

## ANÁLISE TERMO-AMBIENTAL DE USINAS TERMELÉTRICAS DE CICLO COMBINADO DE ALTA EFICIÊNCIA COM O USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO IMPORTADO VISANDO A SEGURANÇA ENERGÉTICA

Vinícius Santana Trindade (IC)<sup>1</sup>, Rogério José da Silva (PQ)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Ciclo Combinado. Gás natural. Gás natural liquefeito. Segurança energética. Turbinas.

### Introdução

Em vista da implementação de fontes renováveis de energia elétrica, visando mitigar as emissões de poluentes, assim como a constante e crescente demanda por energia, faz-se necessária a implementação de formas eficientes de geração que promovam segurança à matriz energética. Portanto, considerando o cenário atual, a implementação de usinas termelétricas de ciclo combinado de gás natural, são uma alternativa economicamente e ecologicamente interessante. Uma das características desse tipo de central é possuir alta eficiência térmica e um baixo para entrada em operação e possibilidade de alcançar rampas de aumento e redução de potência muito alto, e menores valores de emissões de CO<sub>2</sub>, quando comparadas às usinas a carvão, por exemplo. Assim, quando levado em conta a variabilidade das fontes renováveis, frente a alta demanda por energia associada a busca alternativas ecologicamente sustentáveis, fontes como o gás natural, são capazes de suprimir rapidamente e de forma eficiente, os requisitos de uma matriz moderna. Desta forma, a presente pesquisa tem por objetivo detalhar o funcionamento de uma planta termelétrica a gás natural de ciclo combinado, analisando seus equipamentos e seu potencial.

### Metodologia

Na elaboração deste trabalho, foi visada a análise do funcionamento de uma usina termelétrica de ciclo combinado com a aplicação de gás natural como combustível. Desta forma, foram estudados artigos, livros, documentos anuais e sites de empresas e instituições especializadas no assunto, como a *International Energy Agency* (IEA), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a *International Gas Union*. Sequencialmente, foi estudado os principais componentes que compõem em essência o funcionamento de uma termelétrica a gás natural, além da análise dos equipamentos e infraestruturas

necessárias para o uso de GNL. Realizou-se, assim, a descrição dos componentes do ciclo combinado: a turbina a gás, a caldeira de recuperação e a turbina a vapor, além de uma caracterização do gás natural, de diferentes origens, que podem ser empregados. De posse destas informações, foi selecionada uma usina termelétrica existente, recente e de tecnologia avançada, da qual o projeto e os dados puderam ser consultados, sendo essa, *Study on Gas-Fired Combined Cycle Power Plant Project in Malaysia* (2016), elaborada pela *Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.* Os dados desta planta, combinado a fundamentação teórica feita em conjunto, foram utilizados para a realização de uma análise termodinâmica da planta, obtendo suas eficiências e sua capacidade de geração para o emprego gás natural de diferentes origens, avaliando qual seria o custo para a produção de energia e a quantidade de gás carbônico resultante. Por fim, foi realizada uma análise dos impactos causados pela alta no preço do gás, de como isso afeta a geração e da busca pela suplementação do combustível para atender a demanda de forma segura para a matriz energética.

### Resultados e discussão

Visando compreender o funcionamento, rendimento e eficiência de uma central termelétrica de ciclo combinado de gás natural, assim como avaliar o custo atual de operação para gás natural de diferentes origens, tendo em vista a alta flutuação do preço, foi realizado um estudo de caso. Portanto, este trabalho utilizou de um projeto de planta termelétrica, a qual aplica *state of the art* em termos de tecnologia disponível atualmente, projetada para Malásia, na província de Kuantan, pela *Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.* A planta selecionada utiliza de uma turbina a gás da Mitsubishi modelo MHPS – M701J, com geração de 478.000,00 kW, de acordo com o projeto em questão, sendo a produção total da instalação em ciclo combinado visada para 500 - 700 MW. Como a planta selecionada utiliza de uma turbina da Mitsubishi, com uma eficiência de 42,3 %. De posse dos dados da turbina a gás, faz-se

necessário o cálculo do poder calorífico do gás natural que será aplicado para a operação da usina. Sendo assim, foram selecionadas as composições do gás natural provindo dos Estados Unidos, Noruega, China e no Brasil, citados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composições do gás natural analisado.

Origem	N <sub>2</sub> %	Metano %	Etano %	Propano %	C <sub>4</sub> %
Brasil <sup>1</sup>	0,8%	89,40%	6,70%	2,2%	0,5%
Alasca	0,2%	99,7%	0,1%	0,0%	0,0%
Noruega	0,8%	91,8%	5,7%	1,3%	0,4%
China	0,7%	81,6%	13,4%	3,7%	0,7%

Fonte: CHARLES (2012). <sup>1</sup>ABREU & MARTINEZ (1999).

De posse destes dados, foi feita a análise de qual seria o poder calorífico e o custo da geração de energia da planta termelétrica de acordo com cada origem de gás natural empregado, sendo cotado o custo do gás natural de acordo com as informações do *World Bank*, no mês de setembro de 2023, para a Europa, o Japão e os Estados Unidos, assim como para o Brasil (ABREU & MARTINEZ, 1999). Os resultados obtidos foram compilados na Tabela 2, com foco no custo e consumo de gás diário para geração no Brasil.

Tabela 2 – Poder calorífico e custo em dólar para diferentes origens do gás natural.

Origem do gás natural	PCI estimado kJ/m <sup>3</sup>	Custo US\$/dia Brasil
Brasil	36.336,42	3.268,37
Alasca	33.461,86	3.549,14
Noruega	35.666,40	3.329,77
China - Xinchang	34.496,99	3.442,65

Fonte: Calculado pelo autor a partir de dados da Tabela 1 (2023).

Para realizar a análise termodinâmica foi selecionado o gás natural do Brasil, utilizando dele para calcular os fluxos de massa, as eficiências do sistema, a potência das turbinas a gás e a vapor, assim como o valor líquido geral. Portanto, o poder calorífico do gás natural selecionado é de 36336 kJ/m<sup>3</sup>, considerando uma pressão de 101325 Pa e uma temperatura de 293,15 K, vindas da turbina em questão. Em posse do PCI, da potência de saída da turbina de 478.000 kW e da eficiência de 42,3%, é possível determinar a vazão mássica de gás 31,10 m<sup>3</sup>/s. A partir disto, conclui-se que a potência elétrica total da planta é de 634.153

kW e, considerando o resultado estimado para o gás natural de 36336 kJ/m<sup>3</sup>, a eficiência total da planta é de, aproximadamente, 56 %.

## Conclusões

Os avanços tecnológicos e as políticas atuais de geração de energia, visam a produção de energia eficiente, ecologicamente sustentável e que atenda a crescente demanda por eletricidade. Entretanto, o atendimento da demanda energética global vem enfrentando problemas, com crises ocasionadas por fatores políticos, como o conflito entre Rússia e Ucrânia que se iniciou em 2022, de saúde, como a crise de COVID-19 entre 2019 e 2022, e ambientais, como a crise hídrica que o Brasil enfrentou em 2021 e a Europa e Ásia enfrentaram em 2022. Esses fatores levaram a dificuldade de fornecimento de combustíveis, como o gás natural na Europa, assim como outros impedimentos, como a falta de água para a geração de vapor em termelétricas a carvão, ou como fluido de trabalho, em hidrelétricas. Isso, em conjunto da crescente implementação de fontes renováveis, como a eólica e a solar, as quais estão submetidas a uma dependência de fatores ambientais. Logo, a implementação de formas de geração de energia de alta eficiência e aproveitamento máximo do combustível empregado é essencial para atingir a estabilidade no fornecimento de eletricidade. Portanto, as usinas termelétricas a gás natural de ciclo combinado são uma alternativa capaz de realizar a geração eficaz de energia, principalmente tendo em vista a necessidade de produzir eletricidade de forma mais limpa, porém com flexibilidade de implementação de acordo com a demanda e com um alto potencial a ser fornecido. Entretanto, existem fatores que precisam ser considerados na aplicação de uma termelétrica de gás natural. O combustível em si demanda investimentos para a entrega segura e adequada, seja na forma de gás natural liquefeito ou por gasodutos, faz-se necessária a construção de infraestrutura. Essa, ao longo da motivação deste trabalho, foi evidenciada, uma vez que a interrupção do fornecimento de gás na Europa resultou em novos projetos de adequação para o recebimento e aproveitamento do gás liquefeito. Neste estudo, demonstrou-se a importância que a qualidade do gás natural tem na potência e eficiência gerada por uma planta, seu o poder calorífico do combustível inegavelmente relacionada a composição química do mesmo. Assim, faz-se necessário o planejamento de qual será a fonte do gás aplicado tendo em vista o quanto se espera gerar de energia elétrica. Outro ponto

destacado no decorrer deste estudo é a seleção da turbina a gás que será selecionada, pois a eficiência térmica desta influenciará não só em sua geração, mas também na geração de calor fornecido ao restante do ciclo combinado. A análise da planta de Kuantan, com o uso de um gás de origem brasileira, com PCI de 36336 kJ/m<sup>3</sup>, permitiu a obtenção de uma potência elétrica gerada de 634.153 kW a uma eficiência de aproximadamente 56%, um valor que seria produzido de forma constante, em uma usina que necessita de pouco tempo para integrar-se a uma matriz energética. Isso faz com que a operação conjunta de fontes renováveis e termelétricas de ciclo combinado se complementam, uma vez que, como foi relatado neste trabalho, as fontes renováveis são intermitentes e condicionadas ao comportamento climático adequado. Ou seja, uma geração dessa capacidade é capaz de fornecer segurança ao sistema elétrico frente a imprevistos ou falhas.

### **Agradecimentos**

Agradeço a Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade de aprendizado e ao Professor Rogério José da Silva pela orientação e apoio.

### **Referências**

TOKYO ELECTRIC POWER SERVICES CO., LTD. **Study on Gas-Fired Combined Cycle Power Plant Project in Malaysia.** 2016.

ABREU, P. L.; MARTINEZ, J. A. **Gás natural – o combustível do novo milênio.** Plural Comunicação. Porto Alegre, p. 9-70,1999.

THE WORLD BANK. **Commodity Markets.** 2023. Disponível em:  
<https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

CHARLES E. Baukal Jr. **The John Zink Hamworthy combustion handbook.** 2ª edição. Volume 1. 2012.