AVALIAÇÃO POTENCIAL DO PROCESSO DE REGASEIFICAÇÃO DO GNL PARA PRODUÇÃO DE POTÊNCIA EM CICLOS UTILIZANDO DIFERENTES CONFIGURAÇÕES E FLUIDOS DE TRABALHO

Palavras-Chave: gás natural, regaseificação, ciclos de potência, simulação

Autores:

Maria Vitória Souza Gonçalves – FEQ/UNICAMP

Prof. Dr. José Vicente Hallak Dangelo (orientador) – FEQ/UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O gás natural é um importante recurso para a geração de energia no mundo todo e para a transição energética visando economias de baixo carbono, no entanto, este recurso assim como outros combustíveis fósseis, está distribuído pelo mundo todo de forma desigual. Por este motivo, faz-se necessário seu transporte em longas distâncias para comercialização em escala global que só é viável em sua forma liquefeita, uma vez que há uma redução de volume da ordem de 600 vezes no seu processo de liquefação, o qual requer aproximadamente 300 a 850 kWh por tonelada de GNL. Por sua vez, chegando ao seu destino, este gás liquefeito passa por um processo de regaseificação para que possa atender as demandas dos consumidores finais e estima-se que sejam necessários 200 a 230 kWh por tonelada de GNL regaseificado (Atienza-Marquez *et al*., 2018).

De acordo com estudo publicado pelo Ministério de Minas e Energia, a previsão para o período entre 2018 e 2035 é de que a demanda mundial por gás natural liquefeito cresça aproximadamente 4% ao ano. Este aumento se deve a múltiplos fatores como os altos níveis de industrialização e de demanda energética mundiais, além dos incentivos à redução da utilização de combustíveis fósseis mais poluentes como o carvão mineral e óleo e a disponibilidade de reservas de gás com baixo custo de exploração. No Brasil, a Agência Nacional de Petróleo divulgou que, em 2021, o volume importado de GNL atingiu recordes devido à crise hidroenergética vivida pelo país, sendo que de janeiro a novembro foram importados o equivalente a 17,7 milhões de metros cúbicos, evidenciando a dependência do mercado brasileiro da importação da forma liquefeita do gás (ANP, 2022).

Portanto, tendo em vista a crescente demanda no Brasil e no mundo do abastecimento de gás natural e a dependência do processo de regaseificação, bem como o dispêndio energético deste, propôs-se estudar maneiras de torná-lo mais eficiente do ponto de vista energético e exergético por meio do aproveitamento do potencial criogênico do GNL para geração de energia em ciclos de potência, como por exemplo: Rankine, Rankine Orgânico e Kalina.

Os objetivos deste projeto de Iniciação Científica consistem em:

- compreender o cenário do gás natural no Brasil e no mundo bem como os aspectos técnicos de sua liquefação, transporte e regaseificação identificando possíveis melhorias;
- estudar os principais ciclos de produção de potência, avaliando seu desempenho com diferentes configurações, fluidos de trabalho, condições de operação e suas particularidades;
- realizar simulações envolvendo estes ciclos termodinâmicos e processos de regaseificação do gás natural liquefeito, avaliando o potencial para geração de energia elétrica;
- realizar uma análise paramétrica da influência das variáveis do processo sobre sua eficiência energética e exergética;
- propor um ciclo adequado aos propósitos de geração de energia por meio de variações dos ciclos estudados.

METODOLOGIA:

A metodologia utilizada foi baseada na montagem e simulação dos ciclos termodinâmicos em software computacional *Aspen Hysys* v.10. Para validação desta metodologia e da ferramenta utilizada foram simulados alguns ciclos distintos com dados provenientes da literatura, a fim de assegurar a viabilidade do estudo por meio desta ferramenta e a reprodutibilidade dos resultados.

Para a avaliação dos parâmetros de influência no ciclo foram utilizados os conceitos de trabalho líquido e eficiência, cuja análise conjunta permite concluir as faixas de operação de maior rendimento. Foram utilizadas as ferramentas "*Spreadsheet*" e "*Databook"*. O trabalho líquido foi calculado pela soma dos trabalhos gerados e consumidos no ciclo, assim:

$$W_{líq} = W_{turbina1} + W_{turbina2} - W_{bomba1} - W_{bomba2} - W_{bomba3} - W_{bomba4} - W_{bomba5} \quad (1)$$

Por sua vez, o calor total foi obtido pelo balanço de energia para a água do mar no evaporador e vaporizador.

$$Q_{total} = Q_{evaporador} + Q_{vaporizador} \quad (2)$$

$$Q_{evaporador} = m_{mar1}(h_{11} - h_{11}) \quad (3)$$

$$Q_{vaporizador} = m_{mar2}(h_{14} - h_{13}) \quad (4)$$

Deste modo, foi possível obter a eficiência do ciclo:

$$\eta = \frac{W_{líq}}{Q_{total}} \tag{5}$$

O ciclo apresentado como caso base em Resultados e Discussão foi o Ciclo Rankine Orgânico com dois estágios de condensação, também chamado de TCRC (*Two-stage Condensation Rankine Cycle*), com pressão de distribuição equivalente a 70 bar e fluido de trabalho R-290 (propano) apresentado e analisado por Bao *et. al*, 2017.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Alguns dos resultados estão sumarizados nesta seção para um dos ciclos estudados. A Figura 1 apresenta a montagem do ciclo TCRC no ambiente do simulador. Este caso base apresentou um total de 74,3 kW de trabalho líquido produzido, calor total consumido de 423,7 kW e eficiência de 17,54%.

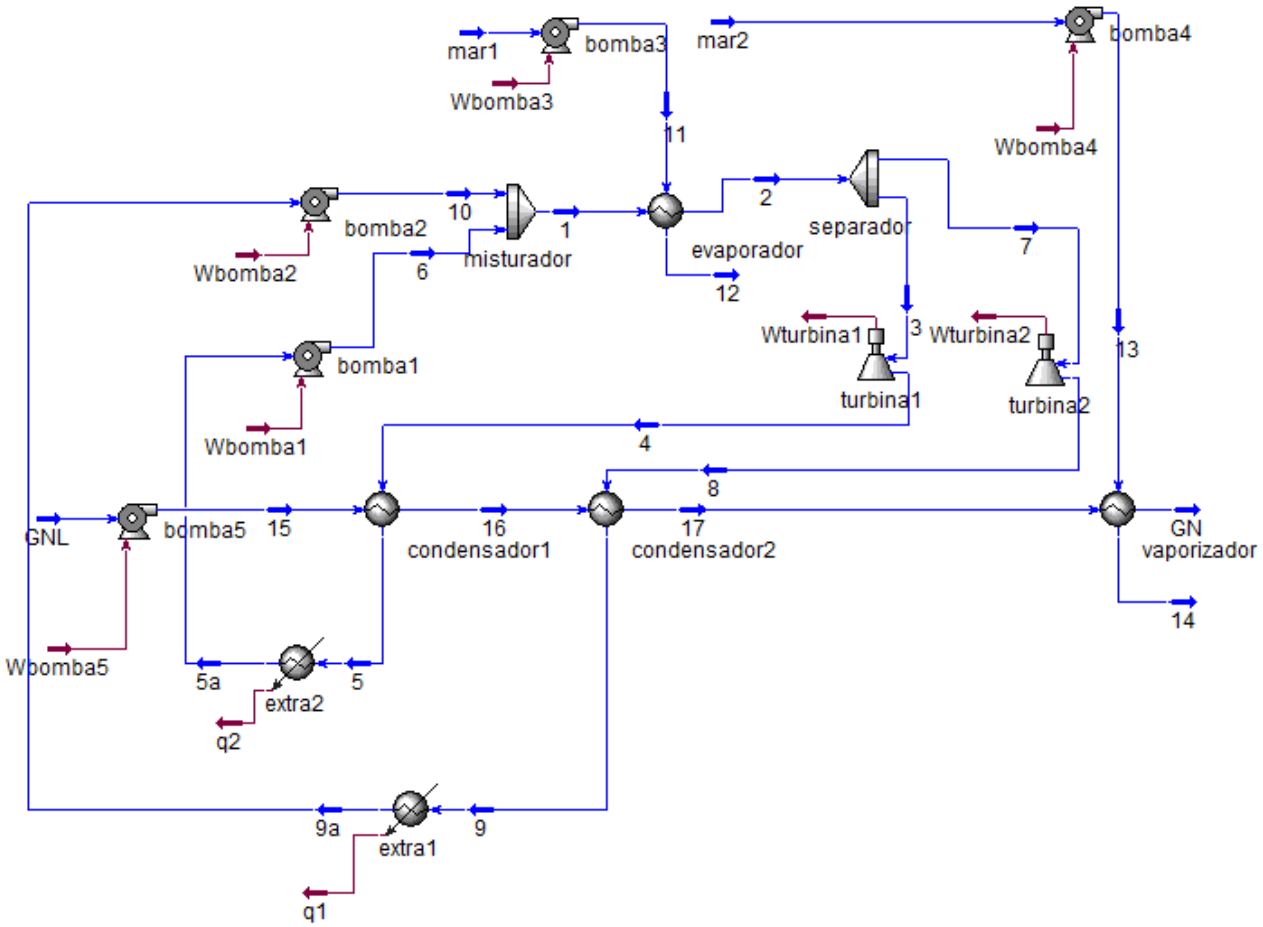

Figura 1- Montagem do Ciclo Rankine Orgânico com dois estágios de condensação (Autor, 2022)

Além das análises realizadas no artigo utilizado para o caso base foram propostas análises da pressão de operação da caldeira pela variação da pressão das correntes 6 e 10 (Figura 2a e 2b) e temperatura de saída do evaporador. Também foi avaliado o perfil de variação da eficiência e do trabalho líquido para a faixa de 0 a 100 bar de pressão de distribuição.

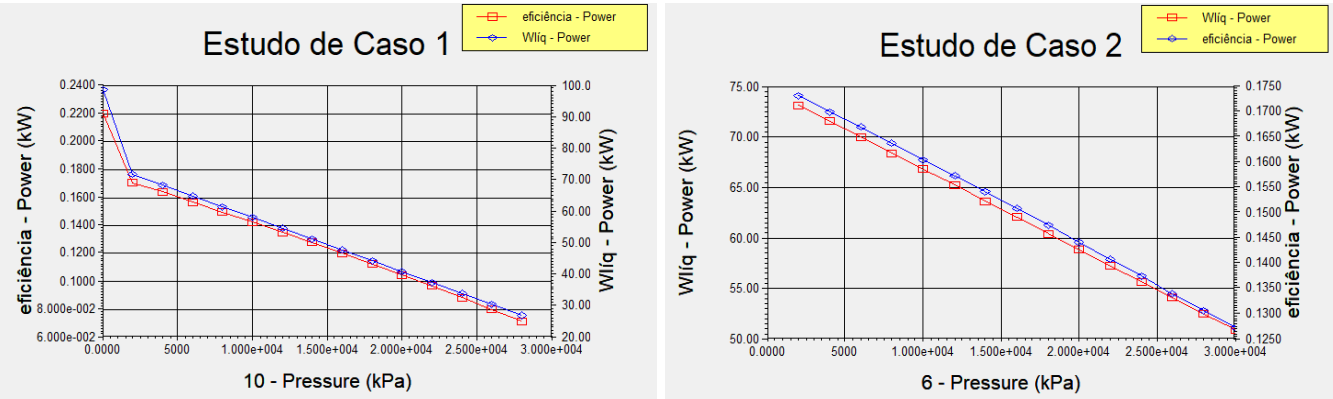

Figura 2- a) e b) Influência da pressão de operação do evaporador no trabalho líquido e eficiência do ciclo (Autor, 2022).

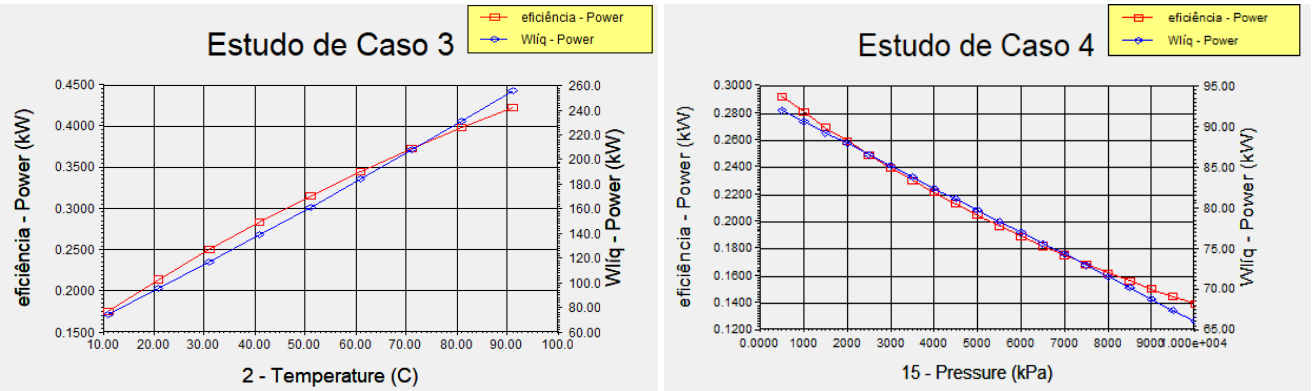

Figura 3- a) Influência da temperatura de saída do evaporador no trabalho líquido e eficiência do ciclo; b) Influência da pressão de distribuição do gás natural no trabalho líquido e eficiência do ciclo (Autor, 2022).

As Figuras 2a) e 2b) permitiram concluir que garantir uma menor pressão de operação no evaporador por meio da manipulação das pressões de saída das duas bombas anteriores a ele, para o Ciclo Rankine Orgânico com dois estágios, proporciona um aumento da eficiência e do trabalho líquido do ciclo, sendo desejável. Por sua vez, o aumento da eficiência e trabalho líquido também pode ser obtido pelo aumento da temperatura de saída do evaporador, que apesar de elevar o calor total consumido, o compensa por uma maior geração de trabalho nas turbinas e maior eficiência.

Por fim, confirmando o esperado pelas análises de Bao *et. al*, 2017, o aumento da pressão de distribuição do gás natural, ou seja, sua pressão de vaporização, ocasiona uma redução no trabalho líquido gerado e na eficiência do ciclo, assim é desejável que esta seja mantida em valores intermediários, a dependes dos fins propostos para o gás.

CONCLUSÕES:

A implementação dos resultados de artigo da literatura no Aspen Hysys e a conferência dos valores obtidos com divergências aceitáveis permite concluir que o software é adequado para desenvolver os trabalhos posteriores com variações dos ciclos e adequações a realidade na qual se deseja implantar o ciclo de potência para geração de energia permitindo a reprodutibilidade dos resultados encontrados.

A análise da influência dos parâmetros isolados na eficiência e trabalho líquido do ciclo leva a *insights* a respeito de modificações que podem ser realizadas a nível macroscópico do processo como: a possibilidade de aumentar a carga térmica no evaporador ou até mesmo proporcionar um aquecimento em mais de um estágio ou mesmo adequar a instalação do ciclo de potência a terminais de regaseificação cujo gás natural regaseificado seja destinado a menores pressões de distribuição como aqueles associados as redes de transmissão secundária no Brasil, com pressão máxima entre 16 bar e 60 bar.

É importante ressaltar que o presente projeto ainda está em andamento e os dados apresentados são apenas preliminares, outros resultados serão obtidos por meio da simulação e variação de ciclos distintos do apresentado neste resumo com o objetivo de obter um melhor desempenho e avaliá-los do ponto de vista da viabilidade de implementação na realidade dos terminais de regaseificação do Brasil.

AGRADECIMENTOS:

À Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo fomento ao ANP/PRH e à Financiadora de Estudos e Projetos - Finep responsável pela bolsa de Iniciação Científica com a qual tem sido possível desenvolver este projeto. Gostaria de agradecer também à Coordenadora do PRH 29.1 Profª Mariana Conceição da Costa – FEQ/UNICAMP e ao meu orientador Prof. José Vicente Hallak Dangelo – FEQ/UNICAMP, sem o apoio dos quais não seria possível executar o projeto.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural - Circulação Externa. n. 137, 28 fev. 2022.

ATIENZA-MÁRQUEZ, A.; BRUNO, J. C.; CORONAS, A. Cold recovery from LNG-regasification for polygeneration applications. Applied Thermal Engineering, n. 132, p. 463-478, 24 dec. 2017.

BAO, J.; LIN, Y.; ZHANG, R.; ZHANG, N.; GAOHONG, H. Strengthening power generation efficiency utilizing liquefied natural gas cold energy by a novel two-stage condensation Rankine cycle (TCRC) system. Energy Conversion and Management, n. 143, p. 312-325, 12 apr. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Report: International LNG Market: Impacts on Brazil. Rio de Janeiro, RJ, 03 set. 2018.