

Síntese de Redes de Trocadores de Calor com Recuperação de Pressão Considerando Impactos Ambientais

Deyvid Oliveira dos Anjos, Esdras Penêdo de Carvalho, Natália Gervasoni Alves, Viviani Caroline Onishi
Departamento de Engenharia Química – Pós-Graduação em Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá – UEM
Maringá, Brasil

Resumo—Em processos de otimização de troca de calor, a metodologia sequencial para a síntese de redes de trocadores de calor é uma das mais exploradas. Neste contexto, o presente trabalho sugere esta mecânica, onde a primeira etapa consiste em analisar as possibilidades que surgem devido à manipulação de pressão das correntes de um sistema, em seguida é feita a síntese da rede, avaliando-a de acordo com a abordagem sistemática do *Pinch* através do método do Transbordo Expandido de modo a encontrar as condições ótimas de operação. Uma vez definidas as condições de operação, avaliar-se de que forma diferentes elementos da rede estão impactando o meio ambiente.

Palavras-chave—*integração energética; rede de trocadores de calor; recuperação de pressão, impactos ambientais.*

I. INTRODUÇÃO

Desde a Crise Energética da década de 1970, a minimização do consumo de energia em processos envolvendo trocas de calor tornou-se uma importante tarefa para engenheiros e projetistas [1]. Uma das metodologias que tem sido aplicada para otimizar a utilização de energia em processos térmicos é a metodologia *Pinch*, que envolve a aplicação da análise termodinâmica das condições processo e baseia-se em metas de consumo mínimo de utilidades, número de unidades de troca e custo para obter uma rede de trocadores de calor que opera de forma eficiente. Além disso a manipulação das linhas de pressão da rede, de modo a avaliar a possibilidade de realizar a mudança dos níveis de pressão de diferentes formas juntamente com a de acoplar compressores e expansores visando um melhor aproveitamento e diminuição dos gastos com eletricidade, pode resultar em uma rede com maior eficiência energética neste tipo de processo [2]. Juntamente com o desenvolvimento das metodologias concentradas em fatores monetários (condições ótimas de custo e energia), o aumento na rigidez das normas de controle ambiental de processos sugere aos trabalhos mais recentes que busquem meios de analisar de que forma seus componentes podem impactar o meio ambiente.

II. METODOLOGIA

Neste trabalho, uma metodologia sequencial para a síntese de redes de trocadores de calor é apresentada. A primeira etapa do trabalho está focada na manipulação dos níveis de pressão das correntes de um sistema, conseqüentemente modificando as condições e números de correntes do problema. O procedimento seguinte, proposto para síntese da rede avalia com a abordagem sistemática do *Pinch* através do método do Transbordo Expandido [3] as condições ótimas de operação analisando no primeiro momento o consumo mínimo de utilidades, e então as unidades de troca térmica para o conjunto de correntes da rede, com o custo total do procedimento compreendendo os custos com utilidades e trocadores.

Uma vez definidas as condições de operação do sistema (manipulação da pressão) e da configuração da rede de trocadores de calor, pode-se avaliar de que forma diferentes elementos estão impactando o meio ambiente. Isto é feito através de programação linear de forma a obter os valores de impactos ambientais globais utilizando dados obtidos da Ferramenta EcoIndicador-99 [4], obtidos a partir de softwares como o SimaPro®.

III. DISCUSSÕES

O caso escolhido para ser avaliado corresponde a um já estudado em literatura e avalia um processo de Gás Natural Liquefeito (GNL) [1]-[2]. Uma vez definida a sequência do desenvolvimento do trabalho (pressão-trocas de calor-impacto ambiental), as rotinas computacionais foram implementadas no GAMS.

O algoritmo da manipulação de pressão, realizado através de programação não-linear, visa analisar as condições de operação da RTC formulada de forma a verificar a possibilidade de realizar a modificação dos níveis de pressão em uma ou várias etapas, modificando o número de equipamentos de modificação de pressão, e acoplar turbinas e compressores de forma a minimizar o gasto energético, sem que o haja muito impacto no processo, pois seria necessário para cada acoplagem a construção de eixos conjugados, realizada de forma que o acoplamento ocorra pra minimizar os

custos com energia elétrica [2]. Para a síntese de rede de trocadores de calor, desenvolvida tanto com elementos de programação linear (utilidades) como de programação linear mista inteira (trocas térmicas), utiliza-se o método do Ponto de Estrangulamento Energético, visando a máxima recuperação de energia e consequentemente com o uso mínimo de utilidades e um número mínimo de unidade de transferência de calor. O algoritmo (Transbordo Expandido) realiza em intervalos de temperaturas, compostos pelas temperaturas de entrada e saída de todas as correntes, balanços de energia (calores residuais) verificando a quantidade mínima de utilidade e definindo a demanda ou excedente de energia em cada um dos intervalos. Os trocadores ficam alocados de forma a suprir essas necessidades das correntes e os custos e áreas dos trocadores foram calculados à parte da integração energética [3].

As condições ótimas obtidas à partir do procedimento de minimização acima indicam um ótimo para a troca de calor em processos com correntes a diferentes pressões, pode-se então avaliar aspectos ambientais deste. Ao analisar todo o processo envolvido nas trocas de calor, seus processos de expansão e compressão, a origem, obtenção e utilização de fontes de energia e da energia elétrica necessária, analisou-se as categorias de impacto ambiental que todo este contexto gera, somando diversas categorias de impactos em cada elemento e posteriormente o impacto ambiental de todos os elementos do sistema (global) [4].

Para o estudo, usando os critérios de manipulação de pressão/acoplamento e de avaliação de impactos ambientais como restrições ao processo de otimização da rede de trocadores de calor realizada por Modelo Transbordo Expandido originou-se três casos sujeitos aos valores da Tabela I [1]. Considerou-se além de parâmetros de pressão a variação da aproximação mínima da temperatura das correntes de 1 a 10K [4]. O resultados encontrados foram comparados com a literatura [1].

No Caso I, para valores de ΔT_{\min} entre 1 e 6 K o PEE se localiza no terceiro intervalo, para 7 K, diminui-se um intervalo de temperatura e para valores de ΔT_{\min} maiores que 7 K, o PEE está no segundo intervalo. Uma solução com área 12,23% maior e custo total 11,8%, maior com nível de impacto calculado em 33,28.

TABELA I. CONFIGURAÇÃO GERAL DAS CORRENTES

Correntes	Propriedades				
	h(kW/m ² K)	CP(kW/K)	Ten (K)	Tsai (K)	p (MPa)
Q1	0,1	3,0	650	- ^a	0,1
Q2	0,1	3,0	-	-	-
Q3	0,1	3,0	-	370	0,5
F1	0,1	2,0	410	-	0,5
F2	0,1	2,0	-	-	-
F3	0,1	2,0	-	650	0,1

a. propriedades não definidas correspondem a diferentes valores para cada caso.

TABELA II. RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO

Resultados Obtidos	Casos		
	I	II	III
Parâmetro	Valores	Valores	Valores
Custo Capital	929,57 k\$/ano	761,2 k\$/ano	760,50 k\$/ano
Custo Operacional	420,13 k\$/ano	188,7 k\$/ano	463,4 k\$/ano
Impacto Ambiental	33,28	13,14	29,35
Área de Trocador	715,09 m ²	303,17 m ²	430,40 m ²
Número de trocadores	5	4	3
Número de Correntes de troca	4	6	4
Número de compressores	2	2	1
Número de expansores	1	1	1
Acoplamento	Não	Sim	Não

No Caso II, para valores de ΔT_{\min} entre 1 e 10 K o PEE se localiza na extremidade dos intervalos. Uma solução com área 39,2% menor e um trocador a menos e custo total 12,1%, menor com nível de impacto calculado em 13,14.

No Caso III, para valores de ΔT_{\min} entre 6 e 10 K o PEE se localiza na extremidade dos intervalos para valores entre 1 e 4 K o PEE está num intervalo maior. Uma solução com mesma área e custo total 6,5%, maior com nível de impacto calculado em 29,35.

IV. CONCLUSÕES

A partir das otimizações e das avaliações de impacto ambiental, demonstradas na Tabela II, considerou-se que o Caso II é o que corresponde a melhor solução, devido à diminuição com custo de trocadores e utilidades e da menor área de trocadores. Apesar do aumento do investimento decorrente do acoplamento, a economia com custo com eletricidade e a diminuição de impactos ambientais devido ao menor consumo da mesma (avaliada como componente que mais causa danos ao meio ambiente) o tornou a melhor opção.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio financeiro da CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] Onishi V. C., Ravagnani M. A. S. S., Caballero J. A. Simultaneous synthesis of heat exchanger networks with pressure recovery: optimal integration between heat and work. *AIChE J.* 2014;60: 893-908.
- [2] Wechsung A., Aspelund A., Gundersen T., Barton P. I. Synthesis of heat exchanger networks at subambient conditions with compression and expansion of process streams. *AIChE J.* 2011;57:2090–2180.
- [3] Ravagnani M. A. S. S., Caballero Suárez J. A. Redes de trocadores de calor. Universidad de Alicante, 2012.
- [4] Goedkoop M., Spriensma R. The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment-Methodology Report (available at www. pre. nl). 2000.