

PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO: ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA.

André Vendas Alves Faustino, José Luz Silveira, Joaquim Antônio dos Reis – Energia – Engenharia de Produção Mecânica – Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.

A procura por fontes de energia renováveis e menos poluentes que os derivados do petróleo tem se tornado uma constante nos dias de hoje. Diversos países investem na pesquisa e desenvolvimento dessas formas de energia alternativa. Uma das formas de energia mais promissoras para um futuro próximo é a produção de energia através do hidrogênio, que é o elemento mais simples (apenas um próton e um elétron), abundante e leve do planeta, possui um alto poder calorífico inferior (PCI) e de sua combustão resultam apenas pequenas emissões e água quente. Se o processo de produção de hidrogênio for a partir de fontes renováveis torna-se um combustível ecologicamente correto. O hidrogênio está sempre associado a outros elementos e para obtê-lo é necessário gastar energia de dissociação de uma fonte primária qualquer. A principal forma de se obter energia do hidrogênio é através das células de combustível. A célula de combustível é um dispositivo eletroquímico que converte energia química em energia elétrica e térmica. Com funcionamento similar a uma bateria, utilizando um insumo energético e um oxidante para abastecer os eletrodos. No Brasil, o hidrogênio tem sido usado, como vetor energético, para geração distribuída de energia elétrica, no transporte urbano, coletivo e de carga, para o armazenamento de energia e atendimento a comunidades isoladas. Existem diversos processos para a produção de hidrogênio e várias tecnologias estão sendo pesquisadas e estudadas, sempre com o objetivo de terem um custo mais competitivo, sem provocar problemas ambientais e serem sustentáveis. Os processos de produção são divididos em três áreas principais: Eletrolítica, Fotolítica e Termoquímica.

Esta proposta visa efetuar estudos técnicos e econômicos de reformadores e outros, para a obtenção de hidrogênio conforme os diversos processos considerando os vários aspectos associados. O projeto consiste em estudar análises termodinâmicas (análise energética) e econômicas, associadas a um processo, estudando ainda a possibilidade de extensão dessas análises às demais formas de produção.

Para fazer a análise técnica e econômica, foi utilizado o processo termoquímico de reforma a vapor de etanol conforme a figura abaixo.

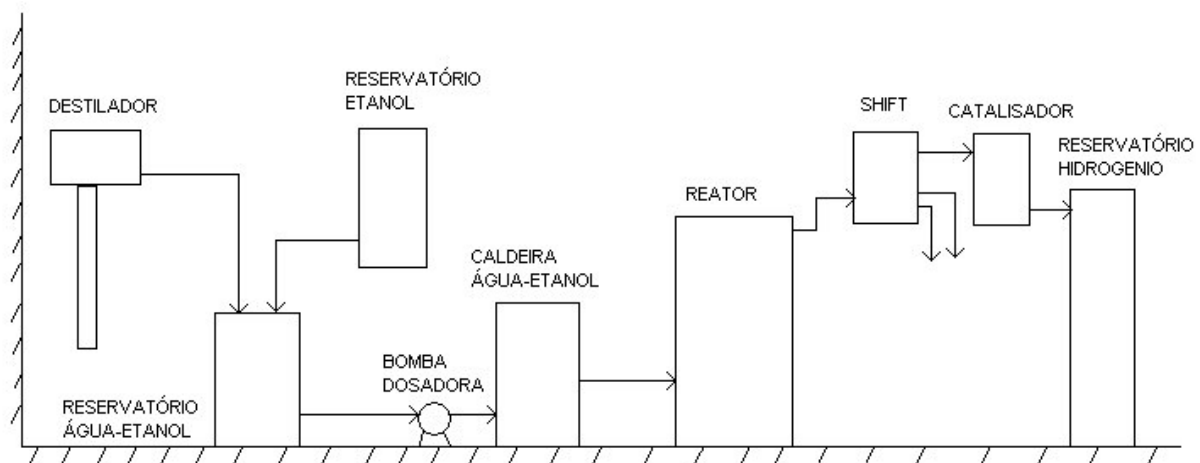


Figura 1 - O sistema de reforma a vapor de etanol

Na análise técnica, foram analisadas a constante de equilíbrio, grau de avanço e fração molar da reação global, e os resultados, para uma temperatura de operação de 600°C e a pressão atmosférica 1atm são apresentados na tabela 1 a seguir

Tabela 1: Constante de equilíbrio (K_{eq}), grau de avanço (α) e fração molar (χ) dos produtos da reforma a pressão de 1 atm (SOUZA, 2005)

Toperação (°C)	K_{eq}	α	χ H ₂ produzido	χ CO ₂ produzido	χ EtOH remanescente	χ H ₂ O remanescente
600	7,616E+9	0,9962	0,7486	0,2495	0,0005	0,0014

Foi também analisado o número de moles de etanol e de água necessários para a produção de 0,7m³/h de hidrogênio, com temperatura de 600°C e pressão atmosférica, o número de moles de dióxido de carbono e hidrogênio produzidos e o número de moles de água e etanol não aproveitados, cujos resultados estão na tabela 2.

Tabela 2 - Número de moles da reforma a 1 atm (SOUZA, 2005)

Toperação (°C)	Etanol	Água	Dióxido de Carbono	Hidrogênio	Etanol não aproveitado	Água não aproveitada
600	1,623	4,870	3,240	9,721	0,003	0,009

A análise econômica é afetada por alguns fatores como a flutuação do preço do etanol, da flutuação cambial, da possibilidade de obtenção de incentivos fiscais, taxa de juros, entre outros. Para essa análise, utilizou-se as equações de engenharia econômica e o preço do litro do etanol cotado em 17 de agosto de 2006, bem como o cambio do dólar. O custo de manutenção do reformador (C_{man}), assim como o custo de produção de hidrogênio (C_{H_2}) em função do período de amortização (k), fator de anuidade (f), componente de exergia química de uma espécie (q), taxa anual de juros (r) e horas de operação (5000, 6000, 7000horas/ano) estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 3 - Análise econômica da reforma a vapor de etanol

ETANOL								
Para k=1			5000		6000		7000	
r	q	f	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}
0	1,00	1,00	0,00233	0,09117	0,00194	0,08688	0,00166	0,08380
5	1,05	1,05	0,00245	0,09249	0,00204	0,08798	0,00175	0,08479
10	1,10	1,10	0,00256	0,09370	0,00124	0,07918	0,00183	0,08567
15	1,15	1,15	0,00268	0,09502	0,00223	0,09007	0,00191	0,08655
20	1,20	1,20	0,00280	0,09634	0,00233	0,09117	0,00200	0,08754
Para k=2								
r	q	f	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}
0	1,00	0,50	0,00116	0,07830	0,00097	0,07621	0,00083	0,07467
5	1,05	0,54	0,00125	0,07929	0,00104	0,07698	0,00089	0,07533
10	1,10	0,58	0,00134	0,08028	0,00112	0,07786	0,00096	0,07610
15	1,15	0,62	0,00143	0,08127	0,00119	0,07863	0,00102	0,07676
20	1,20	0,65	0,00152	0,08226	0,00127	0,07951	0,00109	0,07753
Para k=3								
r	q	f	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}
0	1,00	0,33	0,00078	0,07412	0,00065	0,07269	0,00055	0,07159
5	1,05	0,37	0,00086	0,07500	0,00071	0,07335	0,00061	0,07225
10	1,10	0,40	0,00094	0,07588	0,00078	0,07412	0,00067	0,07291
15	1,15	0,44	0,00102	0,07676	0,00085	0,07489	0,00073	0,07357
20	1,20	0,47	0,00111	0,07775	0,00092	0,07566	0,00079	0,07423
Para k=4								
r	q	f	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}
0	1,00	0,25	0,00058	0,07192	0,00049	0,07093	0,00042	0,07016
5	1,05	0,28	0,00066	0,07280	0,00055	0,07159	0,00047	0,07071
10	1,10	0,32	0,00073	0,07357	0,00061	0,07225	0,00052	0,07126
15	1,15	0,35	0,00082	0,07456	0,00068	0,07302	0,00058	0,07192
20	1,20	0,39	0,00090	0,07544	0,00075	0,07379	0,00064	0,07258
Para k=5								
r	q	f	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}	C _{MAN}	C _{H2}
0	1,00	0,20	0,00047	0,07071	0,00039	0,06983	0,00033	0,06917
5	1,05	0,23	0,00054	0,07148	0,00045	0,07049	0,00038	0,06972
10	1,10	0,26	0,00061	0,07225	0,00051	0,07115	0,00044	0,07038
15	1,15	0,30	0,00069	0,07313	0,00058	0,07192	0,00050	0,07104
20	1,20	0,33	0,00078	0,07412	0,00065	0,07269	0,00056	0,07170

Concluimos pela análise técnica que a reação global de reforma a vapor de etanol ocorre em altas temperaturas, acima de 479,85K (SOUZA,2005). Na análise econômica foi estipulado um custo de investimento segundo SOUZA (2005) e através do preço do litro do etanol e do cambio do dólar em Agosto de 2006, foi possível calcular o custo de produção do hidrogênio em US\$/kWh.

Conclui-se que quanto maior o período de amortização, menor a taxa anual de juros e menor o período de horas de operação por ano, o custo de produção de hidrogênio é menor.

O reformador a vapor de etanol é viável, pois o custo de produção de hidrogênio não é alto e o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol. O hidrogênio é um elemento com enorme poder energético e uma alternativa viável e segura para se tornar, no futuro, a principal fonte de energia da sociedade.

Referencias Bibliográficas

COSTA, G. J.; OLIVEIRA, E. A.; Produção de hidrogênio associado ao a co-geração: o uso de células de combustível.,2000;

SILVA, M. E. Análise termoquímica de reformador de etanol: produção de hidrogênio para acionamento de uma célula de combustível do tipo PEM de 1 kW, 2005;

SOUZA, A. C. C. Análise técnica e econômica de um reformador de etanol para produção de hidrogênio, 2005;

MARQUES, A. R.; AUGUSTO, A. F.; MONTEIRO, P. T.; O hidrogênio como vector energético nos transportes. 2004.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Efficient and Renewable Energy**. Disponível em : <<http://www.eere.energy.gov/>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2006.

Bolsa: CNPq/PIBIC