

USO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PLANTAS DE PRODUÇÃO DE AMÔNIA

F.V.TAVARES¹ e L.P.C.MONTEIRO²

¹Estudante de Pós-Graduação em Eng. Química - Universidade Federal Fluminense – E-mail: flaviovtavares@gmail.com

²Coordenadora e Professora do Mestrado Acadêmico em Engenharia Química – Universidade Federal Fluminense – E-mail: lucianemonteiro@predialnet.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta para a avaliação da eficiência energética em plantas de Amônia através de indicadores de desempenho das plantas. O acompanhamento do consumo de insumos na indústria pode levar a reduções nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) atrelado a ganhos de eficiência energética nas operações industriais. Ações de monitoramento contínuo focado na gestão por indicadores de desempenho relacionados a dados de emissões e ao consumo de recursos naturais poderão auxiliar em uma intervenção direta e eficaz e ser um gerador de ações de melhorias nos processos produtivos e/ou em condutas operacionais. Estas informações quando disponibilizadas para as equipes de operação, em conjunto com ações de gerenciamento voltadas para a melhoria contínua poderão propiciar ganhos de eficiência energética, redução nas emissões de gases do efeito estufa e tornar os processos produtivos mais lucrativos.

1.INTRODUÇÃO

Segundo dados da Society of Petroleum Engineers, a demanda mundial por energia deverá dobrar em 2050. Dados divulgados pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), mostram que as emissões globais de gases que causam o efeito estufa deverão aumentar em 50% até 2050, principalmente em razão da maior demanda por energia e do crescimento econômico dos grandes países emergentes. De acordo com a organização, emissões de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases que provocam o efeito estufa, deverão crescer 70% até 2050 em razão do aumento no uso de energia. A indústria é uma das maiores consumidoras de energia no Brasil e no mundo. Um insumo bastante comum e muito importante na indústria é o vapor d'água. Utilizado como meio de geração, transporte e utilização de energia. A geração de vapor é parte importante nas indústrias. Segundo Einstein et al (2001), cerca de 40% do combustível fóssil queimado na indústria dos EUA é direcionado para a geração de vapor sendo utilizado em processos de aquecimento, para concentrar e purificar líquidos, como também pode ser utilizado diretamente como matéria-prima.

A energia elétrica é um insumo essencial para a atividade industrial e a garantia de seu fornecimento, com qualidade, segurança e preços módicos, é fundamental para o desenvolvimento da economia e para o crescimento da produção industrial. O Brasil possui uma das maiores tarifas de energia elétrica do mundo. Contribui para o alto valor da tarifa os custos com geração, transmissão e distribuição, encargos setoriais, tributos e

perdas técnicas. Uma estratégia interessante na redução do consumo de insumos concentra-se na eficiência energética, tanto para sistemas novos quanto para os existentes. A eficiência energética pode ser encarada como uma solução interessante gerando retornos atraentes e imediatos, podendo também, proporcionar robustez na sustentabilidade e rentabilidade das operações. Um processo de gestão eficaz começa com uma compreensão e medição do consumo de energia e nas emissões de GEE e a incorporação desta análise nos processos de tomada das decisões.

2.USO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

A utilização de indicadores voltados para avaliação da eficiência energética de processos na indústria vem crescendo de importância no mundo e no país. Os resultados de uma análise de indicadores de eficiência energética poderão estar ligados a ações de planejamento estratégico, de gestão e tecnologia ambiental e de conservação de energia(Phylipsen et al, 1997).Na prática, cabe destacar que a aplicação da análise destes indicadores e sua relevância em descrever a interrelação existente entre eficiência energética e os recursos consumidos associam-se principalmente a fatores econômicos e político-ambientais dentro da indústria.

O uso de indicadores pode gerar impactos nos processos produtivos. Na indústria, a análise dos indicadores de eficiência energética pode auxiliar na definição de diretrizes relevantes, tais como: direcionar mudanças no consumo energético;estabelecer políticas de eficiência energética;indicar limitações estruturais que impactam no aumento da eficiência energética; substituição de processos tecnológicos;alteração no uso e na escolha das matérias prima que são utilizadas nos processos produtivos com o objetivo de reduzir a demanda por energia e, servir de ferramenta na avaliação de metas para políticas ambientais voltadas para reduções de emissões gasosas.

2.1Tipos de indicadores de eficiência energética

Os indicadores comumente utilizados para análise de eficiência energética na indústria podem ser subdivididos em quatro grupos:termodinâmico,físico-termodinâmico,econômico-termodinâmico e econômico.

Os indicadores que podem ser analisados segundo as leis da termodinâmica estão contemplados no primeiro grupo. Os indicadores físico-termodinâmicos são conhecidos também como indicadores específicos. Avaliam o consumo de um determinado insumo relativo a uma determinada saída (produção). O terceiro grupo fornece uma indicação na qual o produto final é mensurado a preços de mercado em relação as unidades termodinâmicas. O quarto grupo de indicadores avalia as modificações causadas pela eficiência energética, em termos monetários, podendo ser considerado para avaliação tanto a energia que entra, quanto a que sai de um determinado processo.

Indicadores termodinâmicos

A primeira lei da Termodinâmica, também conhecida como princípio de conservação de energia é um princípio geral que não diz respeito ao funcionamento interno do próprio sistema. Para o caso de sistemas isolados, a energia total inicial é igual à energia total do sistema no final do processo, qualquer que seja o caminho seguido pelo sistema para passar do estado inicial ao final. Nos processos reversíveis toda energia convertida de uma forma em outra pode ser aplicada para restaurar o sistema ao estado inicial, sem deixar quaisquer vestígios da ocorrência do processo. Nos processos irreversíveis tal restauração não é possível, porque ocorrem perdas na transformação de uma forma de energia em outra. Na realidade, a maioria dos processos industriais tem como desafio superar irreversibilidades. Qualquer transformação energética não deve ser associada a "perda" ou a "gasto" de energia, mas sim a uma degradação energética que impede de realizar, de novo, a mesma transformação, conforme decorre da aplicação da 2ª Lei da Termodinâmica. A utilização da primeira lei termodinâmica não propicia uma idéia realista de melhorias que podem ser realizadas em um dado sistema para que se obtenha um melhor desempenho. Não é feita a distinção entre fontes de elevada qualidade energética, que são mais eficientes e produtivas e fontes de baixa qualidade e menos produtivas (Abreu et al, 2010).

A segunda lei da termodinâmica parte do princípio que as diferentes formas de energia tem qualidades que lhes são características. A energia flui sempre de uma maneira que a entropia total do sistema aumente para sistemas irreversíveis. Nos processos industriais, de uma forma geral, o efeito da irreversibilidade pode ser verificado uma vez que a conversão de energia interna da biosfera (são exemplos recursos fósseis e físeis) passa necessariamente, diante das tecnologias existentes, pelo ciclo térmico irreversível e, portanto, caminha para o aumento da entropia (Abreu et al, 2010). Correntes defendem o uso de indicadores termodinâmicos, tendo como base de calculo a exergia. A exergia, como mostrada na equação (1) abaixo, é definida como o máximo trabalho teórico útil obtido quando um sistema é trazido ao equilíbrio termodinâmico com o ambiente por meio de processos nos quais este sistema interage somente com seu ambiente (Toxopeus et al, 2006).

$$ex = (h - h_o) - T_o * (s - s_o) \quad (1)$$

Conforme mostrado na equação acima, exergia (e_x) é dependente da entalpia (h e h_o) e entropia (s e s_o) e estas são função da temperatura (T), pressão, estado físico e composição. O índice subscrito representa as condições de entalpia e entropia nas vizinhanças do sistema. O conceito de exergia pode ser útil para analisar aspectos relacionados aos ciclos de vida dos produtos uma vez que o conteúdo exergético pode determinar o fluxo de energia perdido. Partindo-se de um balanço exergético para um sistema hipotético torna-se viável a construção direta de um indicador. A exergia (ex), apresentada na equação (2) abaixo, é a diferença entre o somatório dos fluxos exergéticos que entram no sistema ($\sum ex_e$) através de fontes de combustível e matérias primas, suas perdas ($\sum ex_s$) e o que é consumido no processo ($\sum ex_c$).

$$ex = \sum ex_e - \sum ex_s - \sum ex_c \quad (2)$$

Este indicador não faz distinção entre fontes renováveis e não renováveis. Esta análise pode ser útil para suportar decisões durante a fase de projeto de equipamentos e processos, do ponto de vista energético. Projetos com minimização da destruição de exergia possuem consumos energéticos menores. Além disso, esta alternativa provavelmente causará o menor impacto ambiental. Porém, segundo Szargut et al (1988) mesmo assim é impossível avaliar exatamente as perdas de exergias atribuídas à diferentes tipos de irreversibilidades, a menos que suposições arbitrárias sejam feitas com a finalidade de separar os fenômenos físicos e químicos.

Indicadores físico-termodinâmicos

Estes indicadores utilizam medidas físicas e termodinâmicas para mensurar o consumo requerido em função do seu uso final. O uso de indicadores físico-termodinâmicos para avaliação de desempenhos específicos para o consumo de energia pode ser útil para identificar áreas de baixo desempenho. A complexidade dos processos produtivos podem ser uma barreira em função da especificação das diferentes entradas e saídas de energia ligadas a diferentes linhas de produção. Na indústria, para reduzir falhas na medição entre o consumo de energia e a medida física (produção), este indicador deve ser gerido para medir a eficiência energética global do processo.

Indicadores econômico-termodinâmicos

Estes indicadores relacionam medidas usuais na indústria (medidas termodinâmicas) e a valoração deste insumo e/ou produto final, pois a energia a ser mensurada no sistema pode ser feita em unidades termodinâmicas convencionais e sua saída em valores monetários. Na prática, no sentido de se atingir uma economia efetiva de energia na instalação, três fatores adicionais devem ser considerados (Lozano e Valero, 1993): (i) nem toda irreversibilidade pode ser evitada; (ii) as reduções locais na destruição de exergia não são equivalentes; (iii) as oportunidades de economia só podem ser especificadas através de um estudo mais detalhado dos mecanismos fundamentais da geração de entropia. A percepção destes fatores levou ao surgimento de metodologias que relacionam a geração de irreversibilidade em um equipamento isolado com o restante dos equipamentos, através da definição do conceito de custo exergético. Concomitantemente, conjugam-se as análises termodinâmica e econômica, relacionando-se o custo monetário e o custo exergético, em um conjunto de metodologias às quais se denomina Termo-economia (Cerqueira, 1999). Em uma análise do custo exergético um custo é associado com cada fluxo de exergia. Considerando os fluxos de matéria entrando e saindo (c_e , c_s) com taxas associadas de transferência de exergia (B_s e B_e), potência (W), taxa de transferência de exergia associada com a transferência de calor (c_Q), um componente que recebe uma transferência de calor e gera potência, como também as expressões de taxa de custo, tem-se:

$$[\sum (c_s B_s)_k]_s + c_{w,k} W = c_{Q,k} B_{Q,k} + [\sum (c_e B_e)_k]_e + Z_k \quad (3)$$

As taxas de exergia (B_s e B_e e B_Q) saindo e entrando no k-ésimo componente, bem como a potência (W), são calculadas em uma análise exergética. O termo Z_k é obtido,

primeiramente, calculando o investimento de capital associado com o k-ésimo componente e, então, computando os valores particionados destes custos por unidade de tempo de operação do sistema.

Indicadores econômicos

Esses indicadores têm como característica principal a mensuração da energia de entrada e saída em valor monetário. Por ser uma categoria de indicadores puramente econômicos leva-se ao questionamento de ser ou não um indicador de eficiência energética. Por exemplo, o indicador econômico para uma indústria ou setor é determinado pelos preços dos produtos finais multiplicado pela quantidade total dos mesmos. Isso torna os valores finais encontrados através destes indicadores econômicos / energéticos vagos, se utilizados sozinhos sem outra análise complementar, porque os preços podem variar e a qualidade do produto também, não refletindo assim, a eficiência energética. Segundo estudo realizado por World Energy Council (2004), para definir e caracterizar a eficiência energética pode-se utilizar macroindicadores que reportam a economia como um todo, os principais setores ou somente os principais usos finais.

3-OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo da eficiência energética em plantas de produção de Amônia, utilizando como ferramenta, indicadores de desempenho físico-termodinâmicos.

4-METODOLOGIA

O cálculo da eficiência energética líquida considerou para o cálculo os termos referentes à produção anual de Amônia e a energia utilizada. Todas as alimentações e os combustíveis consumidos para uma planta de produção de Amônia foram considerados neste estudo. Para a contribuição das parcelas de energia no cálculo do indicador foram considerados as parcelas referentes à energia para a produção de Amônia, à energia utilizada para partida da planta, à energia consumida durante paradas não programadas, reduções de catalisador, dentre outras. Neste trabalho, a avaliação da eficiência energética em plantas de produção de Amônia considerou o desempenho anual em detrimento a eficiência dos projetos. Para viabilizar a análise entre as diferentes plantas foi necessário elaborar uma base comparativa. Esta normalização foi realizada em função das diferentes configurações das plantas analisadas, abaixo apresentadas:

- Eletricidade importada convertida em calor equivalente com 40% da eficiência de tomando como base o poder calorífico inferior do combustível;
- Importação e exportação de vapor corresponde a 90% da eficiência de conversão sendo considerado como referência vapor saturado a 15°C;
- A base considerada para produção de Amônia é 100% líquida na condição de pressão atmosférica (- 32°C);
- A energia para produzir e bombear água de resfriamento foi considerada na parcela de cálculo referente ao uso de energia;

- A parcela de energia para produzir e bombear água de alimentação para as caldeiras foi considerada no cálculo referente ao uso de energia;
Não foram realizados ajustes em função da diferentes tecnologias, clima, condições de catalisador ou problemas operacionais.

5-RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise da eficiência energética foram consideradas 50 plantas de Amônia e suas produções individuais anuais. O indicador de eficiência energética foi calculado conforme a equação (4), a seguir:

$$\text{Eficiência Energética: (GJ/t NH}_3\text{)} = \frac{MP + C + OUTROS}{PROD NH_3} \quad (4)$$

Onde, MP - é a conversão de matéria prima consumida em energia equivalente considerando o poder calorífico inferior; C - é a conversão de combustível utilizado no processo em energia equivalente considerando o poder calorífico inferior; OUTROS - são outras energias consideradas no processo tais como eletricidade e vapor importados, crédito por exportação de energia (por exemplo, vapor), geração e bombeamento de água para alimentação das caldeiras e água de resfriamento; PROD DE NH₃ - é a produção de Amônia expressa em toneladas. A parcela a produção de Amônia considerou a produção diária máxima em detrimento da capacidade de produção de projeto da planta. As plantas foram separadas em 3 categorias. Das 48 plantas avaliadas, 12 foram classificadas como pequenas com produção inferior a 1000 t/dia. 17 plantas foram consideradas como intermediárias apresentando produção entre 1000 t/dia e 1500 t/dia. E 19 plantas com produção superior a 1500 t/dia foram consideradas como grande. As capacidades de produção anuais das plantas de Amônia estão apresentadas no gráfico 1. A variação de produção ficou entre 91 000 t/ano e 749 800 t/ano.

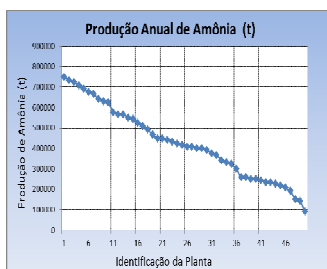


Gráfico 1: Produção Anual de Amônia (toneladas)

Os valores encontrados na avaliação do indicador de eficiência energética conforme gráfico 2 abaixo, ficaram entre 23,8 GJ/t NH₃ e 51,9 GJ/t NH₃. Das 50 plantas analisadas, sendo que duas delas utilizam hidrogênio puro ou gás rico em hidrogênio como matéria prima. Estas plantas normalmente apresentam índices de eficiência energética maiores se comparado com as outras plantas. Já as 48 plantas convencionais de Amônia utilizam matérias primas diversas como gás natural e óleo pesado oriundo do fracionamento de petróleo.

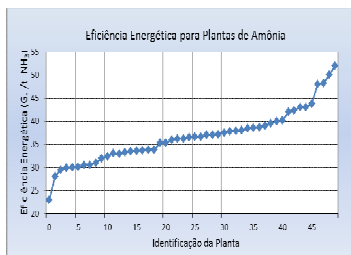


Gráfico 2: Eficiência Energética (GJ / t NH₃) para Plantas de Amônia

A relação entre capacidade e eficiência energética para as 48 plantas de Amônia convencionais é mostrada no gráfico 3.

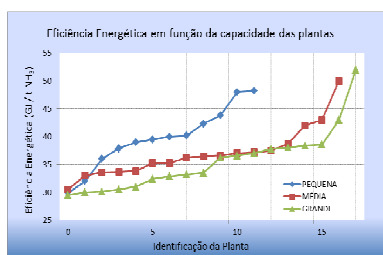


Gráfico 3: Eficiência Energética (GJ / t NH₃) em função da capacidade de Plantas de Amônia

Da análise do gráfico 35 verifica-se que existe uma relação entre a capacidade e a eficiência energética da planta. De uma forma geral, plantas com maior capacidade apresentam maior eficiência energética e plantas de menor capacidade são menos eficientes. No entanto, as melhores plantas em cada grupo apresentam índices de eficiência energética que variam entre 29,5 GJ/t NH₃ e 30,6 GJ/t NH₃ indicando que plantas com capacidade inferior a 1.000 t/dia podem ser eficientes. O gráfico 4 apresenta o cálculo do indicador de eficiência energética em função da idade de cada planta. A idade de cada planta varia entre 1,5 e 39 anos. As plantas foram divididas em três categorias. As classificadas como novas possuem idade inferior a 14 anos. As chamadas médias possuem idade entre 18 e 29 anos e as antigas acima de 30 anos.

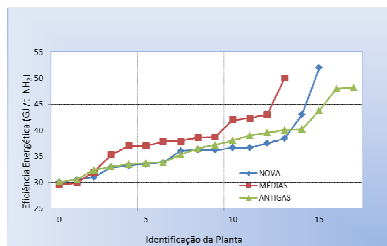


Gráfico 4: Eficiência Energética em função da idade das Plantas

Das 48 plantas de amônia convencionais analisadas, as plantas classificadas como novas apresentaram melhor média para o indicador de eficiência energética líquida 36,0 GJ/t NH₃ para 16 plantas analisadas neste grupo. As plantas classificadas com tempo de operação intermediário (14 plantas) apresentaram índice médio de 37,7 GJ/t NH₃. E as plantas com maior tempo de operação apresentaram um resultado médio de 37,4 GJ/t NH₃. As melhores plantas de cada grupo apresentam índices de eficiência energética

em cerca de 30 GJ/t NH₃. Esta observação indica que plantas com maior tempo de operação, através de modificações e melhorias nos processos podem operar com bons índices de eficiência energética.

6-CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação da eficiência energética para 50 plantas de Amônia através do uso de indicadores. Este indicador tomou como base a produção anual de Amônia e a medida da energia consumida considerando quantidades de energia equivalente no consumo de matérias primas, combustíveis e em outras formas presentes no processo (consumo de energia equivalente para a geração e distribuição de água de resfriamento, importação ou exportação de vapor, dentre outros). Foi criada uma base comparativa em função das diferentes configurações das plantas analisadas. Foram apresentados índices de eficiência energética em função do tempo de operação das plantas assim como a avaliação de eficiência energética em função da produção anual. Constatou-se que há uma relação direta entre capacidade de produção e eficiência energética. Outra constatação apresentada neste foi que plantas com longo tempo de operação apresentaram índices de eficiência energética comparados a plantas mais novas indicando melhoria em seus processos e em suas rotinas de operação. Do resultado da análise por indicadores pode-se obter uma ferramenta útil na avaliação da melhoria contínua dos processos do ponto de vista da eficiência energética.

7-REFERÊNCIAS

- ABREU, Y. V.; OLIVEIRA, M. A. G.; GUERRA, S. M. G. -Energia Sociedade e Meio Ambiente. EUMED.NET, Universidade de Malaga . (2010)
- CERQUEIRA, A. G. - Metodologias de Análise Termoeconômica de Sistemas; Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. (1999).
- ENISTEIN, D. -WORRELL, E. ; KHURSHCH, M.; Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials; Lawrence Berkeley National Laboratory , (2001)
- ENERGY EFFICIENCY: a worldwide review indicators, Policies evaluation -Relatório emitido pelo World Energy Council em colaboração com ADEME. (2004)
- INDUSTRIAL ENERGY, INDUSTRIAL EFFICIENCY: Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry- EnergyPolicy, v125 (1997)
- LOZANO, M. A., VALERO A. -Theory of Exergetic Cost: Energy, Vol. 18, . (1993)
- PHYLIPSEN, G. J. M.; BLOK, K.; WORRELL, E. - International comparisons of energy efficiency- Methodologies for the manufacturing industry . . (1997)
- SZARGUT J., MORRIS R. D., STEWARD F. R. -Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes. Springer-Verlag . (1988)
- TOXOPEUS, M. E., LUTTERS, E., HOUTEN, F. - Environmental Indicators & Engineering: an Alternative for Weighting Factors, 13th International Conference on Life Cycle Engineering, Vol. 75. (2006)