

## ANÁLISE DA PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ETAPA DE CONCENTRAÇÃO DE NITRATO DE AMÔNIO

OLIVEIRA, Matheus Coelho<sup>1</sup>

ARANHA, Elcio Rodrigues<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bolsista de iniciação científica e graduando do Curso Eng. Controle e Automação, IFSP, Cubatão, SP, matheuscoelholiveira@gmail.com, OLIVEIRA, **Matheus Coelho de Oliveira**.

<sup>2</sup> Docente do Câmpus Cubatão.

Apresentado no

2º Encontro de Pesquisadores de Iniciação Científica do IFSP, Campus Cubatão

**RESUMO:** Os recursos de energia são finitos o que promove diversas ações para que, com a eficiência energética, o dispêndio de energia nas etapas produtivas tenha sua taxa reduzida e os processos possam ser cada vez mais sustentáveis. A análise envoltória de dados, DEA, é uma metodologia que pode ser aplicada na análise de eficiência energética a partir dos valores de entrada e saída de uma etapa produtiva. No presente trabalho dados para análise de entrada, insumos: temperatura, vapor, pressão, volume de nitrato diluído e como saída, produto final: vazão e concentração de nitrato de amônio foram considerados a partir da base histórica de uma etapa produtiva. O trabalho proposto tem como objetivo identificar o cenário produtivo de menor custo para a etapa produtiva analisada. A busca do cenário de maior eficiência energética se dará a partir da aplicação de um modelo matemático que irá analisar os cenários produtivos quanto as variáveis de entrada, restrições do processo e produção de nitrato de amônio.

**PALAVRAS-CHAVE:** DEA, Nitrato de Amônio, Eficiência Energética e Modelo Matemático.

## INTRODUÇÃO

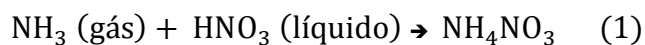
O nitrato de amônio é um composto químico de fórmula molecular  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , amplamente utilizado como fonte de nitrogênio e em misturas de fertilizantes. Ele é encontrado na cor branca, aparenta-se com o sal grosso  $\text{NaCl}$ , sendo obtido com a reação química entre a amônia gasosa e o ácido nítrico em solução aquosa. Possui seu uso, em fertilizantes, inseticidas, explosivos, herbicidas, gases analgésicos entre outros. O processo de produção de nitrato de amônio pode ser dividido em três grandes operações unitárias além da armazenagem: neutralização, concentração e solidificação (FISCHER, 1920; MAHADEVAN, 2013; SAEMAN; MCCAMY; HOUSTON, 2005).

Figura 1 - Processo de produção de nitrato de amônio



Fonte: Autores (2019)

O nitrato de amônio pode ser obtido através da neutralização do ácido nítrico diluído (normalmente entre 45% e 60% de concentração), a partir, da adição de amônia gasosa. Esta neutralização exotérmica é uma reação de alta velocidade e pode ser representada pela Equação 1.



O nitrato de amônio diluído produzido tem cerca de 83% de concentração. Uma etapa de extração de água é realizada para que o nitrato de amônio tenha sua concentração elevada para valores próximos a 95%. A etapa de concentração é composta por um conjunto de evaporadores que formam o núcleo desta etapa de processo (concentração do nitrato de amônio). A fonte de energia utilizada na etapa de concentração normalmente é o vapor e, dependendo da tecnologia produtiva, o vapor pode ser oriundo do processo de neutralização ou a partir de uma geração distinta (GOWARIKER; KRISHNAMURTHY, 2009; MAHADEVAN, 2013).

O nitrato possui em sua composição cerca de 34% de nitrogênio, sendo um produto sólido (perolado). A perolação é um processo, onde o nitrato de amônio é transformado em perolas ou grânulos. O último processo é a armazenagem. Esta etapa deve ser preferencialmente em área cobertas, ventiladas, secas, afastadas de outros materiais.

No processo de produção existem diversos setores, onde a aplicação de processos de eficiência energética pode ser considerada essencial, principalmente no Brasil, onde os malefícios do uso intensivo de energia, gera ao meio ambiente e pela fonte escassa de fontes renováveis.

Nos diversos processos produtivos, a eficiência energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações, como consequente melhoria da qualidade de produtos fabricados (COPEL, 2005).

No âmbito empresarial, o uso de energia elétrica faz parte de um conjunto de estratégias responsáveis pela redução de perda e racionalização técnico-econômica dos fatores de produção, ressaltando o caráter determinante que o suprimento de eletricidade apresenta na cadeia de processos produtivos e administrativos (YAN-FU; YE, 2006).

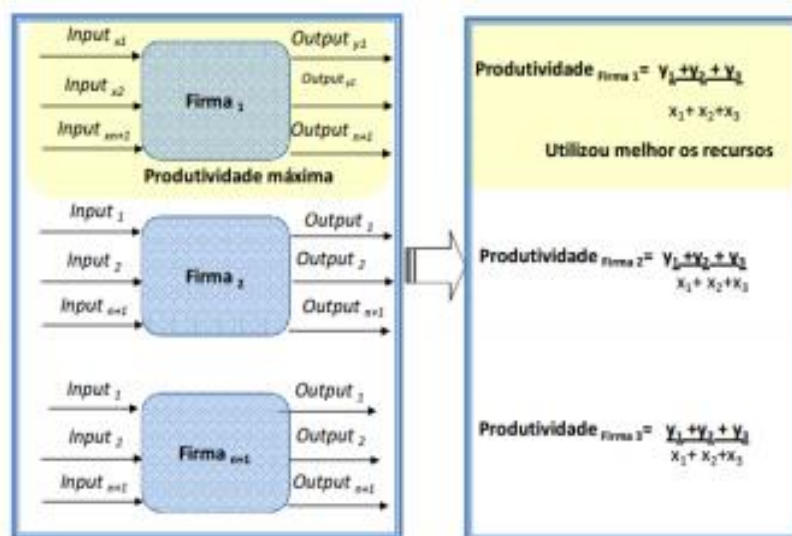
O conceito de eficiência descreve o desempenho de uma unidade de produção. De maneira geral, avaliações de produtividade e eficiência são muito focadas apenas na produtividade como indicador, segundo Gomes (2003) podem ser equivocados, por não considerarem outros recursos para a medida de eficiência, como mão de obra e insumos, variáveis relevantes para um ambiente produtivo.

A Data Envelopment Analysis (DEA) é uma técnica de programação matemática que busca analisar o desempenho, em termo de eficiência relativa, de diferentes unidades tomadoras de decisão a partir de um conjunto de entrada e saída (BEZERRA; ARAÚJO; SILVA; ALMEIDA, 2015).

O método é capaz de avaliar o grau de eficiência relativa de unidades produtivas que realizam uma mesma atividade, quanto a utilização de recursos, permitindo a análise de eficiência de unidades produtivas denominadas (DMU's – *decision making units*) com múltiplos insumo (inputs) e múltiplos produtos (outputs), por meio da construção de uma fronteira de eficiência.

A eficiência de uma unidade produtiva é medida através da comparação entre os valores analisados como ótimos de suas saídas e entradas. Essa comparação pode ser feita, pela quantidade mínima necessária de recursos em comparação com a quantidade de produtos gerados, a Figura 2 demonstra o processo de produção de três DMUS, com suas respectivas saídas e a unidade produtora com a melhor captação de recursos.

Figura 2 – Esquema para avaliação de eficiência



Fonte: BEZERRA et al. (2015)

As operações na etapa de produção de uma planta de nitrato de amônio demandam uma parcela importante de energia, com significativa contribuição na composição dos custos produtivos, da unidade operacional, para a manutenção da competitividade, as indústrias devem procurar reduzir seus custos operacionais. É possível definir um conjunto de indicadores de eficiência energética, com base em sistemas de apoio de decisão, de forma, a orientar os operadores na definição da melhor estratégia de produção, o trabalho proposto procura maneiras de quantificar métodos de tomada de decisão, com base no DEA, para a produção de nitrato de amônio, diminuindo custos e recursos necessários da etapa de produção.

## MATERIAL E MÉTODOS

Em geral, para uma etapa de produção que possui grande número de insumos e produtos, a eficiência tem como definição:

$$Eficiência = \frac{Soma\ ponderada\ dos\ produtos}{Soma\ ponderada\ dos\ insumos} \quad (2)$$

Uma maneira geral, para análise de eficiência foi proposto por Charnes et al. (1998) que a eficiência de unidade  $j_0$  poderia ser avaliada pela solução do seguinte modelo matemático.

$$Max\ h_0 = \frac{\sum_{r=1}^t u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^t u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad \forall r \text{ e } i \quad (5)$$

Onde:

$y_{rj}$  = total de produtos  $r$ , proveniente da unidade produtiva  $j$ .

$x_{ij}$  = total de insumos  $i$ , proveniente da unidade produtiva  $j$ .

$u_r$  = peso dado aos insumos  $r$ .

$v_i$  = peso dado aos produtos  $i$ .

$n$  = número de unidades produtivas.

$t$  = número de produtos.

$m$  = número de insumos.

$\varepsilon$  = número pequeno e positivo (tolerância).

Onde a eficiência  $j_0$  é maximizada, sujeito a restrição de que a medida de eficiência de todas as unidades produtivas, sejam menores ou iguais a 1. A principal característica do modelo é que os pesos  $u_r$  e  $v_i$  sejam tratados como incógnitas e foram escolhidos para que a eficiência  $j_0$  fosse maximizada, caso seja igual a 1 é considerada eficiente, caso contrário ineficiente. Para o cálculo de eficiência de uma DMU, resolve-se um problema dual da seguinte forma.

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \quad (6)$$

Sujeito a:

$$-y + Y\lambda \geq 0 \quad (7)$$

$$\theta x_i - X\lambda \geq 0 \quad (8)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (9)$$

Onde:

$y$  = produto da DMU sob análise.

$x$  = insumo da DMU sob análise.

$X$  = matriz de insumos  $K \times N$ .

$Y$  = matriz de produtos  $M \times N$ .

$\theta$  = um escalar que multiplica os vetores dos insumos.

$\lambda$  = vetor  $N \times 1$  de constantes que multiplica a matriz de insumos e produtos.

$N$  = número de DMUs.

Para que a DMU seja considerada eficiente  $\theta$  tem que ser igual a 1. Os modelos abordados, são utilizados para solução de problemas que envolvem unidades produtoras, aplicadas ao DEA, esses modelos matemáticos servirão como base para o projeto, de forma, a analisar as variáveis de entrada e saída fazendo comparações e verificando a sua eficiência.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa proposta utiliza, para a análise e modelagem matemática o processo de produção de nitrato de amônio, com base, na análise envoltória de dados. A pesquisa está em fase de desenvolvimento, não se encontra concluída é esperado, até a data do congresso, que o descritivo dos indicadores de desempenho, para o processo de produtivo, possa ser representado por meio de um software, que possa correlacionar os dados de forma a serem validados pelas métricas e boas práticas produtivas. Espera-se que, a partir, das comparações dos dados de entrada e saída dos diversos momentos produtivos da planta produtiva seja possível estabelecer um racional, que habilite aos operadores e gestores suporte nas melhorares métricas para produção e eficiência energética.

## CONCLUSÕES

A análise envoltória de dados (DEA) é uma ferramenta que possibilita estimar a eficiência de um processo produtivo e pode ser aplicado na produção de nitrato de amônio. Com a metodologia abordada é possível identificar cenários produtivos menos eficientes e, a partir, destes indicadores, gastos desnecessários de insumos que possam ser combatidos e minorados pelos gestores da etapa produtiva. O método proposto por Charnes pode ser utilizado e permite a análise de eficiência de uma unidade produtiva e a parametrização de um modelo matemático que servirá de base para elaboração de um projeto de monitoramento dinâmico das variáveis de processo com base na eficiência energética. Aplicação de novas técnicas no controle de processos podem reduzir o consumo dos finitos recursos de energia e desta forma propiciar ações para que, com a eficiência energética, o dispêndio de energia nas etapas produtivas tenha sua taxa reduzida e os processos possam ser cada vez mais sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

BEZERRA, ARAÚJO, SILVA, ALMEIDA. (2015). A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS(DEA-DATA ENVELOPMENT ANALYSIS) COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS MPES DA CADEIA PRODUTIVA DO PRETRÓLEO E GÁS DO RN . CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, Acesso em 20 de 07 de 2019, disponível em: [http://www.inovarse.org/sites/default/files/T\\_15\\_596.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_596.pdf)

COPEL. (2005). MANUAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA. CONTRA-CAPA. Acesso em 01 de JULHO de 2019.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, v.2, 1978.

FISCHER, Herman Edward. THE NITROGEN INDUSTRY.\*Journal of the Franklin Institute. [s.l.] : Pergamon, 1920.

GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; BIONDI NETO, L. Avaliação de Eficiência por Análise de Envoltória de Dados: conceitos, aplicações à agricultura e integração com sistemas de informação geográfica. - Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003.

GOWARIKER, V. R. (Vasant R. ...; KRISHNAMURTHY, V. N. The fertilizer encyclopedia. [s.l.] : John Wiley & Sons, 2009.

MAHADEVAN, Erode G. Ammonium Nitrate Explosives for Civil Applications. [s.l.] : Wiley, 2013.

SAEMAN, W. C.; MCCAMY, I. W.; HOUSTON, E. C. Production of Ammonium Nitrate by Continuous Vacuum Crystallization. Industrial & Engineering Chemistry, [s. l.], v. 44, n. 8, p. 1912–1915, 2005.

YAN-FU, Z.; YE, L. The Research of Customer Relationship Management of Power Supply Enterprises. In: 2006 International Conference on Power System Technology. Anais. IEEE, out. 2006.