

COMPARAÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE REFRIGERAÇÃO DE ABSORÇÃO ASSISTIDOS POR COMPRESSÃO DE ALTA E BAIXA PRESSÃO

Gabriel Deringer da Silva (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Marcio Higa (Orientador). E-mail: ra123668@uem.br.

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

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Mecânica/Engenharia Térmica.

Palavras-chave: Refrigeração; Absorção; Exergia.

RESUMO

O uso do calor residual é uma alternativa sustentável para aumentar a performance térmica de um sistema convencional de compressão. Isto pode ser implementado com um sistema de refrigeração por absorção operando em paralelo com um ciclo de dupla compressão em sistemas híbridos, tanto na parte de baixa quanto na de alta pressão. A investigação foi realizada utilizando análises energéticas e exergéticas por meio do software Engineering Equation Solver (EES) para a simulação. Os resultados apontam que o sistema híbrido é mais eficiente ao original, e, ainda, o sistema híbrido associado a baixa pressão apresenta uma maior economia comparado ao de alta pressão.

INTRODUÇÃO

O uso de calor ao invés de eletricidade faz do Sistema de Refrigeração por Absorção (SRA) uma boa opção para redução do consumo de energia elétrica em um Sistema de Refrigeração por Compressão (SRC). Esta alternativa é viável e mais promissora quando fontes de calor de baixo custo estão disponíveis (Huang *et al.*, 2024).

Conforme apresentado por Wu *et al.* (2020), a combinação do SRA e SRC nos sistemas híbridos de refrigeração podem ter diferentes configurações em sistemas de múltiplos níveis de pressão, utilizando a compressão na parte de baixa pressão e absorção na de alta pressão ou ao também contrário, com a absorção em baixa pressão e compressão em alta pressão.

Visando a comparação de eficiência em uma instalação industrial com dupla compressão de vapor, este projeto teve como objetivo avaliar por meio das análises energética e exergética duas alternativas de sistema de refrigeração híbrido compressão-absorção. As alternativas referem-se à implementação do sistema de absorção na parte de baixa ou de alta pressão em uma planta de SRC com dupla compressão, ambas aproveitando o calor residual de gases de caldeira visando a redução do consumo de potência, e consequentemente aumento do coeficiente de desempenho e da redução da destruição de exergia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um estudo de caso de um sistema de duplo estágio de compressão de um frigorífico foi adotado neste trabalho, baseado nos resultados da análise e simulação dos dados da planta proposta anteriormente por Marques et al. (2024), cujo fluxograma é apresentado com linhas cinza da Fig. 1. Estes resultados do sistema de dupla compressão (SRC) serviram de referência para a proposta de inclusão do sistema de absorção, tornando-o híbrido.

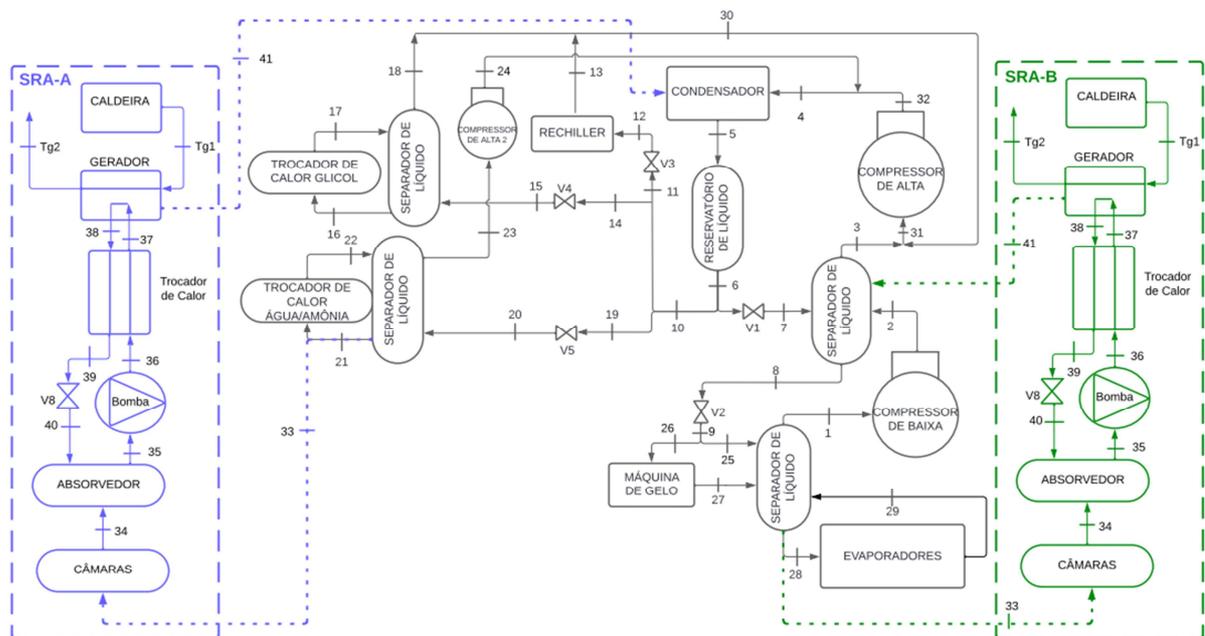


Figura 1 - Sistemas de refrigeração de absorção (SRA) associados ao sistema refrigeração por compressão (SRC).

Proposta A: Sistema de Refrigeração Híbrido com absorção na alta pressão (SRH-A)
Considerando a disponibilidade de energia dos gases saindo a 180° C da caldeira, a proposta visou aproveitar esta fonte de calor residual em um sistema de refrigeração por absorção (SRA-A), representado em linhas azul na Fig. 1. Nesta configuração híbrida (SRH-A) formada pela combinação do SRC e SRA-A, a bomba eleva a pressão da amônia em 430 kPa para o nível elevado de 1350 kPa e utiliza os gases da caldeira para o gerador de vapor de amônia. A carga térmica do sistema de absorção é apenas para a câmara, que é retirado do separador de líquido e trocador de calor de água/amônia.

Proposta B: Sistema de Refrigeração Híbrido de absorção na baixa pressão (SRH-B)
Nesta segunda proposta também ocorre o aproveitamento dos gases da caldeira em um sistema de refrigeração por absorção (SRA-B), representado em linhas verde da Fig. 1. Neste sistema híbrido (SRH-B) combinado pelo SRC e SRA-B, a bomba eleva

a pressão de baixa da amônia de 70 kPa par 350 kPa e a carga térmica do sistema de absorção é apenas para a câmara, retirada do evaporador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e comparação da análise energética e exergética dos 2 sistemas estão apresentados na Tab. 1. Nos resultados da análise energética, verifica-se que a disponibilidade de energia dos gases de combustão que saem a 180°C da caldeira até a temperatura ambiente é de 1622 kJ/s. Com a inclusão do sistema de absorção, o calor perdido dos gases sofre uma redução para (840,6 kJ/s), indicando um aproveitamento deste calor no gerador. O trabalho economizado pelo sistema híbrido total SRH-B é de 102,1 kW, pois houve redução da demanda de potência dos compressores e bomba. Já no SRH-A a economia de potência (87,7 kW) ocorreu principalmente no compressor de alta pressão 2. Com a redução total tanto SRH-A quanto no SRH-B, em comparação SRC, verifica-se que ambas propostas apresentaram melhorias no COP em razão a este trabalho economizado.

Para a análise exergética, observa-se que a somatória das perdas de exergia nos gases de combustão (318,1 kW) com a destruição no SRC (1181 kW) resultam em uma perda total de 1499 kW. A integração do SRA, transformando o SRC em um SRH pode ser feita principalmente por meio do aproveitamento da exergia dos gases que representava a segunda maior perda (318,1 kW), atrás apenas da condensação (373,8 kW). Com isso, verifica-se que houve redução destas perdas no SRH-A e SRH-B para 139,7 e 99,9 kW, respectivamente. Além disso, observa-se que a principal redução de destruição de exergia no sistema ocorrem para o evaporador que passou de 240 para 97,2 kW no SRH-A e para 93,9 kW no SRH-B. Embora o sistema de compressão do SRH-B tenha uma destruição de exergia maior que a do SRH-A, os valores totais de destruição são menores para este sistema, passando de 1499 para 1200 kW, uma redução de 25,8%. Em comparação, o SRH-B obteve uma redução de 19,9% em relação ao SRC. Tal variação ocorre primordialmente no SRA-B, onde a destruição foi 14,6% maior.

Tabela 1. Resultados energéticos e exergéticos.

	SRC	SRH-A	SRH-B		SRC	SRH-A	SRH-B
$\dot{Q}_{\text{gases perdas}}$ [kJ/s]	1622	840,6	840,6	$\dot{E}_{\text{xe,gases perdas}}$ [kW]	318,1	139,7	99,9
\dot{W}_{AP} [kW]	1589	1578	1578	$\dot{E}_{\text{d,Cond}}$ [kW]	373,8	368,2	374,7
\dot{W}_{BP} [kW]	985,9	988,3	902,5	$\dot{E}_{\text{d,EVAP}}$ [kW]	240	97,2	93,9
$\dot{W}_{\text{AP,C2}}$ [kW]	309,5	240,3	310,5	$\dot{E}_{\text{d,CA,C2}}$ [kW]	161,4	147,7	147,7
\dot{Q}_{Gen} [kJ/s]		597,2	767,8	$\dot{E}_{\text{d,CB}}$ [kW]	108,9	111,6	101,9
\dot{W}_{bomba} [kW]		2,7	1,7	$\dot{E}_{\text{d,others}}$ [kW]	331,4	257,8	356,8
\dot{W}_{econ} [kW]		87,7	102,1	$\dot{E}_{\text{d,SRA}}$ [kW]		129,8	152,1
\dot{W}_{Total} [kW]	2868	2807,7	2791,5	$\dot{E}_{\text{d,SRC}}$ [kW]	1181	982,5	1048
COP	3,28	3,344	3,366	$\dot{E}_{\text{d,Total}}$ [kW]	1499	1252	1200

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto a integração do sistema de absorção aproveitando o calor de gases de uma caldeira em um sistema de refrigeração por compressão de duplo estágio de uma indústria frigorífica, adotada como estudo de caso, foi proposta com o sistema de absorção (SRA) no estágio de alta pressão, entre 430 kPa e 1350 kPa no sistema de refrigeração híbrido (SRH-A), e também na parte de baixa pressão, entre 70 kPa e 350 kPa (SRH-B). Utilizando estes dados, o equacionamento e análises foram realizadas através de uma modelagem matemática, comparando os resultados com o sistema de compressão multi-estágio existente (SRC).

Tanto o sistema SRH-A quanto o SRH-B apresentaram aumento no *COP* em relação ao sistema SRC, e ambos sistemas obtiveram uma economia de energia superior a 85 kW. Destaca-se o sistema de baixa pressão SRH-B ter apresentado uma economia maior de 102,1 kW porque a razão de pressão do sistema de absorção é superior ao de alta pressão. Assim, mesmo que o trabalho realizado pela bomba do sistema seja maior, a redução nos compressores será menor. Isto ainda reflete uma economia considerável em relação a fatura de energia desta indústria, visto que uma ampla demanda desse consumo decorre da potência de seus compressores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná.

REFERÊNCIAS

HUANG, C., SHAO, S., WANG, N., GUO, Y., WE, W. "Performance analysis of compression-assisted absorption refrigeration-heating system for waste heat recovery of liquid-cooling data center". **Energy**, v. 305, p. 132235. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132325>. Acesso em: 21 agosto 2024.

MARQUES, W.S., PINELI, J.P.G. SILVA, G.D., HIGA, M., 2024. "Rearranjo de um Sistema de refrigeração industrial por compressão e integração de um Sistema híbrido absorção-compressão". **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 4, p. 01-02. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/4229>. Acesso em 21 agosto 2024

WU, W., LEUNG, M., DING, Z., HUANG, H., BAI, Y. DENG, L. Comparative analysis of conventional and low-GWP refrigerants with ionic liquid used for compression-assisted absorption cooling cycles, **Applied Thermal Engineering**, v. 172, p. 115145. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115145> Acesso em: 21 agosto 2024.