

Reavaliação do Processo de Geração de Energia Recuperada Termoquimicamente Consumindo Gás Natural; Otimização Inicial do Reformador

Palavras-Chave: [[reformador]], [[otimização]], [[gás natural]]

Autores/as:

Carlos Vinícius Macedo de Oliveira [UNICAMP]

Prof. Dr. Marcio Luiz de Souza Santos (orientador) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

O processo de geração de potência termelétrica empregando reforma de gás natural -- neste trabalho referido pela sigla TCR (Thermo-Chemically Recuperated Power Generation) -- consiste em utilizar a corrente de exaustão de uma turbina a gás para providenciar a energia para a reforma de hidrocarboneto com vapor, como pode ser visto na Figura 1.

No processo ilustrado, a corrente de gás natural (NG, corrente 11) é comprimida e no misturador (M) combinada com a corrente de vapor (corrente 10). Essa mistura (corrente 12) é levada ao reformador (R) onde ocorre o processo de reforma. Esse processo pode ser caracterizado pelas duas reações básicas a seguir:

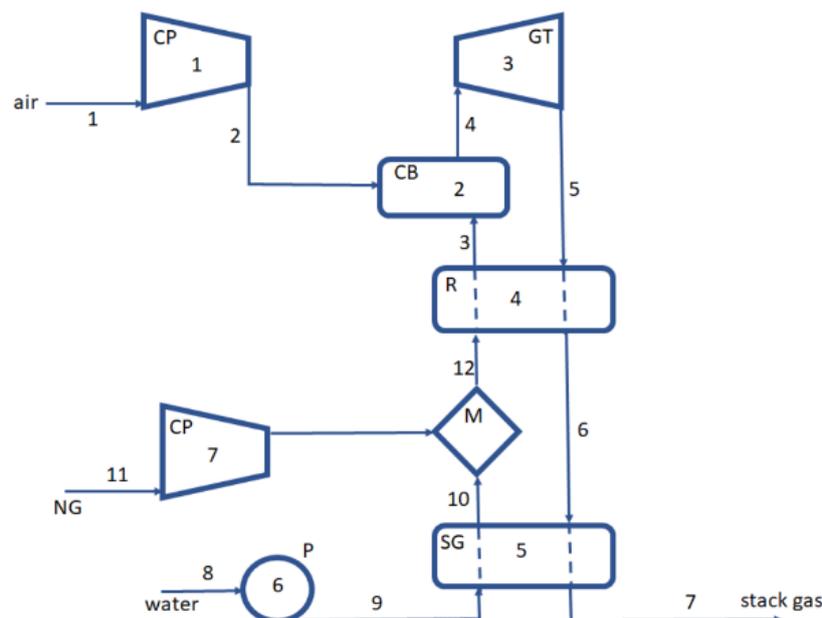
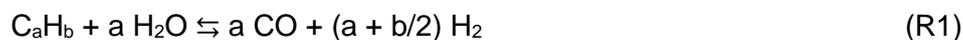


Figura 1: Representação esquemática de um TCR básico. CB: combustor, CP: compressor, GT: turbina a gás, M: misturador, P: bomba, R: reformador, SG: gerador de vapor

Assim, aumentos na corrente de vapor podem permitir aumentos na produção de hidrogênio. A mistura então é levada ao combustor (CB) que recebe ar comprimido gerando a corrente 4 de gás a alta temperatura. Essa corrente é injetada na turbina a gás e a exaustão dessa (corrente 5) possui energia suficiente não só para alimentar o processo majoritariamente endotérmico do reformador (R) como também o gerador de vapor (SG) [1,2].

O reformador, aqui estudado, opera sob a tecnologia de leito arrastado (Entrained Flow) no qual a mistura de gás natural e vapor d'água passa pelo interior de uma tubulação central. Essa mistura contém partículas de catalizador para promover as reações indicadas acima. No momento, escolheu-se o óxido de níquel como catalizador. O tubo central é concêntrico a outro por onde passa uma mistura gasosa de alta temperatura que é a descarga da turbina a gás (equipamento 3). A Figura 2 apresenta um esquema básico do reator.

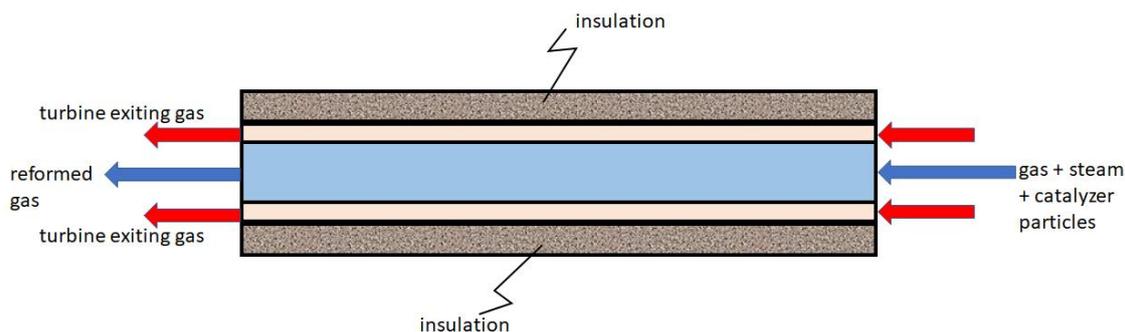


Figura 2: Esquema básico do reator de reforma de NG

As principais reações de reforma envolvendo o catalizador são listadas abaixo:



O objetivo deste trabalho é contribuir para a verificação da viabilidade do processo TCR e sua eficiência conforme o conceito de reator de leito arrastado operando com NiO como catalizador.

METODOLOGIA:

Inicialmente, foi necessário estudar e entender o processo de TCR, bem como escolher os parâmetros a serem observados durante as análises da simulação. Entre esses parâmetros estão a exergia, o índice de reforma do óxido de níquel (NiO) e a eficiência da reforma de hidrocarbonetos.



Figura 3: CeSFaMB®

Também foi necessário um período para entendimento das bases teóricas e matemáticas do simulador CeSFaMB® [3] (www.csfmb.com) como também um treinamento na sua utilização.

Na etapa inicial do presente estudo teórico, foram fixados alguns parâmetros de maneira a permitir uma análise preliminar de sensibilidade do processo de reforma em relação à taxa de vapor d'água injetada do reformador (corrente 12, Figura 1). Todos outros parâmetros foram mantidos constantes, tais como:

- a) Vazão mássica de gás natural (NG) injetado com o vapor, fixada em 0,3 kg/s.
- b) Temperatura do NG em 575 K (TEGID, Figura 5).
- c) Pressão do NG em 2 MPa (PEGID, Figura 5).
- d) Temperatura do vapor de água em 740 K.
- e) Pressão do vapor de água em 2 MPa.
- f) Temperatura (1100 K), pressão (120 kPa) e composição do gás (corrente 5, Figura 1) passando pelo tubo externo.
- g) Dimensões básicas do reformador, ou seja, diâmetro de tubo central em 0,5 m, comprimento de 30 m em espiral, tubo externo com 0,7 m de diâmetro.

Inlet gas through distributor			
Index	Gas	Variable	Molar %
1	Ar	PYGID(1)	0
2	H2	PYGID(2)	0
3	H2O	PYGID(3)	0
4	H2S	PYGID(4)	0
5	NH3	PYGID(5)	0
6	NO	PYGID(6)	0
7	NO2	PYGID(7)	0
8	N2	PYGID(8)	2.01
9	N2O	PYGID(9)	0
10	O2	PYGID(10)	0
11	SO2	PYGID(11)	0
12	CO	PYGID(12)	0
13	CO2	PYGID(13)	0.67
14	HCN	PYGID(14)	0
15	CH4	PYGID(15)	92.47
16	C2H4	PYGID(16)	0
17	C2H6	PYGID(17)	3.57

Figura 4: Composição do gás natural da entrada

Também foram fixados valores como a composição do gás (Figura 4), composição da corrente que contém o catalisador, a esfericidade das partículas, o método matemático utilizado, e geometria do reformador.

Stream Characterization - Gases Through Distributor				
		Mass Flow, kg/s	Temperature, K	Pressure, kPa (abs.)
Inlet Gas Through Distributor	FMGID	0.3	TEGID 575.8	PEGID 2000
Inlet Steam Through Distributor	FMSFG	2.4	TESFG 740.0	PESFG 2000

Figura 5: Condições das correntes de entrada de gás natural e vapor de água na etapa inicial

Na segunda etapa do estudo, teórico foi decidido analisar o impacto de diferentes pressões de entrada de gás natural (NG).

Para tanto foram fixados dois novos valores para a pressão do mesmo. Em seguida realizou-se uma nova série de simulações similar às da etapa inicial para cada um desses valores. Todos os parâmetros da etapa inicial foram mantidos, exceto pelos citados abaixo.

Para o primeiro caso foram alterados os seguintes parâmetros de:

- a) Temperatura do NG em 618 K (TEGID, Figura 5).
- b) Pressão do NG em 3 MPa (PEGID, Figura 5).

Já para o segundo caso os parâmetros inseridos foram os seguintes:

- a) Temperatura do NG em 648,5 K (TEGID, Figura 5).
- b) Pressão do NG em 4 MPa (PEGID, Figura 5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Nesse estudo são utilizadas as seguintes definições:

- 1) Eficiência de reforma como a fração de NiO reduzido a Ni por massa de NiO entrante no reator.
- 2) Índice de reforma como a percentagem da vazão molar de hidrocarbonetos injetados no reator contra a da vazão transformada em hidrogênio e monóxido de carbono.
- 3) Eficiência exergética com a razão (%) de exergia do gás natural entrante no reator contra a encontrada na mistura gasosa que deixa o reformador.

O simulador CeSFaMB[®] foi empregado para simular o reformador. Nessas simulações variou-se a vazão mássica do vapor de água injetada no reformador.

Tabela 1: Melhores resultados obtidos através de simulações do reformador

Pressão do gás natural (MPa)	Vazão de vapor de água (kg/s)	Eficiência exergética (%)	Índice de reforma do NiO (%)	Índice de reforma de NG (%)
2	2,7	88,65	92,28	63,02
2	3,0	88,99	90,51	63,36
3	2,7	88,57	92,34	63,31
3	3,0	88,9	90,57	63,68
4	2,7	88,53	92,38	63,59
4	3,0	88,87	90,61	63,86

As temperaturas inseridas foram obtidas por simulação do compressor de GN e do vapor misturados antes da injeção no reformador. Tais condições forma importadas de outros trabalhos correntemente orientados pelo Prof. de Souza-Santos.

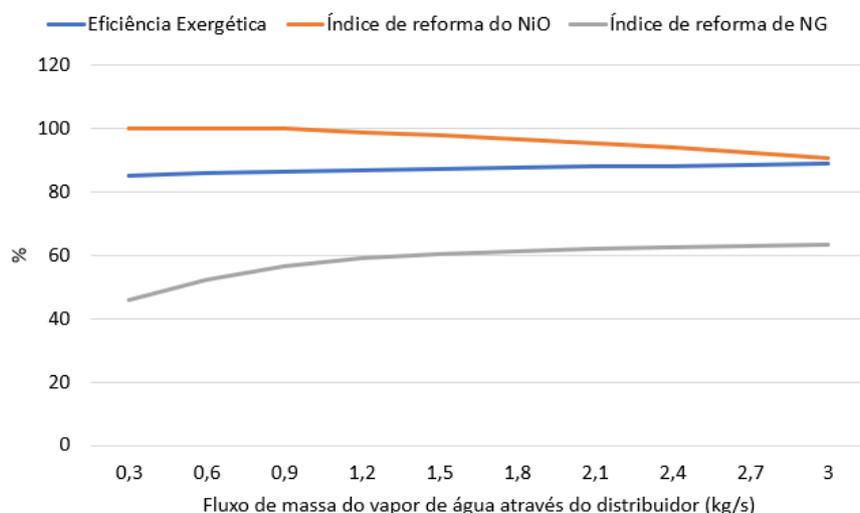


Figura 6: Gráfico relativo aos resultados obtidos ao variar a vazão de água no distribuidor

Para diferentes valores de pressão e temperatura de entrada dos gases foi possível observar que o comportamento dos parâmetros observados era similar, embora como leves variações.

A Figura 6 ao lado ilustra os resultados obtidos ao variar a vazão do vapor de água com vazão fixa de gás natural.

Para entender tais resultados, começamos com a reação R1. Assim, aumentos na concentração de vapor de água na mistura injetada no reformador devem, ao menos inicialmente, aumentar a produção de H₂ e CO, aumentando assim o índice de reforma. Essa influência perde efetividade para grandes diluições do GN.

Também, de acordo com a reação R2, aumentos na concentração de H₂O deve provocar aumentos na concentração de hidrogênio nos gases que deixam o reator. Devemos lembrar que a exergia de um gás aumenta com a entalpia sensível do mesmo bem como com a entalpia de combustão do mesmo.

Dado que a entalpia de combustão do H₂ é maior que a do CO, para temperaturas semelhante, a eficiência exergética do reator aumenta para maiores concentrações de água nos gases injetados nesse. Por outro lado, aumentos nas concentrações de H₂O na mistura de gases injetados no reformador afetam as reações R3 e R6, que dizem respeito à reforma do óxido de níquel. Esses aumentos fazem com que tais reações se desloquem para o lado dos reagentes, fazendo com que a eficiência da redução do NiO diminua.

Finalmente, aumentos na concentração de vapor do gás a ser reformado leva a deslocamentos no sentido dos reagentes nas reações R3 e R6. Isso provoca diminuições nos índices de conversão do NiO em Ni.

CONCLUSÕES:

O estudo da base matemática do simulador CeSFaMB, bem como o treinamento no uso desse foram completados. O processo termoquímico de geração de potência (TCR) foi também compreendido. Foram realizadas também as primeiras simulações do reformador.

Os resultados, desse trabalho preliminar, mostram que maiores eficiências de reforma da mistura de vapor de água e gás natural dependente do parâmetro priorizado. Caso a eficiência exergética seja o foco, o ideal seria ter o NG entrando no reator à baixa pressão e numa razão elevada entre os fluxos de vapor de H₂O e NG. Por outro lado, se o índice de reforma for priorizado, maiores pressões são aconselháveis.

Como proposto, esse projeto consiste apenas de uma otimização inicial do reformador, de formas que ainda há muito que pode ser otimizado. Em futuros trabalhos seria possível, por exemplo, refazer o estudo priorizando a temperatura da mistura de gases (GN e vapor de água) a uma constante, de modo a apenas variar a pressão. Também seria possível realizar estudos em cima da influência das dimensões básicas do reformador, de variações da temperatura da jaqueta, entre outros.

BIBLIOGRAFIA

1. Lloyd A., **Thermodynamics of chemically recuperated gas turbines**, Centerfor Energy and Environmental Studies. Princeton University, Report 256,1991.
2. Kesser K. F., Hoffman M. A., Baughn, **Analysis of a Basic Chemically Recuperated Gas Turbine Power Plant**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,1994,116,277.
3. de Souza-Santos M. L., **Solid Fuels Combustion and Gasification: Modeling, Simulation, and Equipment Operation**. 2nd ed.; CRC Press: New York, 2010.