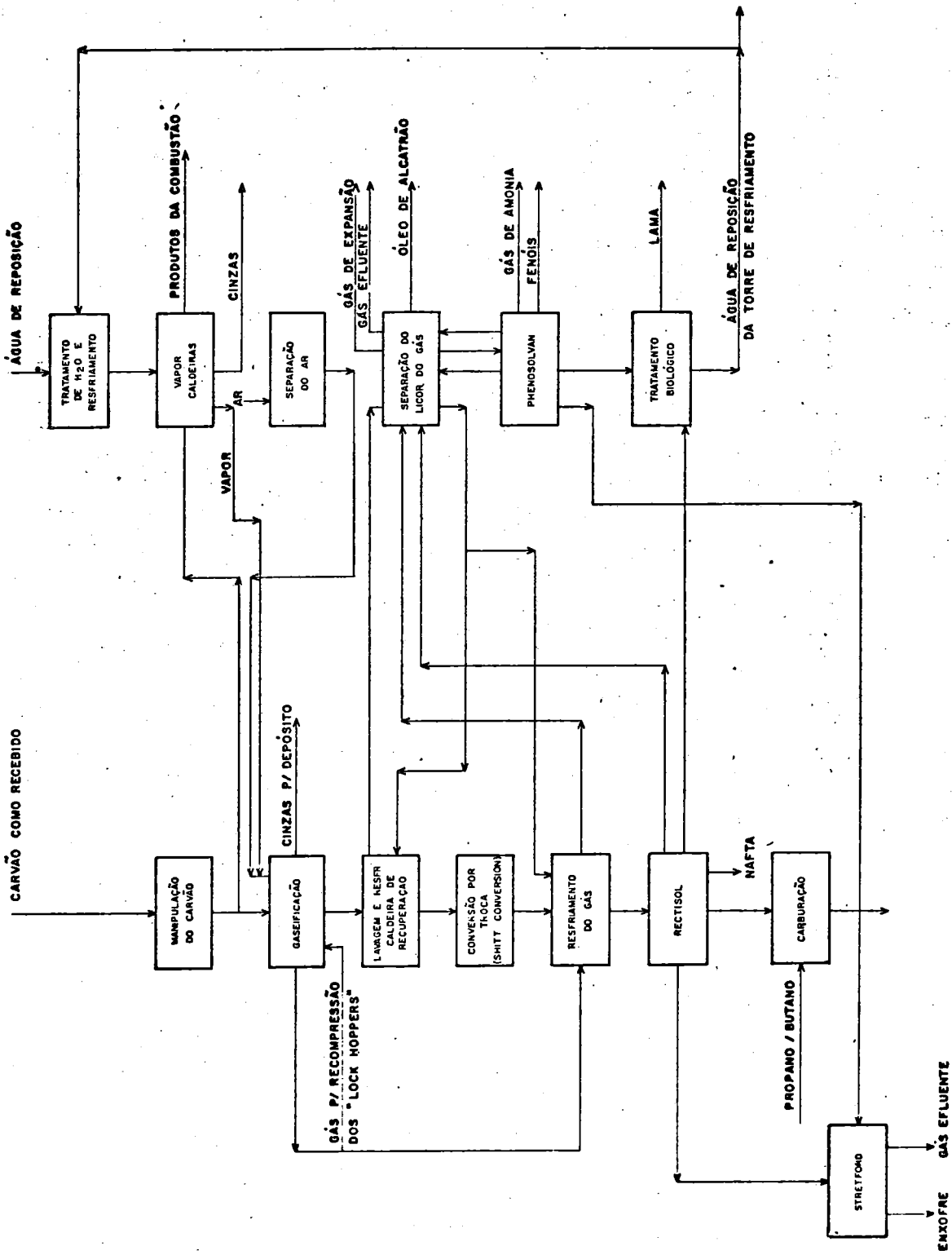


Figura nº 3 — FLUXOGRAMA DAS UNIDADES DE PROCESSO DA PLANTA DE PRODUÇÃO DE GÁS DE MÉDIO PODER CALORÍFICO. (Referencia 4)

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

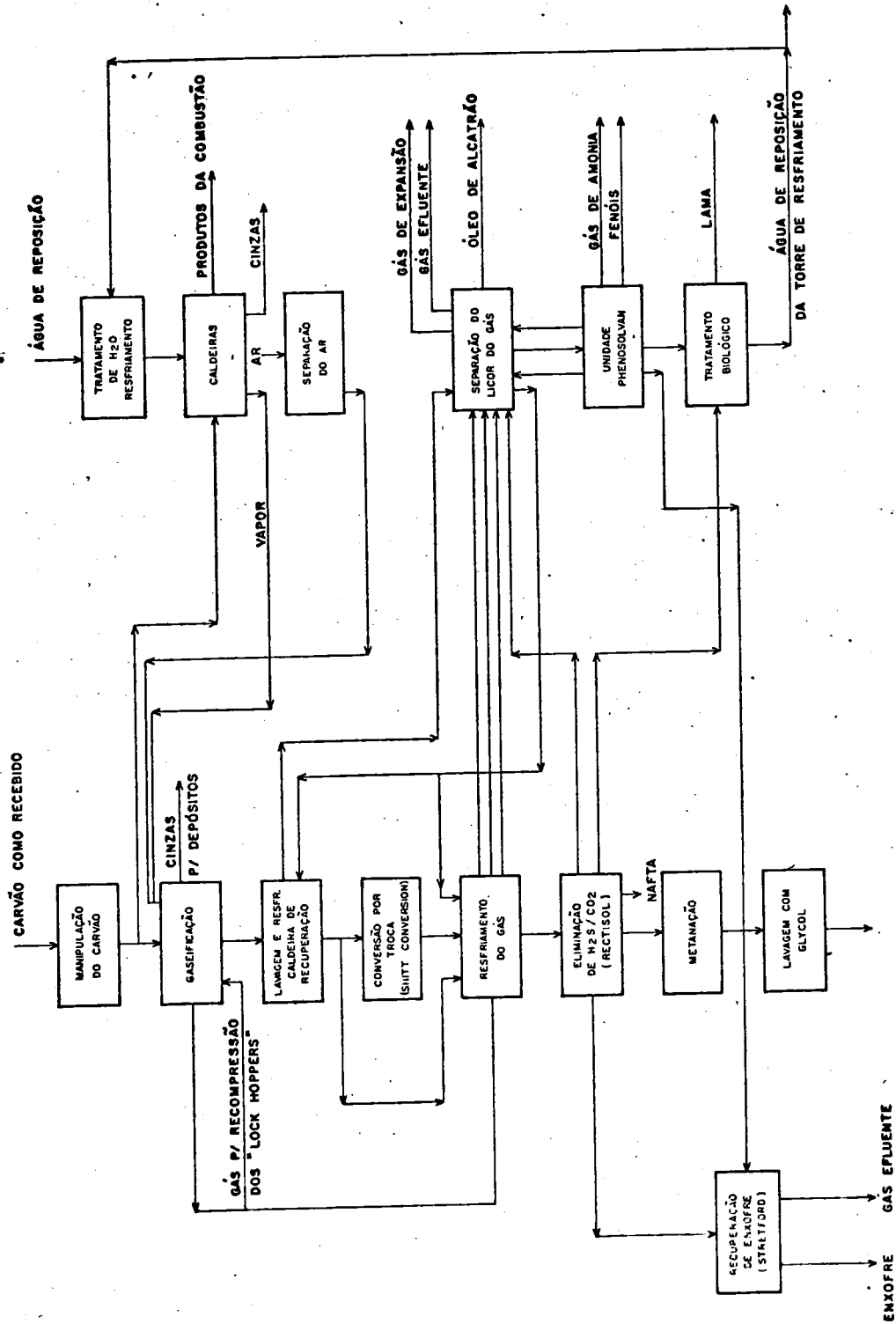


Figura nº 4 — FLUXOGRAMA DAS UNIDADES PROCESSUAIS DA PLANTA PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE ALTO PODER CALORÍFICO (Referência 4)

sofrer algumas modificações principalmente no que se refere a disposição das diversas unidades processuais.

### 3.3. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES

#### a. Preparação e manipulação do carvão (figuras 2, 3 e 4).

Referimo-nos aqui ao conjunto de operações envolvidas desde a estocagem da matéria prima carvão mineral, tal como chega à planta de gaseificação, até o seu carregamento nos gaseificadores ou nas caldeiras de produção de vapor, admitindo que o mesmo já tenha passado pelas etapas de limpeza, remoção da ganga e peneiragem primária na planta de beneficiamento, que normalmente se localiza nas áreas de mineração do carvão ou nas proximidades da mesma.

O carvão é moído e peneirado, oferecendo um produto com uma granulometria na faixa de 3 a 25 mm para a alimentação nos gaseificadores.

As plantas poderão apresentar a opção de utilizar os finos da peneiragem para a geração de vapor. Para a mesma finalidade melhor seria, tendo em vista minorar os problemas de poluição do ar, utilizar o gás produzido na planta ou em gaseificadores específicos introduzidos na mesma. Neste caso os finos da peneiragem seriam processados numa instalação de briquetagem, que contém misturadores, aglutinadores (p.e. o próprio alcatrão recuperado na planta) e compactadores, tendo em vista aglutiná-los para o tamanho requerido ao aproveitamento nos gaseificadores.

#### b. Gaseificação (figuras 2,3 e 4)

O carvão peneirado é colocado no alimentador selado e deste para o interior do gaseificador, sendo processado de acordo com o exposto no item 2 deste relatório.

Parte do calor sensível do gás produzido, que na

saída do gaseificador está a uma temperatura abaixo da necessária para manter a gaseificação, é utilizado para a carbonização, secagem e pré-aquecimento do carvão. Conseqüentemente a temperatura do gás de saída é baixa, variando de 300°C a 500°C.

Cerca de 10% do vapor necessário ao processo é gerado no encamisamento de água do gaseificador.

As cinzas, contendo aproximadamente 5% de carbono, são removidas pela grelha rotativa e descarregadas no depósito selado de cinzas. Após a despressurização, as cinzas são removidas do depósito selado e enviadas para armazenagem.

Após deixar o gaseificador, o gás é saturado e lavado para remover óleos e alcatrão; posteriormente o mesmo poderá passar por uma caldeira de recuperação de calor, condensando parte do vapor existente, proveniente do gaseificador ou do lavador. Os efluentes líquidos gerados fluem para a unidade de separação do licor do gás.

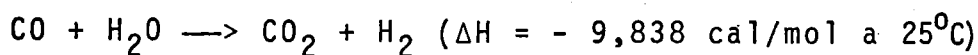
O alimentador de carvão e o depósito de cinzas poderão ser pressurizados utilizando o próprio gás processado, que posteriormente, na despressurização, é coletado e reintroduzido no fluxo gasoso processado. Como outra opção, poderia utilizar-se gás inerte para esta pressurização (nitrogênio ou CO<sub>2</sub>), que na despressurização seriam aproveitados para comprimir o gás processado para os gasodutos.

A tabela 2, a seguir, apresenta a composição típica do gás bruto produzido considerando a utilização do carvão conforme especificado. (Referencial).

<p><u>Tabela 2 - Composição típica do gás bruto produzido por um gaseificador operando com o carvão especificado e com ar enriquecido de O<sub>2</sub> a 98% (gás de médio poder calorífico)</u></p>	
<p>Carvão Navajo (Sub-betuminoso) Referência 1</p>	
<p><u>Análise próxima</u></p> <p>carvão seco e sem cinzas ..... 66,2</p> <p>cinzas ..... 17,3</p> <p>umidade ..... 16,5</p>	<p><u>% em peso</u></p>
<p><u>Análise por componente</u> (carvão seco e sem cinza)</p> <p>C ..... 76,72</p> <p>H ..... 5,71</p> <p>N ..... 1,37</p> <p>S ..... 0,95</p> <p>O ..... 15,21</p> <p>Compostos traços ..... 0,04</p>	<p><u>% em peso</u></p>
<p>Compostos presentes no gás bruto produzido a partir do carvão especificado a esquerda</p>	
<p><u>Componentes principais (Ref.1)</u></p> <p>CO ..... 15,50</p> <p>CO<sub>2</sub> ..... 36,00</p> <p>H<sub>2</sub> ..... 2,22</p> <p>CH<sub>4</sub> ..... 5,04</p> <p>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ..... 0,32</p> <p>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ..... 0,52</p> <p>H<sub>2</sub>S ..... 0,29 (*)</p> <p>COS ..... 0,01 (*)</p> <p>NH<sub>3</sub> ..... 0,32 (**)</p> <p>H<sub>2</sub>O ..... 37,28</p> <p>Nafta ..... 0,53 (***)</p> <p>Nafta de óleo de alcatrão ..... 1,07 (***)</p> <p>Alcatrão ..... 0,78 (***)</p> <p>Fenol Crú ..... 0,13 (***)</p>	<p><u>% em peso</u></p>
<p>Outros constituintes que podem aparecer em quantidades pequenas (Referência 5)</p> <p>(*) depende do teor de enxofre no carvão</p> <p>(**) depende do teor de nitrogênio no carvão</p> <p>(***) depende do teor de materiais voláteis no carvão</p> <p>cianeto de hidrogênio (HCN), sulfeto de carbono (CS<sub>2</sub>), bases piridinas, tiofenio metiltiofenio, mercaptanas, cresóis, xilenóis, benzeno, tolueno, xileno, naftaleno, antraceno, fenantreno e material particulado (pó de carvão, cinzas e elementos traços)</p>	
<p><u>poder calorífico</u> : 4167 a 5694 kcal/kg</p>	

c. Conversão por troca (Shift conversion) - figuras 3 e 4.

A função da conversão por troca é reduzir cataliticamente o conteúdo de monóxido de carbono do gás processado através da reação:



Sendo a reação exotérmica, haverá um aumento na temperatura do gás processado.

O conteúdo de vapor presente no gás processado geralmente é suficiente para que a reação acima se processe. Assim sendo, após o processamento, haverá uma redução de aproximadamente 70% do conteúdo de água no gás.

Junto com a conversão do monóxido de carbono, o catalizador de cobalto-molibdênio hidrogeniza uma grande quantidade de hidrocarbonetos saturados, fenóis, HCN e enxofre orgânico do gás processado.

d. Resfriamento do gás (figuras 3 e 4)

Estando ao redor de  $270^\circ\text{C}$ , o gás, após a conversão por troca, contém ainda apreciável quantidade de calor. Antes do processamento posterior na unidade Rectisol, este calor é recuperado primeiramente no pré-aquecimento da água de alimentação das caldeiras e depois por resfriamento a ar e água. São liberados alcatrão condensado, óleo e licor do gás, que seguem para a unidade de separação.

e. Eliminação de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$  - Unidade Rectisol - (figuras 2, 3 e 4).

De acordo com a referência 6, existem inúmeros processos para a remoção dos constituintes ácidos do gás produzido. Entretanto, neste trabalho, descreveremos somente o processo Rectisol que é o mais utilizado e constante das plantas tomadas como exemplo nas figuras 2, 3 e 4.

Após resfriamento, o gás entra no absorvedor da unidade onde sofre uma lavagem com metanol frio.

Nesta lavagem são removidos o  $H_2S$  e o  $CO_2$  aos níveis requeridos. Antes de deixar a unidade, o gás purificado pode, indiretamente, ser utilizado para resfriar o gás de entrada.

Os solventes graxos dirigem-se para um processo de inflamação e recuperação, em dois estágios, no regenerador (flash). No primeiro estágio, há uma liberação de hidrogênio e monóxido de carbono a uma pressão relativamente alta. Estes gases retornam ao fluxo do gás de entrada na unidade. A água presente no gás, bem como a água que do gás é introduzida no solvente, podem ser tratadas fazendo-se uma pequena sangria na coluna de destilação de metanol - água.

Nafta é recuperada como produto em um extrator e bombeada para estocagem.

Os gases efluentes,  $CO_2$  e  $H_2S$ , dirigem-se para a unidade Stretford.

A tabela 3 apresenta a composição típica do gás após este ser processado na unidade Rectisol. O gás bruto correspondente teve a sua composição especificada na tabela 2.

f. Unidade Stretford (figuras 2, 3 e 4).

Os gases ácidos das unidades Rectisol e de separação do licor do gás são combinados e tratados para a remoção de  $H_2S$  e a recuperação de enxofre utilizando o processo Stretford.

A unidade é projetada de acordo com os níveis desejados de  $H_2S$  no efluente gasoso (geralmente em torno de 10 ppm V). O enxofre produzido tem uma pureza maior que 99,5%.

O processo Stretford é uma absorção em fluxo contracorrente, usando, como meio de absorção, uma solução de carbonato de sódio com outro aditivo químico (ácido antraquinodisulfo - ADA).

Tabela 3 - Composição típica do gás processado\*, após purificação (Unidade Rectisol), cujo gás bruto foi produzido por um gaseificador operando com carvão especificado e ar enriquecido a 98% em teor de O<sub>2</sub>

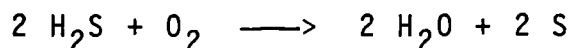
Carvão Navajo (Sub-betuminoso) Referência 1	
<u>Análise próxima</u>	<u>% em peso</u>
carvão seco sem cinzas .....	66,2
cinzas .....	17,3
umidade .....	16,5
<u>Análise por componente</u>	
<u>(carvão seco e sem cinzas)</u>	
C .....	76,72
H .....	5,71
N .....	1,37
S .....	0,95
O .....	15,21
Compostos traços .....	0,04
<u>poder calorífico : 4167 a 5694 kcal/kg</u>	

<u>Compostos presentes no gás após purificação* 0 gás bruto correspondente foi obtido a partir do carvão especificado a esquerda</u>	<u>% em peso</u>
<u>Componentes principais (Ref.1)</u>	
CO .....	41,23
CO <sub>2</sub> .....	23,47
H <sub>2</sub> .....	10,94
CH <sub>4</sub> .....	21,32
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .....	0,66
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> .....	1,07
N <sub>2</sub> .....	1,31

(\* ) A composição do gás bruto correspondente é mostrada na Tabela 2. Metade da capacidade de gás purificado foi processado na "Shift Conversion".

A reação química generalizada, incluindo a absorção e a regeneração, pode ser escrita como:



Após o contacto entre o gás ácido e a solução Stretford, há a liberação de  $\text{H}_2\text{S}$  livre e de solução enriquecida. O primeiro deixa o topo do absorvedor com destino a incineração. A segunda entra na câmara de reação, situada na parte inferior do absorvedor a fim de que se tenha um tempo de residência suficiente para a reação se processar. Em seguida, a solução rica entra em contacto com o ar, ocorrendo o seguinte:

- a solução Stretford é oxidada para reutilização;
- as partículas de enxofre flutuam no topo da fase líquida;
- gases dissolvidos são removidos;

As partículas de enxofre são, então, compactadas e fundidas, recuperando-se o enxofre desta forma como produto.

g. Separação do licor do gás (figuras 2, 3 e 4)

Alcatrão, óleo e licor do gás condensado nas várias secções de resfriamento e lavagem fluem para a unidade de separação do licor do gás, tendo em vista a recuperação. Os componentes gasosos dissolvidos no licor do gás são separados por expansão até uma pressão bem próxima da atmosfera e os componentes líquidos e sólidos são separados por sedimentação. As duas principais linhas de fluxo que se dirigem para a unidade de separação são:

- licor do gás rico em alcatrão proveniente da unidade de gaseificação, contendo, além de alto teor de alcatrão, pó, ácidos graxos, fenóis e compostos de cloro e fluor;
- licor do gás oleoso proveniente da secção de resfriamento, após a conversão por troca, contendo

principalmente óleo de alcatrão e amonia.

O primeiro é separado em p̄o de alcatrão, alcatrão e licor do gás em um processo de separação por gravidade em dois estágios. O último é separado em alcatrão - óleo e licor do gás utilizando-se um processo de separação por gravidade em único estágio.

O p̄o de alcatrão é reciclado aos gaseificadores, onde é parcialmente gaseificado. O alcatrão é bombeado para estocagem, podendo posteriormente ser utilizado como um combustível ou como elemento aglutinante na unidade de briquetagem ou ainda ser comercializado. O alcatrão - óleo é estocado podendo ser utilizado como combustível ou ser vendido. Ambos alcatrão e óleo podem também ser gaseificados.

h. Unidade Phenosolvan (figuras 2, 3 e 4)

Ao deixar a unidade de separação, o licor do gás contém fenóis, amonia, ácidos graxos, traços de alcatrão e óleo, bem como de  $CO_2$  e  $H_2S$ . Para separar estes componentes, é necessário a presença da unidade Phenosolvan. Esta unidade consta de três partes principais, quais sejam: filtração; extração e remoção da amonia. Alcatrão e p̄o eventualmente ainda presentes no licor do gás são eliminados por sedimentação antes da filtragem final, proporcionando um licor limpo para a extração.

Os fenóis são eliminados na extração. Esta pode ser dividida em secção de mistura e sedimentação, secção de recuperação do solvente e secção de lavagem do fenol. Os componentes gasosos como  $H_2S$ ,  $CO_2$  e  $NH_3$ , são eliminados a seguir na parte destinada a remoção do gás de amonia.

O fenol bruto é depositado como produto comerciável e a amonia pode ser incinerada, utilizada na produção de sulfato de amonia ou ainda utilizada na produção de amonia anidra.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

i. Compressão do gás

Para que o gás alcance a pressão requerida nos gasodutos, após deixar a unidade Rectisol (figura 2) ou a unidade de metanação (figura 3) o mesmo é comprimido em um compressor de dois estágios com resfriamento intermediário. Após o segundo estágio, o gás é resfriado novamente.

j. Carburação (figura 3)

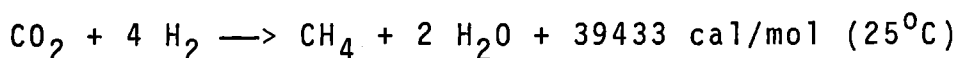
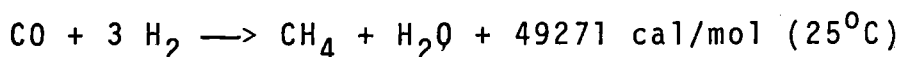
A carburação é utilizada quando o aumento desejado no poder calorífico do gás processado é pequeno. Para o caso de maiores valores deve-se utilizar uma unidade de metanação.

Uma mistura líquida de propano/butano é injetada no carburador que é localizado após a compressão. A mistura é vaporizada instantaneamente.

k. Metanação (figura 4)

Ao deixar a unidade de purificação (Rectisol), o gás de entrada na unidade de metanação é aquecido em contacto indireto com o gás de saída.

As reações envolvidas na metanação são as seguintes:



Os catalisadores presentes são extremamente sensíveis ao envenenamento por enxofre. Portanto, a alimentação é tratada com óxido de zinco antes de ser exposta aos catalisadores. O óxido de zinco é conhecido como excelente eliminador de traços de enxofre. Uma fração do produto metanizado é reciclada e misturada com a alimentação para diminuir a concentração dos reagentes. Este tipo de operação ajuda a manter os reatores em equilíbrio.

O calor gerado pode ser aproveitado na produção de vapor para os gaseificadores através da utilização de caldeiras de recuperação.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

A tabela 4 apresenta a composição típica do gás após a metanação (SNG). O gás bruto correspondente teve a sua composição especificada na tabela 2.

1. Unidade de produção de ar rico em teor de oxigênio (figuras 3, 4).

O ar é comprimido a aproximadamente 600 kPa (6 atm) utilizando-se compressores centrífugos. Assim sendo, a umidade presente no ar é condensada e disponível para ser utilizada na planta de gaseificação.

No caso da produção de ar com teor de 98% de oxigênio, o efluente gasoso da unidade apresentará 430 ppm de CO<sub>2</sub>; 0,2% H<sub>2</sub>O; 0,9% de O<sub>2</sub> e 98,9% de N<sub>2</sub>. Devido a alta pressão deste efluente, o mesmo poderá ser aproveitado para gerar energia elétrica empregando-se, para tanto, turbinas a gás.

m. Unidade de geração de vapor (figuras 2, 3 e 4)

É necessário a produção de vapor para que este seja utilizado nos gaseificadores. Como ficou esclarecido no item 3.3.a. as caldeiras poderão utilizar os finos de carvão produzidos nas áreas de preparação e manipulação. Entretanto a utilização direta do carvão aumentará substancialmente os problemas de poluição do ar na planta de gaseificação. Para a mesma finalidade melhor seria utilizar o gás produzido na planta ou em gaseificadores específicos introduzidos na mesma.

n. Lavagem com glycol (figura 4)

Após a compressão, o gás entra em contacto com um fluxo circulante de trietileno-glicol. O ponto de orvalho do gás na saída do absorvedor será aproximadamente -8°C, o que é suficientemente baixo para evitar a formação de condensado na linha de distribuição do gás.

A solução de glicol rica em água será continuamente regenerada numa coluna de destilação e posteriormente bombeada novamente ao absorvedor. A água da torre de geração é evaporada para a atmosfera.

Tabela 4 - Composição típica do gás (SNG)\*, após metanação, cujo o gás bruto foi produzido por um gaseificador operando com carvão abaixo especificado e ar enriquecido a 98% em teor de O<sub>2</sub>.

Carvão Navajo (Sub-betuminoso) Referência 1		Compostos presentes no gás (SNG)* após metanação O gás bruto correspondente foi obtido a partir do carvão especificado à esquerda	
<u>Análise próxima</u>	<u>% em peso</u>	<u>Componentes principais (Ref.1)</u>	<u>% em peso</u>
carvão seco e sem cinzas	66,2	CO	0,17
cinzas	17,3	CO <sub>2</sub>	20,63
umidade	16,5	H <sub>2</sub>	0,07
		CH <sub>4</sub>	76,85
<u>Análise por componente</u>	<u>% em peso</u>	N <sub>2</sub>	2,00
(carvão seco e sem cinzas)		H <sub>2</sub> O	0,28
C	76,72		
H	5,71		
N	1,37		
S	0,95		
O	15,21		
compostos traços	0,04		
<u>poder calorífico</u> : 4167 a 5694 kcal/kg			

(\* ) A composição do gás bruto e do gás após purificação são mostradas respectivamente nas tabelas e .

#### 4. FONTES DE POLUIÇÃO EM PLANTAS DE GASEIFICAÇÃO

##### 4.1. POLUIÇÃO DO AR (Referências 1 e 7)

###### a. Preparação e manipulação do carvão (figuras 2, 3 e 4)

###### . pilhas de estocagem do carvão

poluentes emitidos: pó de carvão

controles: construir as pilhas e compactá-las de forma a diminuir os efeitos da ação dos ventos; erguer anteparos contra a ação dos ventos.

###### . depósitos (silos, etc)

poluentes emitidos: pó de carvão

controles: equipamentos de coleta ou supressão de pó.

###### . combustão espontânea ("acidental") nas pilhas de carvão

poluentes emitidos: particulados finos, elementos traços, fumos, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, aldeídos.

controles: evitar a combustão espontânea utilizando os seguintes recursos: 1º evitar a segregação de pedaços e finos de carvão; 2º evitar a construção de pilhas muito altas que impedem o escape de calor do centro para fora; 3º manter a pilha longe de fontes externas de calor; 4º compactar a pilha de forma a evitar regiões de contacto íntimo do carvão com o ar; 5º tomar periodicamente a temperatura em regiões críticas da pilha, esta não deve ultrapassar o valor de 70°C.

###### . britadores, peneiras e pontos de transferência

poluentes emitidos: pó, fumos e odor.

controles: enclausurar, instalar depuradores úmidos e "sprays" para supressão de pó.

. unidade de briquetagem

poluentes emitidos: pó, fumos e odor

controles: depuradores úmidos

. carregamento de carvão nos gaseificadores

poluentes emitidos: pó de carvão

controles: ciclones úmidos ou filtros de mangas.

. ruas e áreas não pavimentadas

poluentes emitidos: pó de carvão e poeiras

controles: molhar periodicamente ou pavimentar

b. Gaseificadores Lurgi (figuras 2, 3 e 4).

. despressurização dos dispositivos selados (lock hoppers) de alimentação do carvão e depósito das cinzas:

poluentes emitidos: dependendo de se utilizar gás inerte ( $N_2$  ou  $CO_2$ ) ou gás processado na pressurização, poderá haver emissões de compostos de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e pó de carvão.

controles: no caso de se utilizar gás inerte na pressurização, este deve ser coletado para ser utilizado posteriormente na compressão do gás; no caso de se utilizar o gás processado na pressurização, este deve ser reintroduzido no fluxo de gás processado.

. descarga de cinzas:

poluentes emitidos: cinzas volantes e pó de carvão.

controles: molhar as cinzas logo após a saída do dispositivo selado.

- . gases do início de operação dos gaseificadores (referimo-nos ao gás cuja composição não é a desejada).

poluentes emitidos: monóxido de carbono, compostos de enxofre ( $H_2S$  principalmente), hidrocarbonetos, amônia, cianeto de hidrogênio, bases piridinas, tiofênio, metiltiofênio, mercaptanas, cresóis, xilenois, benzeno, tolueno, xileno, naftaleno, antraceno, fenantreno e material particulado (pó de carvão e cinzas).

controles: incineração

- c. Conversão por troca (Shift Conversion) (figuras 3 e 4).

- . regeneração dos catalisadores

poluentes emitidos: carbonilo metálico, monóxido de carbono, compostos de enxofre, compostos orgânicos.

controles: incineração e controle de particulados

- d. Unidade Rectisol (figuras 2, 3 e 4)

- . gases efluentes da unidade

poluentes emitidos: monóxido de carbono, hidrocarbonetos e compostos de enxofre (principalmente  $H_2S$ ).

controles: os gases seguem para a unidade de recuperação de enxofre (p.e.: unidade Stretford).

- e. Unidade Stretford (figuras 2, 3 e 4)

- . gases efluentes da unidade

poluentes emitidos: monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

controles: incineração

f. Unidade de separação de licor do gás (figuras 2, 3 e 4)

. gases efluentes da unidade

poluentes emitidos: monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e hidrocarb<sup>o</sup>netos.

g. Unidade "Phenosolvan" (figuras 2, 3 e 4)

. gases que saem com a amonia

poluentes emitidos: sulfeto de hidrogênio

controles: geralmente não é controlado, por se tratar de pequenas quantidades.

h. Estocagem de Co-produtos (figuras 2, 3 e 4).

. tanques de estocagem de produtos orgânicos

poluentes emitidos: vapores de amonia, alcatrão, fenol e nafta

controles: geralmente não é controlado.

i. Unidades de geração de vapor (figuras 2, 3 e 4)

. caldeiras

poluentes emitidos: (depende do combustível utilizado) para o caso da utilização do carvão mineral: particulados finos, elementos traços, fumos, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, aldeidos.

controles: precipitadores eletrostáticos, filtros de tecido, sistemas de dessulfurização (F G D) e modificações no processo de combustão.

#### 4.2. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS (Referências 1 e 7)

a. Preparação e manipulação do carvão (figuras 2, 3 e 4)

. pilhas de estocagem do carvão/águas drenadas de pilhas não protegidas contra a ação das chuvas

impurezas presentes: substâncias ácidas/ observação: em trabalho recente fizemos uma coleta das águas drenadas de uma pilha de carvão CV.40 no entreposto da CAEEB em Santos. A análise evidenciou a presença de sulfato (27,5 g/l - ph=1,8) e dos seguintes elementos: ferro, bário, arsênio, estanho, silício, cromo, níquel, zinco, bismuto, alumínio, titânio, magnésio, cálcio, cobalto, manganês, cobre, chumbo e sódio.

controle: armazenar o carvão em galpões cobertos, fazendo com que as pilhas não sofram a ação de chuvas.

. águas de lavadores eventualmente presentes para controle de emissão de material particulado

impurezas presentes: compostos de enxofre, elementos traços, sólidos suspensos e dissolvidos e outros constituintes (dependendo do lavador utilizado).

controles: recuperação das águas para reutilização, oxidação, remoção de sólidos dissolvidos, utilizar estas águas para resfriar e evitar a emissão de cinzas na saída do gaseificador.

b. Gaseificadores Lurgi (figuras 2, 3 e 4).

. águas utilizadas para resfriar as cinzas e evitar que as mesmas sejam emitidas para a atmosfera ao sair do gaseificador

impurezas presentes: sólidos suspensos e dissolvidos, substâncias alcalinas, elementos traços, com-

ponentes presentes no gás processado no caso da água utilizada provir das unidades de resfriamento e purificação do gás.

controles: separação por gravidade, remoção de sólidos dissolvidos.

c. Unidades de lavagem e resfriamento após a gaseificação e a conversão por troca: (figuras 2, 3 e 4).

. águas de lavagem e resfriamento

impurezas presentes: pó de carvão, cinzas, alcatrão, nafta de óleo de alcatrão, nafta, amônia, fenóis, dióxido de carbono dissolvido, sulfeto de hidrogênio dissolvido, cianeto de hidrogênio e outros componentes traços.

controles: estas águas seguem para a unidade de separação do licor do gás.

d. Unidade Rectisol (figuras 2, 3 e 4)

. efluente líquido da unidade

impurezas presentes: hidrocarbonetos pesados dissolvidos.

controles: estas águas seguem para a unidade de separação do licor do gás.

#### 4.3. POLUIÇÃO POR RESÍDUOS SÓLIDOS (Referências 1 e 7)

a. Gaseificadores Lurgi (figuras 2, 3 e 4)

. cinzas eliminadas na base dos gaseificadores

impurezas presentes: elementos traços e compostos orgânicos (características tóxicas)

controles: armazenamento adequado e retorno as minas de carvão para recomposição do solo.

b. Conversão por troca (Shift Conversion) (figuras 3 e 4).

. catalisadores usados

impurezas: compostos metálicos, elementos traços acumulados, compostos orgânicos.

controles: regeneração, encapsulamento; armazenagem adequada e utilização para recompor solos nas minas de carvão.

c. Estocagem de co-produtos (figuras 2, 3 e 4)

. lamas oleosas/alcatranosas

impurezas: hidrocarbonetos policíclicos e aromáticos, elementos traços.

controles: recuperação de energia (p.e. combustão nas caldeiras), armazenamento adequado, utilização para recompor solos nas minas de carvão.

d. Unidades de geração de calor (figuras 2, 3 e 4)

. cinzas eliminadas nas caldeiras

impurezas presentes: elementos traços e compostos orgânicos (características tóxicas).

controles: armazenamento adequado e retorno as minas de carvão para recomposição do solo.

. sólidos inorgânicos e lamas nas unidades de desulfurização dos produtos da combustão (quando existentes)

impurezas presentes: elementos traços e compostos orgânicos (características tóxicas).

controles: armazenamento adequado e retorno as minas de carvão para recomposição do solo.

e. Metanação (figura 4)

. catalisadores usados

impurezas: compostos metálicos, elementos traços acumulados, compostos orgânicos

controles: regeneração, encapsulamento, armazenagem adequada e utilização para recompor solos nas minas de carvão.

5. BIBLIOGRAFIA

Referência 1: PB - 237694: Evaluation of Pollution Control in Fossil Fuel Conversion Processes. Gasification: Section 1. Lurgi Process - H. Shaw, et. al. Exxon Research and Engineering Company - Prepared for National Environmental Research Center - July 1974.

Referência 2: Projeto 6.1: Caracterização das Fontes de Poluição dos Processos de Gaseificação do Carvão - Item C: Química da Gaseificação - CETESB/DEAM/SEAR/GFPAE/DAEN - Dezembro/1980.

Referência 3: O Carvão Mineral do Brasil como Fonte de Energia e de Matéria Prima Industrial uma Avaliação Global - Tomo II - Volume 2/Utilização - Rio Doce Engenharia e Planejamento S.A. (R.D.E.P.) - Conselho Nacional do Petróleo (CNP) - Julho/1978.

Referência 4: Process Study for the Gasification of South Brazilian Coals for Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) - Volume II: Technical Information.

Referência 5: Environmental Review of Synthetic Fuels - Industrial Environmental Research Laboratories - U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A.) - September 1.980.

Referência 6: Projeto 14.1: Caracterização das Fontes de Poluição dos Processos de Gaseificação do Carvão - Item A: Gaseificação do Carvão/Aspectos Gerais - CETESB/DEAM/SEAR/GFPAE/DAEN - Agosto/1980.

Referência 7: Environmental Review of Synthetic Fuels Industrial Environmental Research Laboratory-U.S. Environmental Protection Agency (EPA) - December, 1979.

Originado por:

Engº Sérgio Rancevas

Engº Gabriel Murgel Branco  
Chefe da Divisão de Alternativas de Energia.

Data Akuis.:	16/10/91
Indic.:	
Local.:	
Proje.:	LS
Data Tomba:	16/10/91