

AVALIAÇÃO POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE VARIAÇÕES DE CICLO RANKINE COM DIFERENTES FLUIDOS DE TRABALHO

Giovana Simeoni Mota (PIC), Caliane Bastos Borba Costa (Orientadora),
e-mail: ra98619@uem.br.

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

Área e subárea do conhecimento: Processos Industriais de Engenharia Química

Palavras-chave: aproveitamento de calor residual, Ciclo Rankine Orgânico, simulação

Resumo:

A possibilidade de aproveitamento de calor residual para gerar potência estimula pesquisas que visam buscar indicações de ciclos adequados, com especificações de suas condições operacionais e seus fluidos de trabalho. O Ciclo Rankine Orgânico (CRO) é apontado na literatura como promissor para produção de potência a partir de fontes a baixas/moderadas temperaturas. Há, entretanto, na literatura uma falta de direcionamento mais concreto das condições operacionais indicadas para diferentes fontes quentes. Este trabalho buscou analisar, por meio de simulação, o CRO de modo a alcançar indicações mais concretas para a fonte solar, as correntes quentes da indústria do cimento e do aço, focando nas eficiências dos ciclos operando com os fluidos selecionados, com e sem recuperadores de calor, e nos trabalhos específicos produzidos. Para a fonte solar, o ciclo com maior eficiência operou com tolueno (13,18%) e o de maior trabalho específico, com benzeno (65,88 kJ/kg). Para as correntes quentes da indústria do cimento, o ciclo com maior eficiência operou com benzeno (19,98%) e o de maior trabalho específico, com tolueno (119,88 kJ/kg). Para as correntes quentes da indústria do aço, o ciclo com maior eficiência (16,49%) também foi aquele que obteve o maior trabalho específico (88,92 kJ/kg), operando com benzeno. Com o uso de recuperadores de calor as eficiências tiveram aumento de 1,98% até 10,63%.

Introdução

O Ciclo Rankine Orgânico (CRO) pode ser utilizado para gerar potência a partir de fontes de calor de baixa/média temperatura. Nesse ciclo, fluidos orgânicos são utilizados, pois possuem propriedades físicas e termodinâmicas adequadas para recuperar energia e produzir trabalho a partir de fontes de calor residual, como correntes de processos industriais e fontes solares (VÉLEZ et al., 2012). A possibilidade de se produzir energia

elétrica, através do acoplamento de um gerador elétrico à turbina do CRO que utiliza essas fontes de calor, é um grande motivador de pesquisas. Estudos em CRO são encontrados na literatura, mais ainda existe uma lacuna no que tange a indicações mais direcionadas do(s) fluido(s) de trabalho para aplicações em diferentes níveis de temperatura.

Diante do exposto, este trabalho buscou avaliar condições operacionais de CRO com diferentes fluidos de trabalho de modo a fornecer indicações direcionadas para diferentes fontes quentes. A avaliação foi feita com o suporte de simulador de processos.

Materiais e métodos

Foram selecionadas neste trabalho as fontes de calor residual a serem trabalhadas: fonte solar, correntes quentes da indústria de cimento e de aço. Suas temperaturas foram fixadas em 120°C (QUOILIN et al., 2013), 200°C (AWAIS et al., 2018) e 150°C (ÖNDER, 2014) respectivamente. Ademais, selecionaram-se os fluidos para cada uma dessas fontes: butano, pentano, tolueno e benzeno para a fonte solar, ciclohexano, benzeno, tolueno e 1,1-dicloro-1-fluoretano para as correntes quentes da indústria de cimento e aço. As mínimas diferenças de temperatura entre as fontes quentes e os fluidos de trabalho foram escolhidas arbitrariamente, sendo 10°C para as fontes solar e correntes quentes da indústria de aço e 15°C para as correntes quentes da indústria do cimento.

Simulações para o CRO, com e sem o uso de recuperadores de calor, foram realizadas para cada fonte. A pressão de entrada na turbina (75% de eficiência) foi determinada a partir da especificação da temperatura dessa corrente e com a especificação de que se tratava de vapor saturado. Arbitrou-se a vazão dos fluidos nos ciclos como 100 kg/h em todas as simulações. Para encontrar a pressão de saída da turbina, fixou-se a temperatura de 35°C, por ser uma temperatura razoável para uso de utilidade fria no condensador do ciclo (RAYEGAN e TAO, 2011). O software utilizado para efetuar as simulações foi o DWSIM, com o pacote termodinâmico Peng-Robinson-Stryjek-Vera. Com os resultados obtidos foram gerados gráficos e feitas análises com o objetivo de chegar a conclusões assertivas sobre os resultados atingidos.

Resultados e Discussão

As eficiências dos ciclos operando com os fluidos escolhidos para a fonte solar são mostradas na Figura 1-a, assim como seus trabalhos específicos. Pode-se observar que a maior eficiência alcançada é 13,18% para o ciclo operando com tolueno. Outro fator a ser analisado é o trabalho específico. Nota-se que o maior valor é para o benzeno (65,88 kJ/kg). Esse fator não leva em conta o calor requerido pelo evaporador, logo o ciclo que produzir mais trabalho na turbina terá o maior trabalho específico. No entanto deve-se levar em conta a toxicidade do benzeno ao considerá-lo como escolha, pois este composto oferece risco sério à saúde ocupacional e representa um

desafio substituí-lo na indústria. É interessante observar que, dentre os fluidos avaliados, o tolueno apresentou a maior eficiência, logo não houve coincidência entre fluido de maior eficiência e o que leva à maior produção de trabalho específico.

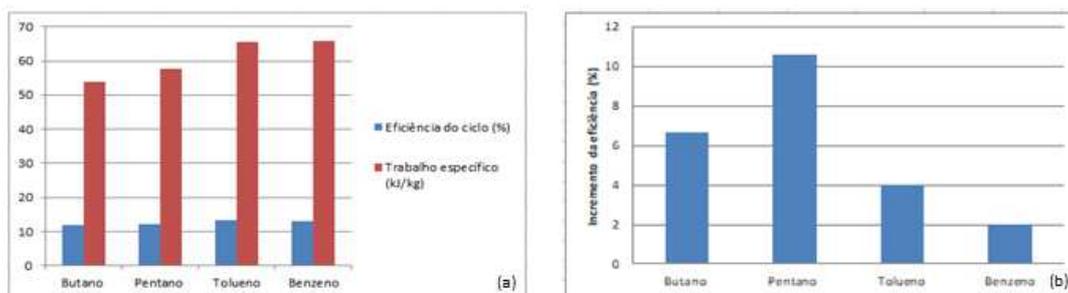


Figura 1. Histogramas de (a) eficiências dos ciclos e trabalhos específicos para diferentes fluidos e (b) incremento das eficiências, pelo uso de recuperadores de calor em CROs operando com fonte solar.

Na Figura 1-b são evidenciados os percentuais de aumento das eficiências dos ciclos operando com os mesmos fluidos da Figura 1-a, mas que possuem recuperadores de calor na sua topologia. Observou-se que para todos os ciclos em que foi testado o recuperador de calor houve melhora na eficiência. Isso se deve à diminuição do calor requerido pelo evaporador, pois a taxa de trabalho produzida pela turbina não foi afetada e conseqüentemente, seu trabalho específico também continuou o mesmo. O ciclo operando com pentano apresentou o maior incremento na eficiência (10,63%) e o que opera com benzeno a menor (1,98%). Como o incremento da eficiência do benzeno foi pequeno, aconselha-se fazer uma análise da relação custo-eficiência para ver se a aplicação do equipamento seria vantajosa.

Para as correntes quentes da indústria de cimento, o ciclo operando benzeno obteve a maior eficiência (19,98%) e o que operou com tolueno atingiu o maior trabalho específico (119,88 kJ/kg). Com o uso dos recuperadores de calor obteve-se o maior incremento (18,66%) para o ciclo operando com ciclohexano.

Para as correntes quentes da indústria do aço, o ciclo que obteve a maior eficiência (16,49%) e trabalho específico (88,92 kJ/kg) operou com benzeno. Com o uso de recuperadores de calor o ciclo que opera com ciclohexano obteve o maior incremento (12,21%).

Não foram expostas neste trabalho imagens referentes aos resultados dos ciclos operando com fontes quentes da indústria do cimento e do aço pelo espaço limitado.

Conclusões

Diante dos resultados e discussões expostos, conclui-se que, para a fonte solar o ciclo que produz a melhor eficiência é o que opera com o tolueno (13,18%) e o que produz melhor trabalho específico é o benzeno (65,88 kJ/kg). Com o uso de recuperadores de calor obtém-se um incremento de eficiência de 1,98% a 10,63%. Para as correntes quentes da indústria do cimento, o ciclo que obteve maior eficiência foi o que operou com benzeno (19,98%) e o que produz maior trabalho específico com o tolueno (119,88 kJ/kg). O incremento de sua eficiência com o uso dos recuperadores de calor variou entre 8,36% e 18,66%. Para as correntes quentes da indústria do aço, o ciclo que operou com benzeno obteve a maior eficiência (16,49%) e trabalho específico (119,88 kJ/kg), enquanto o incremento de eficiência com o uso dos recuperadores de calor variou entre 4,85% e 12,21%. No momento da escolha do fluido adequado deve-se levar em conta não somente a eficiência atingida no ciclo e o trabalho específico, mas também fatores como a toxicidade do fluido e seu custo. Ao escolher-se utilizar ou não os recuperadores de calor também deve-se analisar a relação custo-eficiência, pois o ganho na eficiência pode não compensar o custo do equipamento.

Agradecimentos

As autoras agradecem a UEM pelo apoio na realização do projeto no qual esse trabalho está inserido.

Referências

- AWAIS, A. et al. Design methodology of organic Rankine cycle for waste heat recovery in cement plants. **Applied Thermal Engineering**, v. 129, p. 421-430, 2018.
- ÖNDER, K. Energy and exergy analysis of an organic Rankine for power generation from waste heat recovery in steel industry. **Energy Conversion and Management**, v. 77, p. 108-117, 2014.
- QUOILIN, S. et al. Techno-economic survey of organic rankine cycle (ORC) systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 168–186, 2013.
- RAYEGAN, R.; TAO, Y. X. A procedure to select working fluids for Solar Organic Rankine Cycles (ORCs). **Renewable Energy**, v.36, p. 659-670, 2011.
- VÉLEZ, F. et al. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4175–4189, 2012.