

DETR.PD-072/79

TITULO
 APLICAÇÃO DE REATORES A ÁGUA PRESSURIZADA PARA GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO.

NOTAS CORRELATAS

- LISTA DE DISTRIBUIÇÃO**
- SUPED * (1)
 - ASPC.PD * (1)
 - DETR.PD (2)
 - DIAAC.PD ()
 - DIECB.PD ()
 - DIFNU.PD ()
 - DISCO.PD (1)
 - DITES.PD ()
 - LABFRE.PD ()
 - LABTEH.PD ()
 - AUTOR(ES) (1)
 - SEDOTE.PD ()
 - OUTROS
 - J.V.J.Camargo (1)

* Apenas folha de rosto



Nº. CÓPIAS
7

OBJETIVO

Este estudo se insere nos trabalhos desenvolvidos no âmbito do DETR.PD/DISCO.PD, visando a aquisição de competência para o projeto de viabilidade técnico-econômica da Gaseificação do Carvão via Energia Nuclear, face ao Acordo Especial entre NUCLEBRÁS, KFA e KWU.

RESUMO E CONCLUSÕES

A produção de vapor por um PWR representa uma quantidade apreciável da demanda total de energia primária e pode ser utilizado no aquecimento distrital, indústrias de processo e dessalinização.

No caso da gaseificação de carvão, estima-se que o PWR poderá suprir cerca de 30% da energia total necessária à reação, produzindo gás de cidade ou gás natural sintético com custos inferiores do que utilizando-se somente usinas autotérmicas.

Apresentou-se uma descrição do projeto conceitual do processo combinado de Gaseificação Lurgi sob pressão e Gaseificação Hidrogenante acoplado a um PWR, baseada nos estudos efetuados dentro do Acordo Especial pelo Grupo de Trabalho Alemão. Conclui-se deste estudo que a longo prazo, os processos utilizando-se PWRs ou HTRs serão econômicos em comparação com as fontes competitivas de energia. Os resultados apresentados para o caso brasileiro são estimativas iniciais em face de não existirem dados concretos sobre a gaseificação de carvões brasileiros.

Estudos mais amplos com o Grupo de Trabalho Alemão serão necessários para uma avaliação mais precisa da viabilidade técnico-econômica da utilização de PWRs para a gaseificação de carvão.

Índice

1. Introdução	2/26
2. O PWR como Fonte de Vapor de Processo	3/26
3. Gaseificação de Carvão Utilizando-se um PWR	4/26
4. Projeto Conceitual da Instalação com PWR	11/26
5. Conclusões	15/26
Bibliografia	17/26
Tabelas	18/26
Figuras	22/26

AUTOR (ES)	VISTO	DATA	APROVAÇÃO	VISTO	DATA
Bruno C. Neiva	<i>Bruno C. Neiva</i>	5/05/80	CHEFE DO LAB. OU GRUPO		
			CHEFE DA DIVISÃO	<i>trcu</i>	12.05.80
			CHEFE DO DEPARTAMENTO	<i>Francisco</i>	3.9.80
CLASSIFICAÇÃO			TAREFA:		
			13.04		

APLICAÇÃO DE REATORES A ÁGUA PRESSURIZADA
PARA GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO

1. INTRODUÇÃO

Considerações sobre o uso direto da energia nuclear para processos químicos surgiram após a 2ª Guerra Mundial, quando estimava-se que várias aplicações pudessem ser obtidas com esta nova forma de energia. Entretanto, questões econômicas e de segurança impuseram somente a construção de usinas de potência baseadas na energia nuclear.

O consumo atual de petróleo e gás natural é excessivamente alto em relação às suas reservas. A Figura 1 mostra a estrutura das taxas de consumo para petróleo e carvão em função do tempo, levando-se em consideração fatores econômicos, políticos e tecnológicos [1]. Para o gás natural a curva é semelhante à do petróleo. Verifica-se que o máximo da extração de petróleo será atingido ainda antes do final deste século, enquanto que o máximo da extração de carvão somente será atingido dentro de 100 a 150 anos.

Os aumentos recentes dos custos do petróleo e gás natural bem como as incertezas em relação à disponibilidade futura destes combustíveis, torna imperativo a utilização de fontes alternativas de energia. Neste contexto, foi reativado o interesse na utilização do calor e vapor nuclear de processo no intuito de diminuir o aumento da demanda de energia dos combustíveis fósseis.

Desse modo será viável o acoplamento de centrais nucleares com indústrias químicas, onde o vapor de alta pressão é usado para produção de eletricidade e o vapor numa pressão menor é utilizado como vapor de processo industrial.

A possibilidade da aplicação da energia nuclear para a gaseificação de carvão é vista com interesse pela indústria, pelo fato de que os métodos convencionais não satisfarão por muito tempo as imposições ambientais e econômicas.

Apresentaremos os estudos que estão sendo realizados para a viabilidade do acoplamento de um PWR à uma usina de gaseificação de carvão.

2. O PWR COMO FONTE DE VAPOR DE PROCESSO

O termo "calor de processo" cobre uma faixa ampla do uso da energia térmica na indústria. Na siderurgia, tal como na redução de minério de ferro, aplica-se altas temperaturas. Neste caso, o calor necessário é normalmente introduzido internamente, ou por combustão interna como num alto forno ou por aquecimento elétrico.

A região de temperatura média aplica-se às refinarias de petróleo e algumas indústrias químicas. O intervalo de temperatura varia entre 400 e 870°C e o calor é geralmente suprido por aquecimento externo.

A terceira classe do uso de calor de processo consiste na utilização de temperaturas da ordem de 300°C. Nesta classe, são exemplos típicos as indústrias de borracha, papel e de alimentação.

O Reator a Alta Temperatura (HTR) possui o potencial máximo para aplicação na gaseificação de carvão desde que poderá suprir calor e/ou vapor de processo a alta temperatura, evitando-se a combustão do carvão e realizando-se um processo puramente alotérmico [2,3].

Todos os tipos de reatores existentes têm a capacidade de gerar vapor para uso em processos industriais. A temperatura do vapor varia desde a do vapor saturado (300°C) para os LWRs, até a do vapor superaquecido (540°C) para os HTGRs ("High Temperature Gas Cooled Reactors") e os MSRs ("Molten Salt Reactors"). A temperatura do vapor superaquecido dos LMFBRs ("Liquid Metal Fast Breed Reactors") é cerca de 480°C.

A produção de calor numa temperatura em torno de 300°C (caso dos PWRs) representa uma quantidade apreciável da demanda total de energia primária e oferece várias possibilidades para a utilização da energia nuclear tais como no aquecimento distrital, indústrias de processos, dessalinização e agricultura [4].

No caso da gaseificação de carvão, estima-se que o PWR poderá suprir cerca de 30% da energia total necessária à reação. Cálculos prevêm que o custo de produção de gás será bem inferior do que utilizando-se usinas autotérmicas [5].

3. GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO UTILIZANDO-SE UM PWR

A gaseificação hidrogenante é um dos processos utilizados para a produção de gás natural sintético ("Substitute Natural Gas"-SNG). Este processo requer hidrogênio que pode ser obtido de dois modos:

- Pela gaseificação do carvão com vapor seguindo-se a conversão por deslocamento do CO.

- Pela reforma do metano com vapor.

A gaseificação hidrogenante é um processo exotérmico e os dois processos de obtenção de hidrogênio são endotérmicos.

O calor consumido na gaseificação do carvão pode ser subdividido em 3 categorias:

. Calor de aquecimento - necessário para levar o carvão e também o hidrogênio, no caso da gaseificação hidrogenante, para a temperatura de reação.

. Calor de evaporação - para a geração de vapor necessário na gaseificação com vapor e também para a usina de processamento do gás produzido.

. Calor de reação - necessário para conduzir as reações endotérmicas como a gaseificação com vapor ou a reforma do metano, para produção de hidrogênio.

O calor de aquecimento e o calor de evaporação podem ser obtidos, no mínimo parcialmente, através de várias reações exotérmicas. Entretanto, o calor de reação ou é introduzido por fonte externa no processo ou gerado internamente por uma reação paralela, por exemplo, usando-se oxigênio. No primeiro caso têm-se um processo de gaseificação alotérmico e no segundo autotérmico. Estes dois tipos podem também ser combinados.

Utilizando-se um PWR, somente o calor de aquecimento e o de evaporação (e também o calor para secagem no caso da gaseificação da linha) podem ser supridos pelo reator, ao passo que o calor de reação deve ser suprido autotermicamente usando oxigênio no próprio gaseificador.

0 824

Desse modo, é possível utilizar o vapor de processo de um PWR com uma pressão de 70 bar e temperatura de 280°C, com a possibilidade de superaquecer o vapor de processo através de troca de calor com o gás bruto produzido.

A descrição apresentada a seguir é um resumo da publicação alemã no tocante à aplicação de PWRs para a gaseificação de carvão brasileiro [6].

3.1 Escolha do Processo

A aplicação do PWR para a gaseificação do carvão terá como objetivo atender tanto quanto possível a demanda de vapor e de energia elétrica da instalação de gaseificação.

A gaseificação Lurgi sob pressão é vantajosa para o acoplamento a um PWR (para produção de gás de cidade ou de SNG), pois a gaseificação sob pressão (30 bar) e a temperatura relativamente baixa do gás bruto produzido proporcionam um alto teor de metano, de tal modo que o gás produzido, isento de CO₂, já possui um poder calorífico de 16747 KJ/Nm³ (4000 Kcal/Nm³). Em comparação com os processos Winkler ou Koppers-Totzek, o Lurgi sob pressão necessita de um processo de metanação bastante menor para elevar o gás produto à qualidade exigida.

No processo combinado de gaseificação hidrogenante e gaseificação a vapor não há necessidade de metanação pois a gaseificação hidrogenante consegue converter a maior parte do carvão diretamente em metano.

O hidrogênio necessário para a gaseificação hidrogenante pode ser produzido pelos processos Koppers-Totzek, Winkler ou Lurgi sob pressão. O processo Koppers-Totzek produz grandes quantidades de calor de descarga devido às elevadas temperaturas (1400°-1600°C) do gás bruto produzido. Portanto, o processo Koppers-Totzek não é adequado para vinculação a um PWR.

O processo Winkler oferece a vantagem de permitir o emprego da granulação fina para o carvão e o coque residual produzido na gaseificação hidrogenante, não necessitando de uma briquetagem que é exigida no caso da gaseificação Lurgi. Entretanto, o processo Winkler fornece temperaturas mais elevadas do gás bruto (produzindo uma elevada quantidade de calor residual) e um menor grau de gaseificação, tornando -o

desvantajoso em relação ao processo Lurgi.

Para os estudos iniciais da fase de definição do projeto adotou-se o processo combinado de gaseificação Lurgi e gaseificação hidrogenante para o acoplamento a um PWR.

3.2 Combinação da Gaseificação Lurgi sob Pressão e Gaseificação Hidrogenante para Produzir SNG

A combinação do processo de gaseificação hidrogenante (produtor de metano e consumidor de hidrogênio) com o da gaseificação Lurgi sob pressão (produtor de hidrogênio) permite a produção de SNG sem necessidade de metanação. A vantagem desta combinação caracteriza-se por um grande potencial de utilização de vapor do PWR, uma baixa demanda específica de oxigênio e uma baixa demanda de carvão.

Na gaseificação hidrogenante (Figura 2) o carvão de granulação fina é introduzido num gaseificador a leito fluidizado onde reage com hidrogênio, numa reação exotérmica, transformando-se em metano. Para um rendimento ótimo são necessárias pressões da ordem de 80 bar e temperaturas entre 850° a 950°C, dependendo da capacidade reativa do carvão utilizado. Devido à velocidade decrescente da reação, o aproveitamento integral do carvão torna-se economicamente impossível, obtendo-se como subproduto um coque residual capaz de ser utilizado, após briquetagem, no estágio de gaseificação Lurgi sob pressão para produzir hidrogênio. O gás bruto proveniente da gaseificação hidrogenante contém, conforme a capacidade reativa do carvão utilizado, cerca de 25 a 40% (vol) de CH₄ e 8 a 10% (vol) de CO e CO₂; o restante consiste, além de pequenas parcelas de outros componentes, essencialmente de hidrogênio.

O gás bruto sai do gaseificador à temperatura de gaseificação sendo que uma parte do calor de descarga serve para pré-aquecer o gás de hidrogenação e para produzir vapor. O gás bruto, refrigerado para 200°C, é separado dos componentes finos, por meio de uma lavagem com água, e numa posterior lavagem com Amisol dos compostos de enxofre e do CO₂. O gás ácido da lavagem com Amisol é beneficiado em uma instalação Stretford. O gás puro é subdividido, numa operação de fracionamento criogênico, em uma fração de CH₄ que é liberada como SNG; uma fração de H₂ que é recirculada como gás de hidrogenação para os geradores de gás; a fração de CO é conduzida a uma instalação de conversão e, após lavagem para separar o CO₂ formado, é dirigida para os geradores

de gás como gás de hidrogenação.

O hidrogênio utilizado na gaseificação hidrogenante é produzido na gaseificação Lurgi sob pressão, pela gaseificação do coque residual produzido na gaseificação hidrogenante, adicionando-se carvão no vapor, se necessário. O gás bruto produzido é resfriado em um refrigerador-lavador para a remoção das substâncias sólidas. Depois o CO existente no gás bruto em combinação com vapor é transformado em CO₂ e H₂ em uma instalação de conversão. O CO₂ formado na conversão, junto com o CO₂ formado na gaseificação bem como os compostos de enxofre são removidos através de uma lavagem. O gás puro, consistindo essencialmente de hidrogênio, é comprimido para a pressão da gaseificação hidrogenante e utilizado como gás de hidrogenação.

3.3 Combinação da Gaseificação Lurgi sob Pressão com a Gaseificação Hidrogenante para Produzir Gás de Cidade

Neste caso o gás bruto da gaseificação Lurgi sob pressão é beneficiado da mesma maneira como descrito no item anterior (Figura 3). Uma parcela do gás bruto beneficiado é utilizado na gaseificação hidrogenante, como gás de hidrogenação. O gás bruto da gaseificação hidrogenante, após lavagem com água, é convertido para CO₂, numa instalação de conversão, sendo em seguida submetido a uma lavagem Amisol para remoção do CO₂ e enxofre. O gás assim obtido é misturado ao gás proveniente da gaseificação Lurgi sob pressão, a fim de obter o poder calorífico exigido. Caso o teor do monóxido de carbono no gás produto seja excessivamente alto, deverá ser prevista uma metanação de uma parcela do fluxo do gás produto.

3.4 Acoplamento da Usina de Gaseificação com um PWR

Para um projeto mais detalhado e cálculo da confiabilidade econômica foi adotado o processo gaseificação Lurgi sob pressão com gaseificação hidrogenante acoplado à um PWR para produção de SNG.

A base de dimensionamento do projeto é a produção de $1,4 \times 10^9$ m³/a (CNTP) de SNG (poder calorífico de 39775 KJ/m³) correspondendo a $56,5 \times 10^6$ GJ/a, como determinado pelo Grupo de Trabalho Brasileiro.

Os resultados dos cálculos de balanço para este projeto (Tabela 1) só podem ser considerados como estimativas iniciais, pois ain-

da não existem resultados à respeito da gaseificação do carvão brasileiro. Assim, torna-se necessário obter na fase de referência resultados experimentais com o carvão brasileiro. 0 826

Os parâmetros de projeto para a gaseificação hidrogenante decorrem dos resultados experimentais realizados na instalação semi-técnica em Wesseling.

Uma descrição do processo da usina de gaseificação acoplado a um PWR é dada a seguir;

O carvão bruto é moído até 1 mm de tamanho de grão e, em seguida, beneficiado a fim de reduzir o elevado teor de cinzas de 43% para 20%. Após secagem para um teor de água de 5% o carvão é introduzido no gaseificador junto com o gás de hidrogenação que consiste principalmente de hidrogênio (Figura 4).

As condições da gaseificação são 900°C e 80 bar. O carvão reage com hidrogênio produzindo metano. O excesso de hidrogênio é escolhido de tal modo que existirá uma pressão parcial de hidrogênio de 50 bar no gás produto. O grau de gaseificação do carvão, com uma taxa de conversão de carbono de 50%, é escolhido de tal maneira que seja satisfeito o balanço de energia, considerando-se o elevado teor de cinzas do carvão e a necessidade de pré-aquecimento do gás de hidrogenação para cerca de 800°C. Isto é conseguido através da troca de calor regenerativa com o gás bruto.

Após ter sido refrigerado para 180°C, o gás bruto é submetido a uma lavagem com água onde são removidas as partículas arrastadas de pó. O gás é então esfriado para 40°C e submetido a uma lavagem Amisol onde são removidos o CO₂ e H₂S. O gás puro é conduzido através de separadores químicos, para remover os resíduos de CO₂ e H₂O. No fracionamento criogênico (TTZ) o gás é decomposto nas frações de metano, hidrogênio e monóxido de carbono. O metano, após compressão, é liberado como produto, e as frações de H₂ e CO, após serem comprimidas para 82 bar, são recirculadas para a gaseificação hidrogenante. A fração de CO é previamente enviada a uma instalação de conversão e depois para uma lavagem com potassa cáustica quente (HP-I) para remover o CO₂. A fim de se evitar a acumulação de nitrogênio, este é removido no fracionamento criogênico.

0 827

O coque formado na gaseificação hidrogenante é compactado com carvão bruto beneficiado e submetido à gaseificação Lurgi, sob pressão de 30 bar, com vapor d'água e oxigênio. A Lurgi indicou os seguintes dados operacionais, calculados sem garantia, numa gaseificação de coque de carvão mineral em mistura com carvão brasileiro (carvão Leão):

Consumo de oxigênio (puro)	0,167 m ³ de O ₂ /m ³ de gás bruto (CNTP)
Teor residual de C nas cinzas	5%
Razão vapor/oxigênio	5,3 kg vapor/m ³ de O ₂ (CNTP)
Grau de decomposição do vapor	42,5%
CH ₄ no gás bruto seco	5%
CO no gás bruto seco	22%
CO ₂ no gás bruto seco	32%
Temperatura de saída do gás bruto	660°C
Quantidade de gás bruto (seco) por gaseificador	50000 m ³ /h (CNTP)

O gás bruto da gaseificação Lurgi, depois de uma separação mecânica do pó, é resfriado para 400°C. O calor sensível é aproveitado para superaquecer o vapor do gaseificador ou para produzir vapor de baixa pressão (BP). O vapor para o gaseificador é fornecido em 88% pelo PWR, sendo os 12% restantes obtidos na refrigeração do gaseificador (ambas as parcelas na forma de vapor saturado na pressão de 35 bar). Após mais uma separação mecânica do pó, o gás é conduzido até uma conversão de dois estágios com posterior lavagem em potassa cáustica quente (HP-II), para remover CO₂ e H₂S. O gás puro é comprimido para 82 bar e conduzido, junto com o hidrogênio proveniente do fracionamento criogênico, até a gaseificação hidrogenante. O calor produzido na conversão é utilizado para produzir vapor de baixa pressão (BP).

Os gases ácidos obtidos na lavagem Amisol e de potassa cáustica quente (CO₂ e H₂S), são beneficiados em uma instalação Stretford, na qual o gás sulfídrico é transformado em enxofre elementar.

A produção específica de gás é reduzida, em relação à quantidade de carvão bruto utilizada, no caso de se realizar o beneficiamento do carvão para diminuir o teor de cinzas para 20%. O pré-tratamento parece ser necessário por dois motivos:

- Uma compensação do balanço energético exclusivamente por aquecimento de H₂ e, eventualmente, com uma pequena adição de O₂, para

0 828

o caso de teores de cinzas elevados somente poderá ser alcançada através de graus de gaseificação muito altos (70%).

- Os resultados apresentados sobre o processo Lurgi foram obtidos com um teor de cinzas de 20% se bem que a utilização de carvões com teores de cinzas de 35% já foi comprovada em escala industrial (SASOL I).

As desvantagens técnicas mais importantes decorrentes do pré-tratamento do carvão, referentes à quantidade de carvão bruto utilizada são:

- Menor produção de gás
- Menor utilização da energia elétrica e do vapor produzidos pelo PWR
- Investimento maior

Desse modo resultam as seguintes prioridades para trabalhos de P&D durante a fase conceitual:

- Adaptação para as características tecnológicas do carvão brasileiro, especialmente o teor mais elevado de cinzas, e desenvolvimento dos dois estágios de gaseificação.

- Estudos sobre o beneficiamento do carvão brasileiro, especialmente tendo em vista a otimização da produção de carvão beneficiado.

- Testes sobre a aglutinação de coque residual e de carvão no vo brasileiro.

4. PROJETO CONCEITUAL DA INSTALAÇÃO COM PWR

4.1 Instalação de Gaseificação

A instalação de gaseificação consiste das duas instalações parciais, gaseificação hidrogenante e gaseificação Lurgi sob pressão, bem como das instalações secundárias correspondentes.

Na gaseificação hidrogenante, a alimentação é de 90,7 kg/s (base seca) de carvão de granulação fina, que são transformados em 188 m³/s (CNTP) de gás bruto seco e 44,8 kg/s de coque residual.

São necessários 6 geradores de gás com um diâmetro interno de cerca de 3,2 m para o processo de gaseificação. A velocidade do gás de hidrogenação, em relação a seção transversal do gerador de gás, é cerca de 0,22 m/s com um tempo de residência do coque residual de 25 a 30 minutos e com uma altura do leito fluidizado de 4 m. Os dados de projeto dos geradores de gás foram determinados com os resultados experimentais da instalação semi-técnica de Wesseling e, para o carvão de referência brasileiro, há necessidade ainda de uma confirmação experimental. No projeto da gaseificação hidrogenante foi incluído um gerador de gás de reserva para a obtenção de uma boa disponibilidade operacional da usina, sendo previsto, portanto, um total de sete geradores de gás.

À jusante de cada gerador de gás estão ligados um ciclone para separação de pó, um trocador para pré-aquecer o gás de hidrogenação com o calor de descarga do gás bruto, uma caldeira a vapor e uma lavagem à água. À jusante da lavagem à água, os sete ramais são combinados em dois e, como consequência, as etapas posteriores de lavagem Amisol e fracionamento criogênico são executadas em somente dois ramais. As frações de CO, obtidas no fracionamento criogênico, podem ser combinadas e convertidas em um só ramal em virtude da pequena quantidade a ser processada (essa configuração deve, entretanto, ser verificada por motivos operacionais e de disponibilidade).

São instalações secundárias importantes da gaseificação hidrogenante o sistema de manipulação do carvão, composto de armazenamento, moagem, instalações para reduzir o teor de cinzas do carvão de alimentação, secagem, a instalação Stretford para transformar o gás sulfídrico existente no gás ácido da lavagem Amisol em enxofre elementar, bem

como uma instalação de tratamento das águas efluentes para beneficiar o condensado do gás bruto.

Na gaseificação Lurgi sob pressão são utilizados 44,8 kg/s de coque residual proveniente da gaseificação hidrogenante e 21,9 kg/s (base seca) de carvão beneficiado, prensado previamente em briquetes, obtendo-se cerca de 100 m³/s (CNTP) de gás bruto seco. Como cada gerador de gás tem uma capacidade de 11 a 14 m³/s (CNTP) de gás bruto seco, são necessários 8 geradores para a gaseificação Lurgi sob pressão, sendo previsto, como na gaseificação hidrogenante, um gerador de gás de reserva. Os geradores de gás projetados atualmente tem um diâmetro de 3,8 m. As unidades à jusante dos geradores de gás, tais como separadores de pó, refrigeradores de resfriamento rápido e trocadores de calor, estão ligadas a cada um dos geradores. O beneficiamento do gás bruto é combinado em dois ramais, de modo idêntico à gaseificação hidrogenante, sendo a conversão e a lavagem subsequentes do gás executadas em dois ramais.

São instalações secundárias importantes da gaseificação Lurgi sob pressão a briquetagem do coque residual e do carvão novo, a obtenção e o beneficiamento dos sub-produtos que se formam na gaseificação, o tratamento das águas efluentes e a instalação de fracionamento de ar.

4.2 Estimativas em Relação ao Suprimento de Energia

O vapor de processo necessário para gaseificar o carvão brasileiro e a demanda de energia elétrica poderão ser produzidos num PWR vinculado à instalação de gaseificação.

Poderá ser utilizado os PWRs padrões (3765 MWt) sem alteração dos sistemas auxiliares e secundários. O sistema de vapor, integrado na usina nuclear (1300 MWe), deverá ser adaptado, de acordo com as exigências, à respectiva instalação de geração de gás.

A Figura 5 mostra o sistema de vapor adaptado à instalação geradora de gás, porém ainda não otimizado.

O vapor de processo de pressão média é retirado do coletor de vapor direto e ajustado para a pressão de vapor de processo (35 bar) em uma estação redutora de pressão. Em regime normal a quantidade é de 77 kg/s, contendo o vapor 0,015% de umidade. A quantidade restante de va-

0 831

por direto é utilizada no conjunto da turbina, cuja velocidade é de 50 rps.

O conjunto da turbina consiste de uma turbina de alta pressão e turbinas parciais de condensação (de baixa pressão) de duas passagens, com gerador acoplado no mesmo eixo. A potência do gerador é de 1220 MWe. Descontada a demanda própria da usina (~ 70 MWe), resulta uma potência líquida de 1150 MWe. Destes, 290 MWe são absorvidos pelo sistema gerador de gás, podendo ser cedidos 860 MW para a rede distribuidora de energia elétrica. A Tabela 2 apresenta os dados principais do PWR, para geração de vapor de processo.

4.3 Estimativas Econômicas

A referência [6] apresenta também o potencial de utilização e as estimativas econômicas dos processos de gaseificação de carvão via energia nuclear no Brasil. Os métodos de cálculo foram baseados no Projeto PNP ("Nuclear Process Heat Prototype Plant"), do KFA ("Kernforschungsanlage") Jülich.

Os cálculos foram efetuados com o objetivo de determinar os custos de produção do:

- . Gás de cidade, produzido por gaseificação a vapor d'água do carvão brasileiro em combinação com um HTR.

- . Gás natural sintético (SNG) produzido em uma combinação de gaseificação hidrogenante e Lurgi em combinação com um PWR.

Os resultados servem tanto para estabelecer uma comparação inicial entre os processos quanto para realizar uma estimativa econômica face a outras fontes de energia concorrentes no mercado brasileiro.

Em resumo, as conclusões do estudo foram:

- . Os dois processos não apresentam diferenças essenciais no tocante aos custos do carvão no Brasil. Entretanto, devido a maior quantidade de carvão empregado quando se utiliza o PWR, os custos de produção de gás se elevam menos (à medida que aumentam os preços do carvão) no caso de emprego de um HTR.

- . Ambos processos são econômicos, a longo prazo, em comparação com as fontes competitivas de energia.

- . Em níveis de preço de 1976 e para o primeiro ano de opera-

0 832

ção, considerando-se um custo do carvão brasileiro de 3 DM/GJ os custos de produção de gás são estimados em:

- | | |
|---|------------|
| - Gaseificação hidrogenante Lurgi com PWR | 11.1 DM/GJ |
| - Gaseificação a vapor com HTR | 10.7 DM/GJ |

0 833

5. CONCLUSÕES

A produção de gás de síntese, a partir do carvão, é a forma conveniente para usos industriais e matéria prima para produção de compostos sintéticos.

Para a obtenção de um combustível com alto poder calorífico, a forma adequada é a produção do gás natural sintético, que consiste principalmente de metano.

Do estudo realizado constata-se que a República Federal da Alemanha é, praticamente, o único país realizando estudos de aplicação de PWRs à gaseificação do carvão.

Os Estados Unidos estão realizando projetos principalmente com a finalidade de aplicação do vapor de um PWR ao aquecimento distrital, indústrias de processos, dessalinização e agricultura. Em 1967 a Babcock & Wilcox Co. iniciou a construção de uma central nuclear de dupla finalidade para suprir vapor de processo e energia elétrica a Dow Chemical Company, bem como suprir eletricidade à rede elétrica de Michigan. As duas unidades são do tipo PWR que serão operadas pela Consumers Power Company por volta de 1982. A central terá uma potência elétrica de 1300 MW e é projetada para fornecer 4×10^6 lb/h de vapor de processo.

A economia de escala é um fator marcante nos custos de produção de vapor. Assim, para que vapor nuclear de processo seja economicamente viável é necessário ter várias indústrias compartilhando o vapor produzido de usinas nucleares de grande porte em instalações de múltiplas unidades. Entretanto, o projeto do Consolidated Nuclear Steam Generator (CNSG) visa ao desenvolvimento de reatores padronizados de pequeno porte.

No tocante à gaseificação de carvão utilizando-se PWRs, pode-se tecer as seguintes conclusões:

. Estima-se que o PWR poderá suprir cerca de 30% da energia total necessária à reação de gaseificação. Cálculos prevêem que o custo de produção de gás será inferior do que quando utilizando-se usinas autotérmicas.

. Prevê-se a utilização futura de gás redutor para a siderur

gia, pois o Brasil possui grandes reservas de minério mas, no entanto, importa carvão coqueificável.

. Os processos utilizando-se HTRs ou PWRs são econômicos, a longo prazo, em comparação com as fontes competitivas de energia.

. Os custos de produção de gás, utilizando-se HTRs ou PWRs, não são substancialmente diferentes.

. No ano 2000 pode ser estimado para o Brasil um potencial de 100 a 140 milhões de toneladas equivalentes de carvão para o gás natural sintético.

. Os resultados apresentados pelo KFA, em março de 1979, utilizando-se HTRs e PWRs são estimativas iniciais, pois não existem dados concretos sobre a gaseificação de carvões brasileiros.

Finalmente, o estudo realizado na Alemanha, no âmbito do Acordo Especial, enfatiza a necessidade de estudos mais amplos que teriam de ser efetuados em conjunto com o Grupo de Trabalho Brasileiro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] HUBBERT, M.K. - Survey of World Energy Resources, Can. Min. Metall. Bull. (July 1973).
- [2] NEIVA, B.C. & ANDRADE, P.C.T. - Estado da Arte dos Reatores a Alta Temperatura. Nota Técnica DETR.PD 089/79 - 28/12/79.
- [3] NEIVA, B.C. - Estado da Arte da Aplicação do Reator a Alta Temperatura para a Gaseificação de Carvão. Nota Técnica DETR.PD 088/79 - 27/12/79.
- [4] Proceedings of the First National Topical Meeting on Nuclear Process Heat Applications, Los Alamos Scientific Laboratory, New Mexico, October 1-3, 1974.
- [5] KUNSTLE, K. et al., Gasification of Coal with Nuclear Process Steam. Kerntechnik 20, Jahrgang (1978) No.4
- [6] Implementação da Fase de Definição do Projeto: "Desenvolvimento de Métodos para o Aproveitamento de Carvão Mediante Calor Nuclear de Processo e/ou Vapor Nuclear de Processo". Relatório Final, Março 1979, KFA, KWU, RBW. (Tradução), Junho 1979.

TABELA 1 - BALANÇO DE MASSA DA COMBINAÇÃO GASEIFICAÇÃO HIDROGENANTE/LURGI
(CARVÃO LEÃO-BUTIÁ, BENEFICIADO PARA 20% DE TEOR DE CINZAS)
(Parte 1: Balanço das substâncias sólidas)

	a		b		c		d		e	
	Carvão Beneficiado	(base	Carvão Beneficiado	(base	Coque Residual	(base	Carvão Beneficiado	(base	Resíduos de gás	(base
	kg/s	Peso-% seca)	(após ressecagem)	Peso-% seca)	após gaseificação hidrogenante	Peso-% seca)	Gaseif.Lurgi	Peso-% seca)	Gaseif.Lurgi	Peso-% seca)
C	69,3	61,5	55,8	61,5	25,1	56,0	13,5	61,5	1,2	5,0
H	4,6	4,1	3,7	4,1	0,4	0,9	0,9	4,1	-	-
N	1,2	1,1	1,0	1,1	0,2	0,5	0,2	1,1	-	-
O	13,4	11,9	10,8	11,9	0,4	0,9	2,6	11,9	-	-
S	1,5	1,3	1,2	1,3	0,5	1,1	0,3	1,3	-	-
Cinzas	22,6	20,1	18,2	20,1	18,2	40,6	4,4	20,1	22,1	95,0
	112,6	100,0	90,7	100,0	44,8	100,0	21,9	100,0	23,8	100,0
H ₂ O	11,7	10,4	4,5	5,0	-	-	2,5	10,4	-	-

TABELA 1 - BALANÇO DE MASSA DA COMBINAÇÃO GASEIFICAÇÃO HIDROGENANTE/LURGI
 (CARVÃO LEÃO-BUTIÁ; BENEFICIADO PARA 20% DE TEOR DE CINZAS)
 (Parte 2: Balanço das substâncias gasosas) Folha 1

	1		2		3		4		5	
	Gás de Hidro- gênese	Mol-%	Gás bruto da Gaseif. Hidrogenante	Mol-%	GNS	Mol-%	CO/H ₂ - Fração	Mol-%	Gás Puro I da fração CO/H ₂	Mol-%
	m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s		m ³ /s	
CO ₂	0,84	0,43	0,27	0,14	-	-	-	-	0,16	1,00
CO	6,12	3,10	15,02	7,97	0,04	0,08	7,81	47,96	0,78	5,00
H ₂	178,31	90,44	112,86	59,86	-	-	5,24	32,15	11,58	74,25
CH ₄	6,31	3,20	51,91	27,53	50,72	96,44	0,43	2,61	0,40	2,59
C ₂ H ₆	0,20	0,10	1,83	0,97	1,83	3,48	-	-	-	-
N ₂	5,39	2,73	6,16	3,27	-	-	2,81	17,28	2,68	17,16
H ₂ S	-	-	0,49	0,26	-	-	-	-	-	-
	197,17	100,0	188,54	100,00	52,59	100,00	16,29	100,00	15,6	100,00
P (bar)	80		78		1,5-16,6		1,5		81	
T (°C)	800		900		30		30		30	

0 838

DETR. PD-073/79

	6 H ₂ - Fração		7 Gás Bruto Lurgi		8 Gás Puro Lurgi	
	m ³ /s	Mol-%	m ³ /s	Mol-%	m ³ /s	Mol-%
CO ₂	-	-	31,41	31,60	0,68	1,00
CO	1,62	1,43	21,67	21,80	3,72	5,45
H ₂	108,91	96,13	39,87	40,10	57,82	84,68
CH ₄	0,94	0,83	4,97	5,00	4,97	7,28
C ₂ H ₆	-	-	0,20	0,20	0,20	0,29
N ₂	1,84	1,61	0,89	0,90	0,89	1,30
H ₂ S	-	-	0,40	0,40	-	-
	113,29	100,00	99,41	100,00	68,28	100,00
P (bar)	73		30		30	
T (°C)	30		600		25	

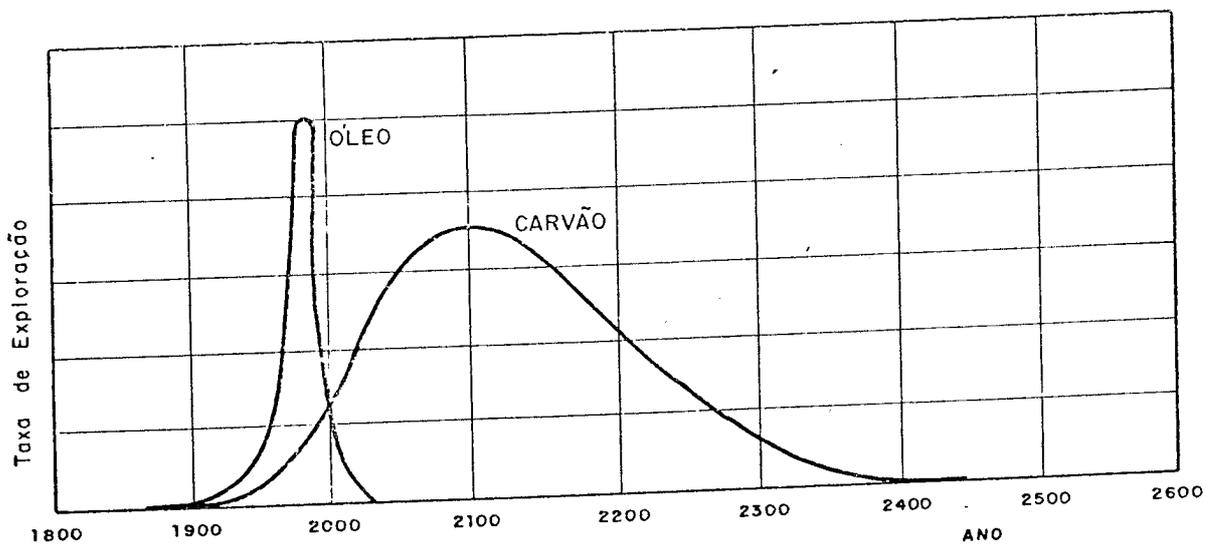
TABELA 1 - BALANÇO DE MASSA

(Parte 2: Balanço das substâncias gasosas) Folha 2

TABELA 2 - DADOS PRINCIPAIS DA GASEIFICAÇÃO COM PWR

Potência do reator a água pressurizada (PWR)	3765 MJ/s
Quantidade de carvão beneficiado (20% cinzas)	125 kg/s
Produção de gás natural sintético	52,6 m ³ /s (cntp)
Produção de betume e óleo	3 kg/s
Produção bruta de energia elétrica do PWR	1220 MW
Demanda própria do PWR	70 MW
Demanda própria da instalação de produção de gás	290 MW
Fornecimento de energia elétrica à rede	850 MW
Eficiência térmica (com ref. poder calorífico superior)	48,2%
Demanda de vapor da instalação de produção de gás:	
Vapor de baixa pressão (5 bar, 170°C)	128 kg/s
Vapor de média pressão (34 bar, 350°C)	88 kg/s
Vapor de alta pressão (100 bar, 500°C)	9 kg/s
Fornecimento de vapor pelo PWR:	
Vapor de média pressão	77 kg/s
Fornecimento de vapor mediante aproveitamento do calor de descarga:	
Vapor de baixa pressão	127 kg/s
Vapor de média pressão	11 kg/s
Vapor de alta pressão	9 kg/s
Grau de gaseificação do carbono-HKV (gaseificação hidrogenante)	55%
Grau de gaseificação do carbono, Lurgi	97%
Grau de gaseificação do carbono, total	98%
Demanda de O ₂	16,7 m ³ /s (cntp)

FIGURA 1: DESENVOLVIMENTO DA EXPLORAÇÃO DAS RESERVAS DE CARVÃO E DE PETRÓLEO DO MUNDO.



DETR. PD-073/79

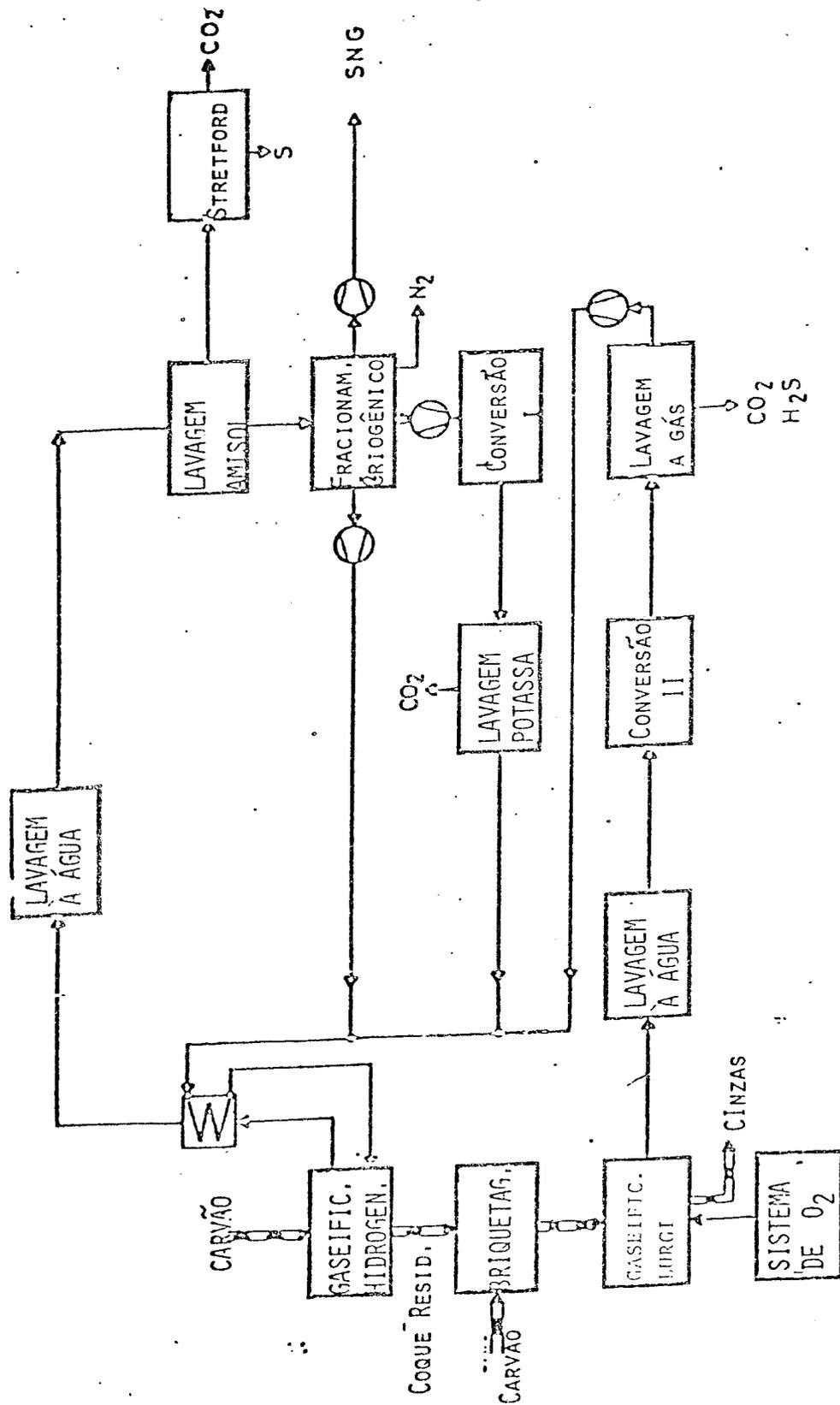


FIGURA 2 - COMBINAÇÃO DA GASEIFICAÇÃO LURGI E GASEIFICAÇÃO HIDROGENANTE PARA PRODUÇÃO DE GNS

0 842

DETR. PD-073/79

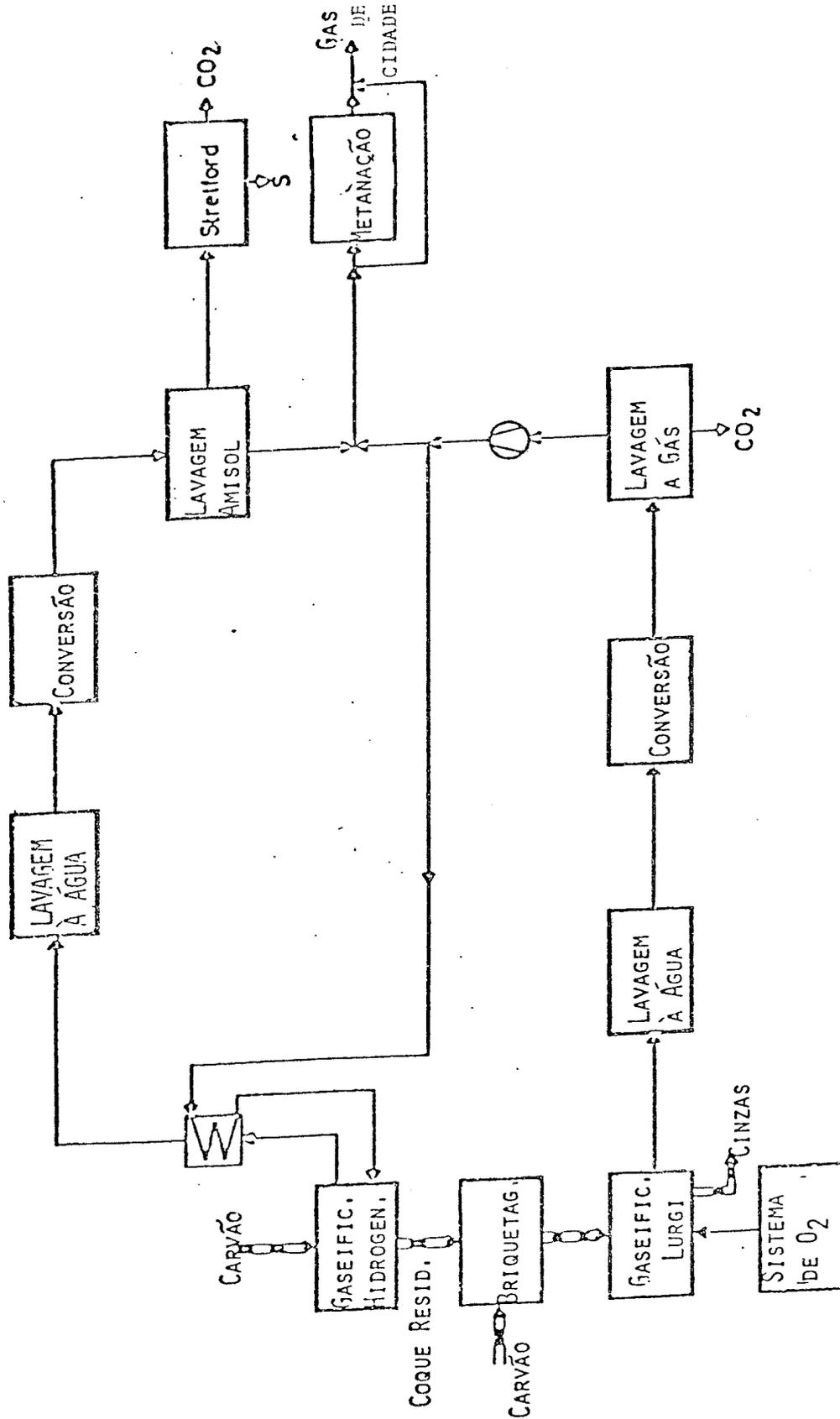


FIGURA 3 - COMBINAÇÃO DO PROCESSO LURGI E DA GASEIFICAÇÃO HIDROGENANTE PARA PRODUÇÃO DO GÁS DE CIDADE

DETR.PD-073/79

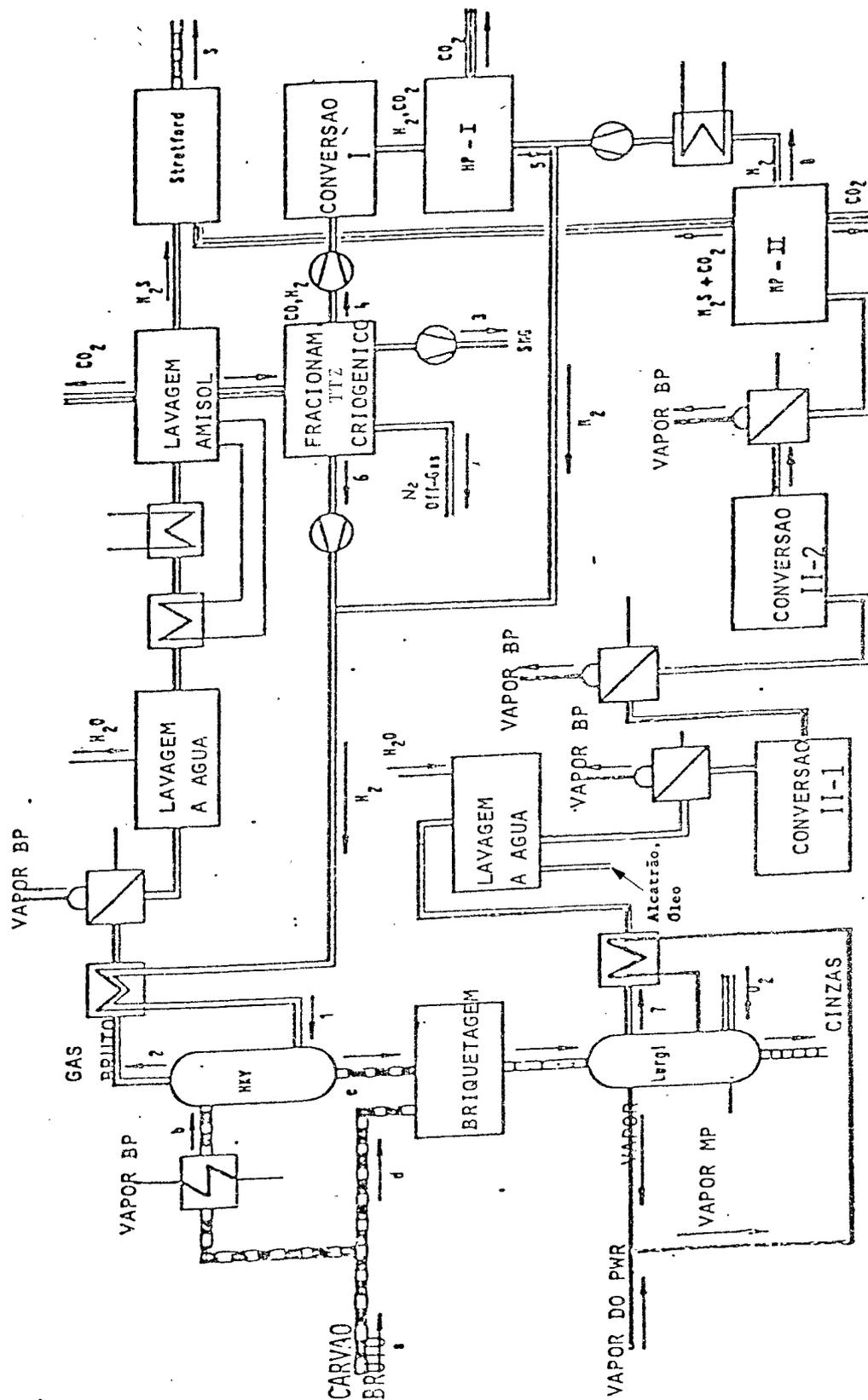


FIGURA 4 - COMBINAÇÃO DO PROCESSO HIDROGENANTE E DO PROCESSO LURGI COM PWR PARA OBTENÇÃO DE SNG (CARVÃO LEÃO COM 20% CINZAS)

DETR.PD-073/79

0 844

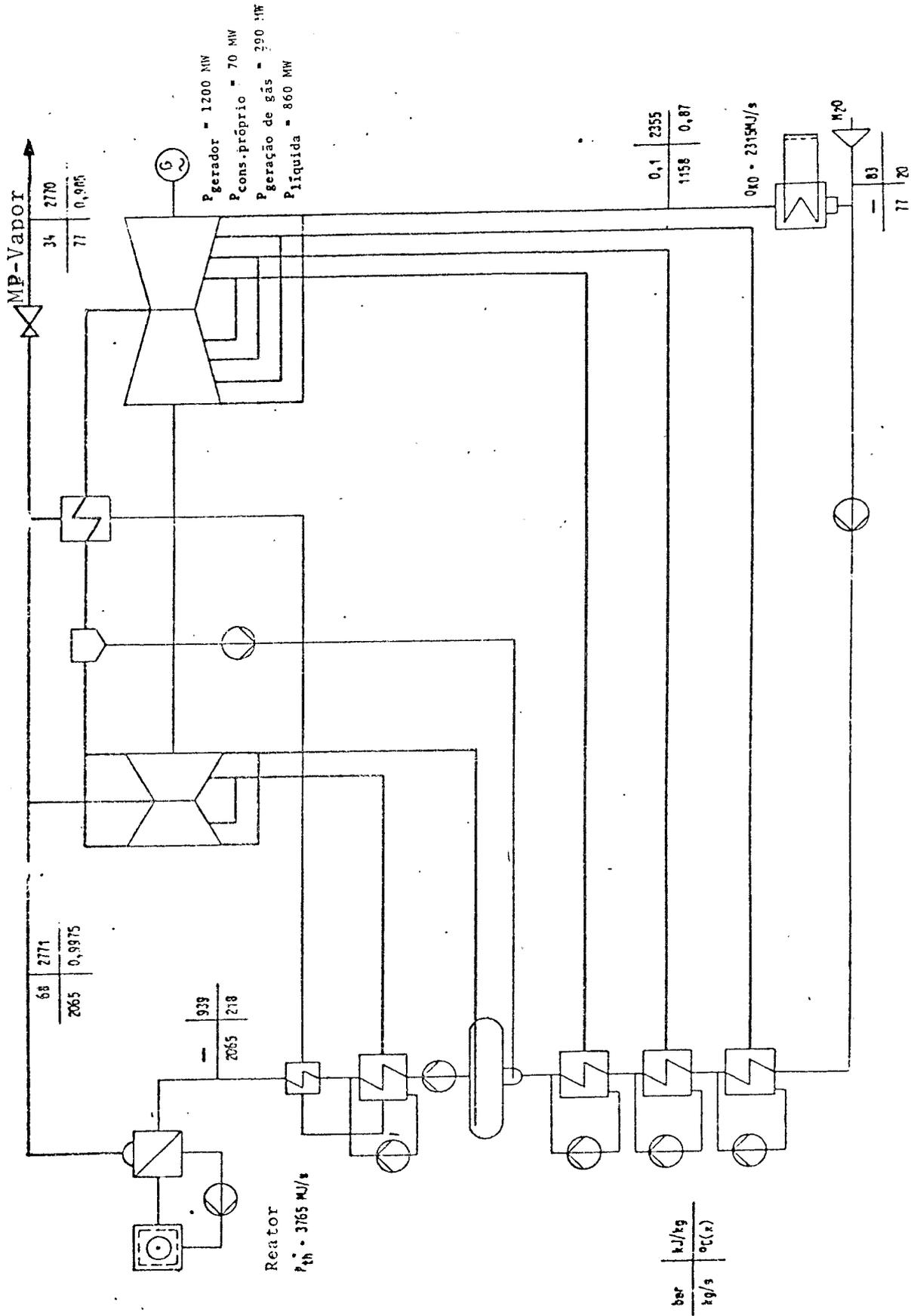


FIGURA 5 - SISTEMA DE VAPOR DE PROCESSO DO PWR