

# FATORES IMPACTANTES E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MAIS USADA PELAS PLANTAS DE PRODUÇÃO DE ETENO

Emerentino Quadro<sup>1,2</sup>, Lilian Lefol Nani Guarieiro<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, 41650-010, Salvador, BA, Brasil

<sup>2</sup>Braskem, Rua Eteno, 1561, Pólo Petroquímico de Camaçari, 42810-000 BA, Brasil

<sup>3</sup>INCT de Energia e Ambiente, UFBA, 40170-290 Salvador, BA, Brasil

E-mails: lilian.guarieiro@fieb.org.br, emerentino.quadro@braskem.com

## RESUMO

Dada a importância estratégica do consumo energético para uma planta industrial de pirólise de nafta, esta deve ser uma preocupação desde o projeto da planta até o dia-a-dia da operação e do acompanhamento de processo, já que se trata do seu segundo maior custo variável. O objetivo deste trabalho é avaliar as limitações da metodologia de cálculo do indicador (ou índice) de eficiência energética mais usado pelas plantas petroquímicas atualmente. Esta metodologia permite comparar as plantas petroquímicas quanto à sua eficiência energética, apesar de suas particularidades, envolvendo tipos de carga, idade tecnológica, capacidade de produção ou matriz energética. Assim, olhar para dentro do volume de controle é essencial para o entendimento dos fatores que impactam na eficiência energética da planta e na elaboração de um plano de otimização energética, uma vez que pequenas melhorias no processo podem ser decisivas para o aumento da competitividade deste negócio que compete em escala global. De modo a facilitar a “dissecação” deste índice, são apresentadas algumas avaliações das variáveis de um processo típico de pirólise de nafta que mais influenciam na eficiência energética destas plantas.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos dos produtos que caracterizam o estilo de vida contemporâneo possuem compostos derivados do petróleo (carros, combustíveis, vestuário, telefones celulares, utensílios domésticos, computadores, invólucros plásticos, materiais de construção civil, fertilizantes, cosméticos etc). Na cadeia de indústrias envolvida nesta transformação, a indústria petroquímica de primeira geração é a responsável pela produção dos monômeros que são a base da produção de resinas [1]. Os principais monômeros são benzeno, para-xileno, butadieno, isopreno, propeno e o principal deles, o eteno.

A capacidade instalada de uma planta de pirólise de nafta ou de etano é medida pela sua capacidade nominal de produção anual de eteno. A capacidade instalada no mundo supera os 140 MTY (milhões de toneladas de eteno por ano) [2]. O processo básico criado em meados do século XX pela indústria petroquímica (Exxon Mobil) para a pirólise da nafta ou de etano ou gás de xisto na presença de vapor d'água não tem mudado conceitualmente nos últimos setenta anos [3].

Porém, devido à sua escala, pequenas melhorias no processo, com resultados marginais nos índices de eficiência energética ou de conversão da matéria prima em produtos de mais alto valor agregado, impactam significativamente no resultado financeiro da operação industrial. Os principais custos variáveis de uma indústria petroquímica são a matéria prima, seguida pela energia [4].

Com relação à matéria prima, uma vez que seu preço é determinado pelo mercado internacional e influenciado pela conjuntura geopolítica mundial, o foco deve ser no seu perfil cromatográfico (composição química e teores de contaminantes), de modo que se adapte melhor ao perfil desejado de produção [5]. Atenção também é dada às condições de processo da pirólise, visando maximizar o valor agregado do conjunto de produtos resultantes deste processo.

Quanto ao consumo energético, há aspectos importantes envolvidos, por exemplo, a fonte de energia a ser utilizada (carvão, gás natural, óleo combustível, gás combustível proveniente da própria pirólise, biomassa etc) e a tecnologia empregada no processo. A eficiência energética é uma preocupação que deve estar presente desde o projeto da planta até o dia-a-dia da operação da unidade industrial [6]. Este é um campo de atuação fundamental do acompanhamento de processo e da operação da planta, principalmente porque geralmente há um vasto campo de otimização e também muitas oportunidades de perdas a serem evitadas [6,7]. O consumo energético é ainda importante porque guarda proporcionalidade com a emissão de efluentes gasosos, que contêm compostos que aumentam o efeito estufa e é uma preocupação crescente atualmente.

A eficiência energética de uma planta de pirólise é um fator determinante para a sua competitividade, particularmente no Brasil, onde o custo da energia está entre os mais altos do mundo [8]. A depender da matriz energética do complexo industrial no qual a planta de pirólise está inserida, os principais insumos energéticos podem ser carvão, óleo combustível e, normalmente em menor proporção, energia elétrica. Porém, em geral, a maior parte do consumo energético se dá na forma de gás combustível produzido pela própria planta e gás natural. Atualmente o preço do gás natural dos Estados Unidos é US\$ 4,5/MMBTU [9], enquanto no Brasil seu preço chega a US\$ 12,0/MMBTU [10]. O recente advento do gás de xisto (*shale gas*) nos Estados Unidos tem contribuído para a redução do custo da energia americana [11].

A título de ilustração, para que se tenha uma percepção da intensidade de consumo energético de uma unidade de pirólise típica, são requeridos cerca de 7 Gcal para se produzir 1 ton de eteno. Em outras palavras, uma única moderna planta de produção de eteno (megacracker) com capacidade superior a 1,0 MTY, consome energia equivalente a 2 milhões de residências. De uma forma geral pode-se dizer que o consumo energético é responsável por cerca de 70 a 80% dos custos operacionais de uma planta de pirólise (excluindo-se custos com matéria prima).

Neste contexto, foram analisadas e discutidas as limitações da metodologia de cálculo de eficiência energética mais usada pelas plantas de produção de eteno no mundo e detalhados os pontos do processo de *steam cracker* da nafta que mais impactam no índice de eficiência energética de uma planta.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Caracterização de uma planta de pirólise que será utilizada para avaliação da metodologia proposta

A Figura 1 apresenta um diagrama com a configuração básica de uma planta de pirólise de nafta tipo *tail end*, que pode ser seccionada em (i) fornos, (ii) fracionamento primário, (iii) compressão de gás de carga e (iv) área fria. Normalmente a maior parte da energia consumida pela planta de pirólise, cerca de 70%, é demandada pelos fornos de pirólise [12].

Nos fornos de pirólise todos os produtos são formados para serem posteriormente separados e purificados. A reação de pirólise é endotérmica, o mecanismo de reação é por radicais livres e demanda altas temperaturas (entre 810 e 860°C), A temperatura de pirólise, conhecida como COT (*Coil Outlet Temperature*), define o perfil de produção da unidade industrial. A reação de pirólise acontece no interior de serpentinas localizadas na caixa de radiação de fornos de pirólise e ocorre em fase gasosa na presença de vapor d'água. A função do vapor d'água é diminuir a pressão de vapor dos compostos olefínicos e diolefínicos que, nas temperaturas praticadas, tendem a formar coque que se acumulam nas paredes internas das serpentinas, comprometendo o desempenho do forno, limitando a sua campanha, intervalo compreendido entre as execuções dos procedimentos de decoqueamento destes fornos [12,13].

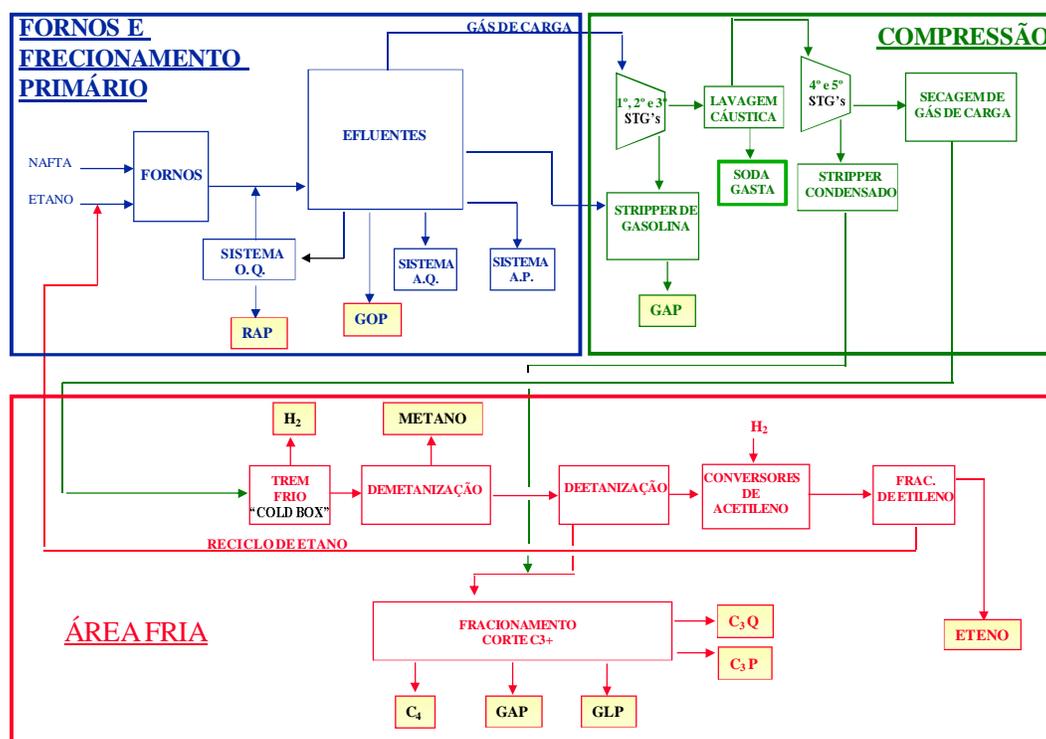


FIGURA 1. Configuração básica de uma planta de pirólise nafta tipo *tail end*. (Fonte: Autor).

Um fator importante no projeto dos fornos de pirólise é o tempo de residência dos hidrocarbonetos no interior da serpentina, que nas plantas mais modernas é inferior a 0,5 s. Tempos de residência maiores resulta na degradação dos compostos de alto valor agregado (HVC, do inglês *High Value Chemicals*) já formados no forno de pirólise, fenômeno denominado *overcracking*, e também aumenta a taxa de formação e deposição de coque na serpentina [14].

Na área de fracionamento primário parte da energia utilizada nos fornos de pirólise é recuperada através da geração de vapor e aquecimento de outras correntes internas da planta, inclusive a vazão de carga dos fornos de pirólise.

Na área de compressão, a fração conhecida como gás de carga (hidrogênio e os hidrocarbonetos com até cinco átomos de carbono) tem sua pressão aumentada de valores inferiores a 1 kgf/cm<sup>2</sup>g para pressões superiores a 32 kgf/cm<sup>2</sup>g, cujo valor depende da tecnologia da planta. Em última instância, a compressão supre a energia potencial necessária ao fluido para que ele possa ser processado na área de fracionamento criogênico. Além disso, a área de compressão retira o dióxido de carbono presente no gás de carga através de lavagem do gás com uma solução cáustica e ainda retira umidade do gás de carga por adsorção até que o teor de água no gás esteja abaixo de 1 ppmv.

Na área fria, o gás de carga é fracionado em seus principais compostos (eteno, propeno, hidrogênio e fração com quatro átomos de carbono) e cada uma destas frações é especificada quanto aos parâmetros requeridos. O consumo de energia nesta área se dá principalmente pelos compressores de fluido refrigerante. O conceito é semelhante ao de um refrigerador doméstico, onde um gás é comprimido e condensado com o uso de *air cooler* ou trocadores de calor com água de resfriamento. Este fluido refrigerante condensado ao se vaporizar e expandir posteriormente proporciona o frio necessário para a separação criogênica de metano e hidrogênio, além de permitir a condensação dos vapores de topo da torre deetanizadora e torre fracionadora de eteno-etano [15].

## 2.2 Cálculo da eficiência energética global

O indicador de eficiência energética de uma planta industrial de pirólise da nafta pode ser medido de diversas maneiras. A forma mais difundida e preconizada para esta medida é a metodologia desenvolvida pela Solomon Associates®, empresa que realiza pesquisas comparativas entre mais da metade das plantas de pirólise do mundo e define *benchmarks* para este segmento industrial. A forma de cálculo da eficiência energética de uma planta industrial é referenciada pela Solomon como Índice de Intensidade Energética (EII – *Energy Intensity Index*) [16].

Esta forma de cálculo define a eficiência energética como sendo a razão entre a quantidade de energia líquida consumida (energia consumida menos a energia exportada, expressa em kilocalorias, kcal) e a quantidade, em quilogramas, produzida de produtos de alto valor agregado, que serão aqui chamados de HVC (*High Value Chemicals*, que totaliza a produção de eteno, propeno, benzeno, butadieno e hidrogênio), durante um determinado período. Este conceito está ilustrado esquematicamente na Figura 2.

Para a quantificação da energia consumida são considerados os insumos energéticos primários adquiridos, produzidos e consumidos, tais como: energia elétrica comprada da concessionária, óleo Combustível, gás natural e combustíveis internos consumidos. Da quantidade total de energia consumida é deduzida a parcela da energia eventualmente vendida, na forma de vapor, energia elétrica ou combustíveis líquidos e gasosos.

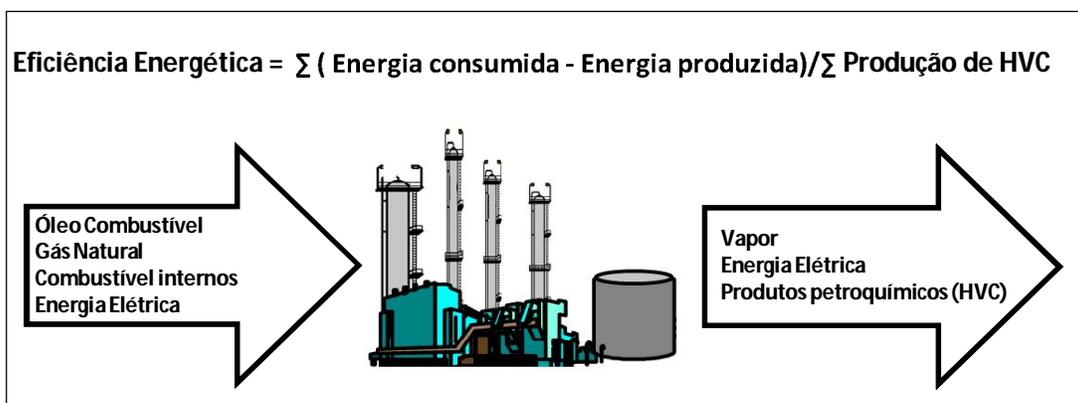


FIGURA 2. Indicador (ou Índice) de Eficiência Energética. (Fonte: Autor).

A unidade de pirólise tem consumo intensivo de energia, principalmente na forma de gás combustível (cerca de 80% de seu consumo total de energia). De uma forma geral, a maior parte do gás combustível consumido é produzida pela própria unidade de pirólise, complementado eventualmente por gás natural ou óleo combustível. Um parâmetro a ser utilizado para a conversão da quantidade de óleo ou gás combustível em energia é o poder calorífico inferior (PCI) de cada combustível utilizado.

O vapor superaquecido utilizado nas turbinas dos compressores de gás de carga e máquinas refrigerantes tipicamente tem pressões superiores a 40 kgf/cm<sup>2</sup>g, podendo chegar a 120 kgf/cm<sup>2</sup>g. Assim, é necessário associar as vazões de vapores produzidos e consumidos às suas respectivas entalpias. Normalmente as unidades de pirólise são exportadoras de vapores de pressões inferiores e de condensado de vapor, constituindo-se num crédito para o seu balanço energético.

A Energia elétrica tem participação relativamente pequena no balanço energético, podendo ser exportadora ou importadora, a depender da existência de equipamentos geradores de energia elétrica (por exemplo, turbina a gás).

Neste sentido a medida da eficiência energética de uma dada planta é comparada com o resultado do conjunto das plantas, estratificado em quartis, considerando diversos fatores, entre eles, tecnologias empregadas, escala e tipo de matéria-prima.

### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A medida de EII tem foco nas fronteiras da planta, tendo pouca penetração no processo, condição necessária para sua aplicação generalizada. Considerando processos similares, conceitualmente parecidos, algumas variáveis-chaves para a eficiência energética, internas do processo, não são tratadas. De maneira análoga, pode ser comparado a um exame de sangue, onde é feito um leucograma e um hemograma; um eventual desvio do padrão pode ser resultado de muitos fatores, justificando uma investigação mais detalhada.

Outro aspecto a ser considerado é a integração da planta que está sendo avaliada com o complexo industrial. As plantas industriais compõem uma cadeia e algumas delas situam-se em um mesmo complexo e pertencem a um mesmo grupo empresarial, compartilhando facilidades e trocando insumos energéticos, de modo a capturar sinergias. Como resultado, algumas vezes pode ser interessante para o complexo um determinado *set up* de operação de uma dada planta,

que resulta na redução de sua eficiência energética, mas aumenta a eficiência energética do complexo industrial no qual ela está inserida.

Desta forma, é fundamental interpretar adequadamente o EII. De modo a facilitar a “dissecação” deste índice. Assim, a seguir são apresentadas algumas avaliações das variáveis de um processo típico de pirólise de nafta que mais influenciam na eficiência energética destas plantas.

### *3.1 Descrição e avaliação das variáveis mais impactantes do processo na eficiência energética de uma planta de pirólise de nafta*

Além de informações da literatura, fundamentam este tópico os resultados de simulações computacionais e análise de dados de plantas industriais realizada pelos autores.

#### *3.1.1. Influência da vazão de carga sobre a Eficiência Energética*

Uma vez que geralmente o consumo energético não guarda relação linear com a vazão, uma redução da carga da planta penaliza a eficiência energética da unidade. Simetricamente, dados de plantas industriais [16] mostram que o aumento do uso da capacidade instalada de uma dada planta industrial resulta em um aumento do consumo energético inferior ao aumento da carga desta planta, aumentando assim sua eficiência energética. Os principais estão listados a seguir.

##### *i. Perdas de calor através dos isolamentos térmicos*

Tanto o isolamento térmico a quente quanto a frio são projetados obedecendo a critérios ocupacionais e econômicos. Isto é, a transferência térmica projetada é comparada com o custo do isolamento e com parâmetros de segurança. Esta troca térmica é constante, independente da carga da unidade. É difícil quantificar diretamente esta perda térmica. Ela se manifesta no aumento da importação (ou redução de exportação) de determinados energéticos.

O estado de conservação dos isolantes térmicos deve ser um item a ser monitorado periodicamente pela equipe responsável pela inspeção. Além dos aspectos energéticos, isolamentos térmicos defeituosos podem proporcionar um ambiente propício para a Corrosão Sob Isolamento (CSI), importante mecanismo de corrosão em plantas industriais.

##### *ii. Exigências de especificação e hidráulica de torres de destilação*

A quantidade, diâmetro e característica dos pratos de uma torre de destilação são projetados para uma determinada faixa de vazão de refluxo, abaixo da qual pode resultar em operação com prato de destilação parcialmente seco ou com baixo nível de líquido, acelerando o processo de polimerização e levando a perda de fracionamento. Com isto, a energia térmica demandada pelo refeedor das torres de destilação e pelo condensador dos vapores de topo não será reduzida na mesma proporção da carga da planta de pirólise.

##### *iii. Redução da eficiência térmica dos fornos de pirólise*

A energia elétrica consumida pelo ventilador de tiragem induzida (VTI), o vazamento de ar para dentro do forno e a perda de calor pelas suas paredes não guardam uma relação linear com a carga do forno. Para minimizar tais perdas, fornos são retirados de operação para manter os restantes com carga plena. Isto é possível porque uma planta de pirólise em geral possui diversos

fornos (cinco a doze fornos, a depender da capacidade de cada um deles), sendo que um destes fornos está disponível para manutenção, inspeção ou procedimento de decoqueamento.

*iv. Recirculação das grandes máquinas para manutenção de vazão mínima*

Este é um dos principais impactos energéticos decorrentes da baixa ocupação da capacidade instalada. De forma a manter uma vazão volumétrica mínima pelo compressor de gás de carga e pelos compressores de fluido refrigerante, há sistemas automáticos que abrem válvulas de recirculação para prevenir o fenômeno de surge nestas máquinas, fazendo com que haja sempre uma vazão mínima fluindo pelo compressor, independente da carga da unidade.

3.1.2. Eficiência energética dos fornos de pirólise

Os fornos de pirólise concentram a maior parte do consumo energético da planta de pirólise, por esta razão o acompanhamento de processo dos fornos de pirólise é fundamental para a otimização energética da planta [17]. Os principais parâmetros a serem observados são os seguintes:

*i. Temperatura de chaminé.*

Este é um parâmetro chave para avaliação da eficiência térmica do forno. A princípio, é possível definir em que patamar de eficiência energética um forno de pirólise se encontra somente se analisando sua temperatura de chaminé. Há uma referência comumente adotada pelas empresas de projeto de fornos de pirólise, segundo a qual a eficiência do forno cai 1 ponto percentual a cada 12°C de aumento da temperatura de chaminé.

*ii. Temperatura de saída de TLE.*

Os gases efluentes dos fornos de pirólise precisam ser rapidamente resfriados para evitar o *overcracking*, que leva à degradação dos compostos de alto valor agregado. Este resfriamento se dá em trocadores de calor especiais, chamados TLE's (*Transfer Line Exchangers*) que ao resfriar os gases pirolisados produz vapor de super alta pressão, consumidos principalmente nas turbinas que acionam os compressores de gás de carga e fluido refrigerante. A temperatura dos hidrocarbonetos na saída dos TLE's é, portanto, outro fator determinante da recuperação energética dos fornos. Quanto maior esta temperatura, menor a geração de vapor. Compatibilizar a campanha destes trocadores de calor com a recuperação energética é algo que deve ser perseguido pelo grupo de acompanhamento da planta.

*iii. Teor de monóxido de carbono e oxigênio nos gases de combustão.*

A análise dos gases de combustão dão um indício de como está a queima dos gás combustível e também uma medida de eventuais infiltrações indesejáveis de ar na caixa de radiação ou na convecção. Um alto valor de monóxido de carbono pode ser um indício de queima sub-estequiométrica, já um alto valor de oxigênio pode indicar infiltração de ar (a caixa de radiação operação por pressão manométrica levemente negativa). Em ambos os casos, o resultado é um consumo energético acima do ideal.

*iv. Razão entre vapor de diluição e carga de hidrocarbonetos.*

A diluição dos hidrocarbonetos com vapor d'água, antes de ser alimentado aos fornos de pirólise, é necessária para garantir a campanha desejada para o forno e também para maximizar a

seletividade da pirólise em compostos de alto valor agregado. Porém, o uso de vazões de vapor que resultem em razões de diluição DS/HC (*dilution steam/hydrocarbon*) acima do valor de projeto implica em perdas energéticas. Esta perda energética ocorre porque parte da energia dispendida para aquecer o vapor de água de cerca de 165°C (a depender da pressão do vaso gerador de vapor de diluição) até aproximadamente 840°C durante o processo de pirólise da nafta é descartada para o sistema de água de resfriamento.

### 3.1.3. Eficiência energética do fracionamento primário

#### *i. Temperatura de fundo da Fracionadora Primária.*

A temperatura de fundo da Fracionadora Primária, torre onde as frações de óleos mais pesados são separadas, está relacionada com a recuperação energética do calor remanescente dos TLE's. Quanto menor a temperatura de fundo desta torre maior será a quantidade de energia que será descartada para a água de resfriamento e menor será a quantidade de energia utilizada para serviço útil, tais como geração de vapor de diluição para os fornos e pré-aquecimento da carga dos fornos de pirólise e de água de caldeira para geração de vapor.

O valor ideal desta temperatura depende do projeto de cada planta. O controle desta temperatura é conseguido através de uma boa gestão da campanha dos trocadores de calor do circuito de óleo de fundo da Fracionadora Primária, de forma a mantê-los sempre limpos [6]. Além do impacto em consumo energético, uma alta temperatura de fundo da Fracionadora Primária também resulta em degradação química e conseqüentes dificuldades no controle da viscosidade do óleo circulante, que é um fator crítico para a operação da planta.

Uma ação normalmente adotada visando a otimização energética é a minimização da pressão do sistema de geração de vapor de diluição para os fornos de pirólise. Uma vez que ele se encontra em equilíbrio líquido-vapor, reduzir pressão significa reduzir temperatura, aumentando o LMTD (*log mean temperature difference*, ou diferença de temperatura média logarítmica) dos trocadores geradores de vapor de diluição que usam o óleo circulante como fluido de aquecimento. Aumentar a vazão de circulação do óleo também ajuda a aumentar o coeficiente de película nos trocadores deste circuito, maximizando a troca térmica.

#### *ii. Temperatura de topo da torre de água de quench.*

Este parâmetro da área de efluente efetivamente irá impactar no consumo energético da área de compressão. Quanto maior esta temperatura, maior será o envio de hidrocarbonetos pesados para o compressor de gás de carga que será posteriormente condensado nos vasos inter-estágios do compressor e retornado para a torre de água de quench, caracterizando uma recirculação indesejável. A gestão adequada do desempenho dos resfriadores de água de quench, mantendo-os sempre com um nível de sujeira admissível, garantirá que este parâmetro esteja dentro de uma faixa aceitável [6].

### 3.1.4. Eficiência energética da área de compressão

#### *i. Eficiência politrópica dos compressores.*

O principal parâmetro de acompanhamento da eficiência energética dos compressores de gás de carga e de fluido refrigerante é a eficiência politrópica, que traduz as ineficiências de um processo real de compressão. Quanto maior a quantidade de sujeira nos internos do compressor, maior será a fricção entre suas partes móveis e as recirculações internas, aumentando a

temperatura de descarga e o consumo energético. O cálculo da eficiência politrópica exige que se conheça a composição detalhada do gás comprimido, as temperatura de sucção e descarga, a razão de compressão e a vazão de gás comprimido.

Uma vez que geralmente não se tem todas estas informações, um parâmetro que deve ser observado e que influencia fortemente o cálculo da eficiência politrópica é a temperatura de descarga de cada estágio. Um aumento desta temperatura em relação ao valor de projeto geralmente indica uma redução da eficiência. Além disso, temperatura alta de descarga do compressor também acelera o processo de polimerização, de forma que uma temperatura alta de descarga não somente indica que a eficiência politrópica já está baixa, como também propicia condições para que ela caia ainda mais [18].

#### *ii. Diferencial de pressão entre os estágios.*

Um compressor de gás de carga é composto por diversos estágios, geralmente quatro ou cinco. As pressões de sucção do primeiro estágio e descarga do último estágio são restrições de processo. Assim, quanto maior o diferencial de pressão entre a descarga de um estágio e a sucção do estágio seguinte, maior será o esforço do compressor para atender às restrições de pressões de sucção do primeiro estágio e descarga do último estágio.

Por esta razão, o monitoramento e controle do diferencial de pressão entre os estágios do compressor, em especial do compressor de gás de carga, é fundamental para garantir um consumo energético ótimo do processo de compressão.

Como a vazão que passa pelos estágios pode variar desde a vazão mínima para prevenção do surge, a partir do qual são abertas as válvulas de recirculação, até a vazão máxima de projeto, é interessante acompanhar a evolução do parâmetro “diferencial de pressão dividido pela vazão volumétrica ao quadrado”. Este parâmetro, baseado na equação de Darcy, permite visualizar a resistência intrínseca ao escoamento, que independe da vazão.

#### 3.1.5. Eficiência energética da área fria

A área fria é menos intensiva em consumo energético e o foco deve ser dado aos compressores de fluido refrigerante. Garantir uma condensação eficiente do fluido comprimido, uma eficiência politrópica dentro dos valores de projeto e a recircular somente a mínima vazão necessária para prevenir o surge.

Portanto, é importante termos um parâmetro que permita comparar as plantas petroquímicas de todo o mundo quanto à sua eficiência energética, apesar de suas particularidades, envolvendo tipos de carga, idade tecnológica, capacidade de produção ou matriz energética. Do ponto de vista gerencial, o índice de intensidade energética da Solomon Associates ® proporciona um benchmarking útil. Por outro lado, olhar para dentro do volume de controle é essencial para o entendimento dos fatores que impactam na eficiência energética da planta e na elaboração de um plano de otimização energética, fundamental para o aumento da competitividade do negócio. Uma planta petroquímica de alto desempenho energético é apenas cerca de 20% mais eficiente do que uma planta de performance energética ruim; logo, pequenas melhorias no processo podem ser decisivas para o aumento da competitividade deste negócio que compete em escala global.

## 6. CONCLUSÃO

Dada a importância estratégica do consumo energético para uma planta industrial de pirólise de nafta, esta deve ser uma preocupação desde o projeto da planta até o dia-a-dia da operação e do acompanhamento de processo, já que se trata do segundo maior custo variável desta planta, perdendo somente para a matéria prima, portanto fundamental para sua competitividade. O método de cálculo do indicador (ou índice) de eficiência energética adotada pela maioria das plantas de produção de eteno do mundo, EII (*Energy Intensity Index*), idealizada pela empresa Solomon Associates® foi analisado com relação à sua fundamentação e discutidas suas limitações. De modo a permitir a interpretação do EII, foram discriminados os principais parâmetros para monitoramento e controle da eficiência energética de cada seção de uma planta de pirólise de nafta.

## REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup>Lokensgard, Erik, *Plásticos Industriais: Teorias e Aplicações*, Tradução da 5ª Edição Norte-Americana, Editora Cengage Learning, 2013.
- <sup>2</sup>True, Warren R., Global ethylene capacity continues advance in 2011. *Oil & Gas Journal*, **2012**, 110:78–84
- <sup>3</sup>Ren, Tao, Olefins from conventional and heavy feedstocks: Energy use in steam cracking and alternative processes, *Energy*, Vol. 31, Issue 4, **2006**, Pages 425–451.
- <sup>4</sup>Stancato, B.; Sullivan, B.; The Impact of Fouling and Corrosion on Ethylene Plant Efficiency. *Anais da AIChE Spring Meeting*, Tampa - Florida. **2009**.
- <sup>5</sup>Bhirud, V. L., Improve Naphtha Quality for Olefins Cracking, *Hydrocarbon Processing*, **2007**.
- <sup>6</sup>Saraiva, Antonio. J., *Engenharia de Processo nas Plantas Industriais*, 1ª ed., Solisluna, Salvador, 2010.
- <sup>7</sup>Cerqueira, Vicente; Hemais, Carlos A. Estratégia Tecnológica e a Indústria Brasileira de Transformação de Polímeros. *Polímeros* **2001**, São Carlos, v. 11, n. 3.
- <sup>8</sup>UK Government, Department of Energy & Climate Change, International energy price comparison statistics, Web 26 September 2013, <<https://www.gov.uk/government/collections/international-energy-price-comparisons>>
- <sup>9</sup>Energy Information Administration – EIA – dez/2013,
- <sup>10</sup>Sistema FIRJAN – dez/2013.
- <sup>11</sup>Oliveira, Gutenberg Souza, O impacto mundial na indústria de refino pela descoberta do gás de xisto nos EUA, *Revista bsp*, **2014**, Volume 5, Número 1.
- <sup>12</sup>Ren, T.; Patel, M.; Blok, K.; Energy efficiency and innovative emerging technologies for olefins production. *Anais da Energy Efficiency in the Cement, Metal and Petrochemical Industry*, 2012

<sup>13</sup>Chang, H.; Guo, J. Heat Exchange Network Design for an Ethylene Process Using Dual Temperature Approach. *Tamkang Journal of Science and Engineering* **2005**, v. 8, n. 4, p. 283–290.

<sup>14</sup>Wakano, C. H. e Buehler, J.; Energy Management System (EMS) Development and Implementation in Ethylene Plants. *Anais da AIChE Spring Meeting*, Tampa - Florida. 2009.

<sup>15</sup>Dominov, P. et ali, Overview World Technologies of Pyrolysis and Perspective of Development, *Oil&Gas Business*, **2009**, vol 1.

<sup>16</sup>Anness, Lawrence, Solomon Associates' Benchmarking an Insight into Energy Performance and Gaps, *CEE Refining and Petrochemical Meeting*, Gdansk, 2011.

<sup>17</sup>Romig, J. L. et al.; Continuous Energy Improvement at EU-1544. *Anais da AIChE Spring Meeting*; Tampa - Florida. 2009

<sup>18</sup>Greco, Giorgio, B.; Sullivan, B.; Improving Ethylene Charge Gas Compressor Performance. *Anais da AIChE Spring Meeting*, Chicago - Illinois. **2011**.