

## **DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SÍNTESE DE REDES DE TROCADORES DE CALOR BASEADO EM ANÁLISE PINCH E CONCEITOS DE SUPERESTRUTURA**

Lucas Soares Gaiola (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani (Orientador), Camila de Brito Miranda Faia (Coorientador), e-mail: ra98768@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

### **Engenharias/Engenharia Química**

**Palavras-chave:** linguagem Python, metodologia Pinch, superestrutua

### **Resumo:**

Na maioria das indústrias existem correntes de processo que precisam ser aquecidas ou resfriadas quando transportadas de um equipamento a outro dentro do processo. Dessa forma, busca-se utilizar as próprias correntes que necessitam de aquecimento ou resfriamento para trocar calor e evitar o emprego de utilidades quentes ou frias, fazendo com que estas utilidades sejam empregadas apenas quando as correntes de processo não conseguirem atender às necessidades térmicas das demais correntes. No presente trabalho, desenvolve-se a atualização de um software que utiliza a Análise Pinch e de modelos derivados de superestrutura para a síntese de redes de trocadores de calor (RTC). A linguagem de programação Python foi a escolha para a atualização do software, visto que esta é uma linguagem gratuita, com muitos recursos e de fácil entendimento e que o software anterior foi desenvolvido em ambiente de programação comercial.

### **Introdução**

O crescimento da população e do consumo ao longo dos anos fez com que aumentasse muito a produção industrial para suprir as necessidades das pessoas. Com isso a demanda por utilização de recursos naturais também cresceu, bem como o consumo de energia, por meio do emprego de utilidades quentes e frias, para aquecer ou resfriar correntes de processo. Por esse motivo, surge cada vez mais a necessidade de aproveitar o máximo possível de energia disponível dentre as próprias correntes de processo, evitando o uso das utilidades. Essa técnica é conhecida como integração energética de processos, em que as correntes de processo trocam calor entre si, aproveitando ao máxima a energia disponível no processo e diminuindo o consumo de utilidades, de maneira a diminuir os custos de operação. Isto é feito por meio da síntese de uma rede de

trocadores de calor (RTC), que consiste no conjunto de equipamentos de troca térmica utilizados para alcançar a temperatura desejada das correntes que se deseja aquecer ou resfriar.

Uma das técnicas disponíveis para a integração energética de processos é a Análise Pinch. Por meio dela, pode-se conseguir uma RTC com consumo mínimo de utilidades e utilizando ao máximo a energia disponível no processo, a partir do ponto de estrangulamento energético, denominado de ponto Pinch, para um determinado valor de  $\Delta T_{min}$ . É baseada no emprego de etapas estabelecidas por regras heurísticas, respeitando as leis da termodinâmica. Dentre essas etapas está a construção de uma cascata de energia, para uma diferença mínima de temperatura entre as correntes. No ponto Pinch não existe fluxo de energia, permitindo a divisão do problema em duas regiões, uma acima e uma abaixo dele. Dessa forma, é possível construir uma rede de trocadores de calor empregando utilidades quentes apenas na região acima e utilidades frias apenas na região abaixo do Pinch. Existem também métodos de integração energética que utilizam de técnicas de programação matemática que visam aumentar a automatização dos cálculos no processo. Entre eles estão os modelos derivados de superestruturas que avaliam as possibilidades de redes para satisfazer os requisitos impostos pelo usuário. Dentre os modelos de superestruturas está o proposto por Yee e Grossman (1990), que utiliza a divisão por estágios e permite apenas a adição de um trocador por corrente dividida. Uma evolução deste modelo foi proposta por Ravagnani, Costa e Pavão (2018), que possui estágios e subestágios e permite divisões e subdivisões de correntes além de permitir mais de um trocador de calor por ramo de corrente, abrangendo mais possibilidades.

Sendo assim, o software desenvolvido neste trabalho reúne a Análise Pinch com o modelo de superestrutura proposto por Ravagnani, Costa e Pavão (2018), conferindo ao programa muito mais robustez e organização nos métodos de cálculo, evitando a ocorrência de erros e facilitando possíveis evoluções de rede posteriormente à sua montagem. Isto também dá ao usuário a liberdade na construção da rede, permitindo divisões de correntes e adição de mais do que um trocador por ramo de corrente.

## Materiais e métodos

Primeiramente foi feita uma revisão da literatura sobre Análise Pinch e sua aplicação com exemplos práticos e teóricos, logo após estudou-se o funcionamento da superestrutura, entendendo como ela se aplica e como pode ser aplicada junto à metodologia Pinch na síntese da rede de trocadores de calor. Finalmente foi escrito o código na linguagem Python com o auxílio de algumas bibliotecas especiais como numpy, xrlid e matplotlib e com a lógica de programação para desenvolver um programa que realiza os cálculos e permite a interação com os usuários.

## Resultados e Discussão

Com o algoritmo de cálculo do ponto Pinch desenvolvido foi possível usar os dados obtidos como a temperatura Pinch para o código de cálculo da rede de trocadores de calor com a superestrutura. Dois diferentes algoritmos foram desenvolvidos, um responsável pela rede acima e outro pela rede abaixo do ponto Pinch. Os cálculos são sempre efetuados partindo do ponto Pinch para as extremidades. Os códigos funcionam com a mesma base de raciocínio. O código acima realiza os cálculos partindo da temperatura do pinch para temperatura maiores e o código abaixo os realiza no sentido contrário.

Os códigos de cálculo da RTC foram construídos com bases em matrizes de diferentes dimensões, variando de duas até seis dimensões. Essas dimensões servem para direcionar exatamente a posição em que os trocadores vão se encontrar, sendo que entre o máximo possível de seis dimensões cada uma delas representa uma corrente quente, uma subcorrente quente, uma corrente fria, uma subcorrente fria, um subestágio e um estágio. Dessa forma, a superestrutura foi construída, alocando todos os trocadores necessários para satisfazer o problema e garantindo liberdade ao usuário quanto a possibilidade de alocação dos trocadores na rede.

Entre estas possibilidades está a escolha por parte do usuário de quais correntes devem trocar calor, além da possibilidade ou não de dividir as correntes escolhidas em diferentes frações, ou alocar toda a carga térmica disponível num único equipamento. Isso pode ser verificado na Figura 1. A troca pretendida pelo usuário não deve violar a diferença mínima de temperatura ou alguma lei da termodinâmica.

```
Temperatura Entrada Quente
[170, 150]
Temperatura Final Quente
[60, 30]
CP da corrente Quente
[3, 1.5]
Temperatura Entrada Fria
[20, 80]
Temperatura Final Fria
[135, 140]
CP da corrente Fria
[2, 4]
Calor Disponível Quentes:
[330.0, 180.0]
Calor Disponível Frias:
[230.0, 240.0]
Deseja dividir correntes? no
Qual corrente quente trocará calor: 1
Qual corrente fria trocará calor: 1
O calor máximo a ser trocado é: 230.0
Deseja trocar o calor máximo?no
Quanto calor será trocado: 220
[220.0, 0]
[220.0, 0]
[110.0, 180.0]
[10.0, 240.0]
[96.67, 150.0]
[25.0, 140.0]
Deseja adicionar mais um trocador ou utilidades?
```

Figura 1 – Alocação de um trocador de calor na rede.

## Conclusões

Com os resultados obtidos é possível concluir que a utilização dos modelos derivados de superestrutura em conjunto com a Análise Pinch oferece robustez aos cálculos do programa assim como liberdade ao usuário na

confeção da rede. O programa deve continuar passando por evoluções para alcançar mais funcionalidades como a possível evolução da RTC.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ pelo auxílio na forma de bolsa de Iniciação Científica.

### Referências

RAVAGNANI, M. A. S. S.; SUÁREZ, J. A. C. **Redes de Trocadores de Calor**. 1. ed. Paraná: Fundação Araucária, 2012.

PAVÃO, L. V.; COSTA, C. B. B.; RAVAGNANI, M. A. S. S. A new stage-wise superstructure for heat exchanger network synthesis considering substages, sub-splits and cross flows. **Applied Thermal Engineering**, P. 719-735, 2018.