

## SISTEMAS HÍBRIDOS DE REFRIGERAÇÃO COMPRESSÃO-ABSORÇÃO

João Pedro Gentilin Pineli (PIBIC/ FA/UEM), Lucas Maximiano (PIBIC/ FA/UEM),  
Willian da Silva Marques (PEM-UEM), Marcio Higa (Orientador)  
e-mail: ra113526@uem.br

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

**Área: Engenharias**

**subárea: Engenharia Mecânica**

**Palavras-chave:** Sistema de refrigeração por absorção, frigorífico, Análise energética.

### Resumo:

Visando a economia de energia elétrica, a integração de um sistema de dupla absorção em um sistema de compressão multiestágio foi analisada termodinamicamente para parte dos evaporadores que compõe o sistema de refrigeração de um frigorífico. Utilizando calor residual que vai para a condensação no ciclo de compressão, as simulações para a implementação desse sistema híbrido compressão-absorção foram realizadas com o auxílio do *software Engineering Equation Solver (EES)*, obtendo-se as propriedades termodinâmicas em cada ponto do sistema em questão. Desta forma, vazões mássicas, consumos de potência e calor, eficiência dos compressores e ainda a energia economizada com o sistema híbrido foram calculados. Por meio dos resultados obtidos foi possível verificar que houve uma redução de consumo de 38 kW quando comparado com o sistema original, demonstrando que a proposta pode ser implementada na indústria frigorífica.

### Introdução

O sistema de refrigeração por absorção (SRA) não é uma tecnologia recente, mas foi criado em 1860 pelo francês Ferdinand Carré nos Estados Unidos. Assim, embora sempre surjam novas tecnologias para melhorar o desempenho de um sistema, a busca por economia e eficiência energética pode-se fazer por meio do gerenciamento e aplicação correta dos sistemas existentes, sendo possível melhorar a eficiência, sem a necessidade de uma tecnologia de última geração.

É válido salientar que o SRA é diferente do sistema de refrigeração por compressão (SRC), pois não possui compressores para aumento de pressão do vapor, mas sim bombas que elevam a pressão do fluido líquido, resultando em uma economia de energia, além da possibilidade de que o funcionamento do sistema possa ocorrer por meio do uso de uma fonte de calor residual.

Para melhorar o uso de energia nos sistemas de refrigeração, Palomba *et al.* (2020) destaca que o melhor desempenho energético destes sistemas pode ser alcançado pela combinação das fontes de energias térmicas e elétricas, amenizando o grande consumo de potência nos SRC e de calor nos SRA. Neste contexto, uma medida para aproveitar melhor o calor desperdiçado no gerador seria integrá-lo com o

absorvedor, em um sistema denominado GAX e proposto por Yari *et al.* (2011). Outra proposta feita por Wang *et al.* (2016) para aumentar a eficiência é o sistema *Recovering Condensation Heat for Generation – Absorption Refrigeration System* (RCHG-ARS). Neste sistema, aumenta-se a pressão do vapor saturado após o gerador/retificador do SRA convencional, por meio de uma compressão de duplo estágio com inter-resfriamento, buscando recuperar o calor de condensação para geração. Um sistema similar a este foi utilizado por Razmi *et al.* (2020) com mistura de água-brometo de lítio com fluidos de trabalho. Já Tsuneo *et al.* (1999) propuseram uma solução que buscava recuperar 100% do calor perdido na condensação, que entretanto, se apresentava operação instável, tornando inviável sua implementação.

A planta original do ciclo de refrigeração do presente estudo possui um ciclo multiestágio, ou seja, existem dois compressores que elevam a pressão do sistema gradualmente em duas etapas, do nível de baixa pressão (0,7 bar) para o intermediário (3,5 bar) e depois para o nível de alta pressão (13,5 bar). Desta forma, os compressores de baixa elevam o fluido até a pressão intermediária, enquanto os compressores de alta elevam a pressão até a máxima pressão do sistema.

## Materiais e Métodos

O SRA tem basicamente 5 componentes, absorvedor, bomba, regenerador, gerador e válvula de expansão, trabalhando não com um único fluido refrigerante, mas sim com uma mistura binária de fluidos.

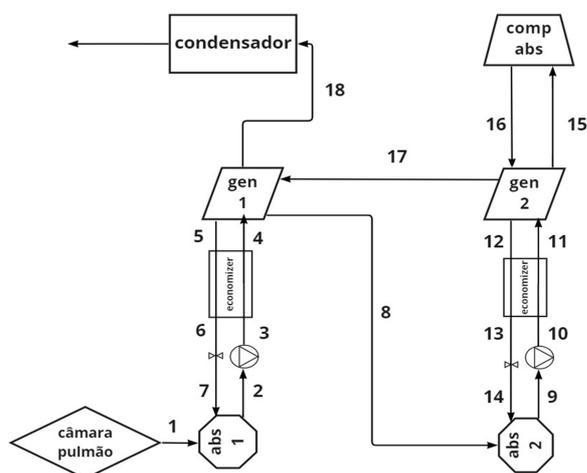


Figura 1- ciclo de refrigeração de dupla absorção

O SRA convencional se refere aos pontos 2 a 7 na Figura 1. Começando o ciclo pelo absorvedor, ocorre a mistura dos dois fluidos, amônia e solução de água-amônia. Essa mistura segue para a bomba, que eleva a pressão do sistema até o regenerador antes de chegar ao gerador, que é o responsável por separar a amônia da mistura usando o calor da fonte de residual aplicada. O vapor refrigerante de amônia segue para o condensador, enquanto a parte do refrigerante que não

conseguiu se desprender da mistura, retorna de volta para o absorvedor, passando pela válvula de expansão. A mistura que chega ao gerador tem uma concentração maior de fluido refrigerante do que a que sai, e devido a isso ela é chamada de mistura rica, ao passo que a mistura que volta para o absorvedor é chamada mistura pobre pela menor quantidade de fluido refrigerante. O regenerador é responsável por fazer uma troca de calor entre a mistura rica e a mistura pobre a fim de aproveitar a energia da mistura pobre, que tem a temperatura mais elevada, para aquecer a mistura rica, diminuindo a necessidade de fonte de calor. Uma restrição importante, porém, é que haja uma diferença mínima de temperatura para a transferência de calor, estabelecida em 4 graus Celsius neste trabalho, para que esse processo seja viável e o componente seja eficiente.

No ciclo proposto neste estudo existem dois sistemas em sequência de absorção, por isso ele leva o nome de sistema de dupla absorção. A vantagem da escolha desse sequenciamento é a possibilidade de maior elevação da pressão intermediária no sistema, reduzindo a demanda energética do compressor de alta e conseqüentemente aumentando a eficiência do ciclo. Desta forma, ao invés de 3 níveis de pressão, o sistema híbrido opera com as pressões de baixa (0,7 bar) e de alta (13,5 bar) e mais duas pressões intermediárias, que são as pressões dos geradores (GEN 1 e GEN 2) no SRA de duplo estágio. A vantagem da dupla absorção é que no GEN 1 a temperatura de operação é mais baixa do que no GEN 2, aproveitando melhor o calor residual que sai do compressor de alta.

Em uma primeira análise variou-se as duas pressões dos geradores simultaneamente para aproximar o ponto de operação excelente do ciclo. Logo após, para refinar os valores variou-se então, somente a pressão do gerador 1, mantendo a pressão do gerador 2 fixa. Na segunda análise, manteve-se a pressão no gerador 1, variando-se a do gerador 2. Feito isso, a região ótima de funcionamento para cada gerador foi descoberta.

## Resultados e Discussão

Aplicando-se a Primeira Lei da Termodinâmica e utilizando o *software Engineering Equation Solver (EES)*, foi possível calcular a demanda de calor nos geradores e o trabalho realizado pelos compressores, obtendo-se a economia de energia para o sistema proposto. Nas Figura 2 e 3 são apresentadas as diferenças de temperaturas  $\Delta T_H$  na transferência de calor (curva preta) e o trabalho economizado (curva azul) com a variação de pressão nos geradores de amônia.

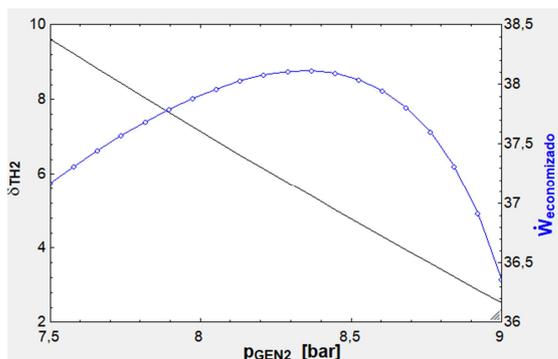


Figura 2-  $\Delta T_{H2}$  e  $\dot{W}_{economizado}$  com  $p_{gen1}$  fixa

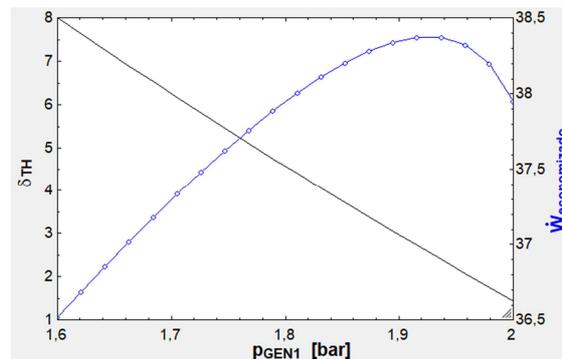


Figura 3 –  $\Delta T_H$  e  $\dot{W}_{economizado}$  com  $p_{gen2}$  fixa

A economia máxima é obtida para a maior pressão possível na saída do GEN 2. Intuitivamente, a solução seria igualar a pressão deste gerador com a pressão de alta de 13,5 bar do sistema existente. Porém, essa proposta não pode ser aplicada porque a diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) entre os pontos 5-4 e 12-11 devem ser superiores a 4°C para que haja um bom funcionamento do circuito ( $\Delta T_H = T_5 - T_4$ ;  $\Delta T_{H2} = T_{12} - T_{11}$ ). Observando as Fig. 2 e Fig. 3 é possível perceber que ao aumentar a pressão acima

de um certo limite, a variação de temperatura nos pontos citados desrespeita o limite de 4° C (curva preta), inviabilizando o funcionamento efetivo do ciclo, além da energia economizada também diminuir (curva azul). Em relação a potência economizada, o melhor resultado obtido quando se considera a variação de pressão simultânea nos geradores 1 e 2 foi em torno de 38 KW.

## Conclusões

No presente projeto buscou-se implementar um sistema de refrigeração de dupla absorção em um frigorífico. Para realizar as simulações, aplicou-se a Primeira Lei da Termodinâmica, utilizando o *software* EES para a obtenção das propriedades termodinâmicas, demandas de potência e calor, além do trabalho economizado no circuito. As análises de caso foram feitas variando-se as pressões dos dois geradores do sistema. Tanto para a variação das duas pressões simultaneamente quanto individualmente nas regiões ótimas de pressão, obteve-se valor de trabalho economizado em torno 38 kW para o limite mínimo de 4° C na transferência de calor.

## Agradecimentos

Agradeço à Deus, à Fundação Araucária pela cessão de recursos financeiros para o desenvolvimento desse trabalho e ao meu orientador, professor doutor Marcio Higa por me guiar no projeto e me levar a conhecer muito mais sobre sistemas de refrigeração.

## Referências

Palomba, V., Dino, G.E., Frazzica, A.F., Coupling sorption and compression chillers in hybrid cascade layout for efficient exploitation of renewable: Sizing, design and optimization, **Renewable Energy**. 154 (2020) 11-28.

Razmi, A.R., Arabkoohsar, A., Nami, H. Thermoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel hybrid absorption/recompression refrigeration system, **Energy**. 210 (2020) 118559.

Tsuneo, T., Mitsuaki, K., Akira, O., Hajime, E., Yoshinori, N. Compression absorption hybrid heat pump, **United States Patent**: No. 5934101, 1999.

Wang, J., Wang, B., Wu, W., Li, X., Shi, W. Performance analysis 1 of an absorption compression hybrid refrigeration system recovering condensation heat for generation, **Applied Thermal Engineering**. 108 (2016) 54-65.

Yari, M., Zarin, A., Mahmoudi, S.M.S., Energy and exergy analyses of GAX and GAX hybrid absorption refrigeration cycles, **Renewable Energy**. 36 (2011) 2011-2020.