

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DIDÁTICO PARA ANÁLISE TERMODINÂMICA DE TURBINAS A GÁS: CICLO BRAYTON COM E SEM REGENERAÇÃO

Edilson Marinho da Silva Júnior ⁽¹⁾ (edilson.marinho01@gmail.com), Cleiton Rubens Formiga Barbosa ⁽²⁾ (crfb2019@gmail.com), Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior ⁽²⁾ (cleitonformiga@gmail.com), Cleber Medeiros de Lucena ⁽¹⁾ (cleber.lucena@ifrn.edu.br), Anderson Felipe Chaves Fortes ⁽³⁾ (anderson.fortesem@ifpi.edu.br)

⁽¹⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica

⁽³⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

RESUMO: A presente pesquisa teve como propósito o desenvolvimento de uma ferramenta didática de simulação capaz de estimular o treinamento e aprendizado de conceitos sobre turbinas a gás ciclos de potência estudantes do curso de energia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) de conceitos relacionados a ciclos de potência a gás. que utiliza conceitos da indústria 4.0 em ambiente de sala de aula para motivação e treinamento de conceitos alunos do curso de engenharia de energia do IFRN no processo de ensino-aprendizagem. treinamento de estudantes do curso de energia de ensino médio e superior do instituto simulação e análise de ciclos termodinâmica de turbinas a gás potência a gás Brayton, de modo a determinar os principais dados termodinâmicos e exergéticos dos ciclos e dos dispositivos que os compõem e contribuir no estudo e desenvolvimento de projetos termodinâmicos em termelétricas a gás natural. Serão realizadas análises energéticas e exergéticas dos ciclos de potência a gás Brayton com e sem regeneração utilizando-se algumas hipóteses simplificadoras: processos em regime permanente, processos adiabáticos em compressores e turbinas etc. O software didático proposto nesta pesquisa de simulação de ciclos de potência a gás Brayton apresenta interface amigável com o usuário e nível de confiabilidade de parâmetros termodinâmicos superior a 85%.

PALAVRAS-CHAVE: Motores diesel, tribologia, desgaste, desempenho, gás natural liquefeito, manutenção.

DEVELOPMENT OF TEACHING SOFTWARE FOR THERMODYNAMIC ANALYSIS OF GAS TURBINES: BRAYTON CYCLE WITH AND WITHOUT REGENERATION

ABSTRACT: The purpose of this research was to develop a teaching simulation tool capable of stimulating the training and learning of concepts about gas turbine power cycles for students of the energy course at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Norte (IFRN) of concepts related to gas power cycles. It uses concepts from Industry 4.0 in a classroom environment to motivate and train students of the energy engineering course at IFRN in the teaching-learning process. Training of students of the high school and higher education energy course at the institute simulation and analysis of thermodynamic cycles of gas turbines Brayton gas power, in order to determine the main thermodynamic and exergy data of the cycles and the devices that compose them and contribute to the study and development of thermodynamic projects in natural gas thermoelectric plants. Energy and exergy analyzes of Brayton gas power cycles with and without regeneration will be carried out using some simplifying hypotheses: steady-state processes, adiabatic processes in compressors and turbines, etc. The educational software proposed in this Brayton gas power cycle simulation research presents a user-friendly interface and a reliability level of thermodynamic parameters higher than 85%.

KEYWORDS: Ciclo Brayton, software, simulação computacional, regeneração, exergia.

1. INTRODUÇÃO

A denominação indústria 4.0 foi criada e desenvolvida em 2011, na Alemanha, quando um conjunto de representantes da tríplice: governo, empresas e academia promoveram a ideia de uma abordagem que tinha como intuito aperfeiçoar a competitividade da indústria alemã. Nesse ensejo, o governo alemão anunciou que esse conceito faria parte da High-Tech Strategy 2020 for Germany, cuja finalidade seria levar a Alemanha à liderança na inovação tecnológica (KAGERMANN et al., 2013 apud MARINHO, 2018).

A indústria 4.0 trouxe ainda ao cenário mundial a necessidade de desenvolvimento de ações estratégicas nas áreas de ciências, tecnologia e inovação capazes de agregar melhores tecnologias de forma a garantir maior confiabilidade nas tomadas de decisões através da velocidade em análise de processos por meio de plataformas ciberfísicas de simulação real assistida, na área de energias (Marinho, 2019).

Observou-se a necessidade de desenvolvimento de plataformas digitais capazes de simular plantas de polos industriais de geração de energia elétrica e atrelado a isso metodologias facilitadoras do processo ensino-aprendizagem nas áreas das engenharias de energia com foco no desenvolvimento de habilidades e aptidões em simulações de plantas industriais em espaços ciberfísicos, por meio de softwares educativos (Marinho, 2019).

A metodologia ativa se utiliza da problematização como principal estratégia de ensino-aprendizagem, com o objetivo motivacional ao discente quando se depara com um problema, levando-o ao encontro com as informações e o desenvolvimento do conhecimento para solucionar os revezes e garantir o seu próprio desenvolvimento. Trata-se de uma metodologia libertadora direcionada para formação ativa, mostrando a necessidade de aprender a aprender. O ensino é centrado no estudante e a educação é problematizadora, fundamentada no diálogo entre o professor e o estudante, valorizando os conhecimentos colhidos de experiências da vida profissional do docente (COVIZZI; LOPES DE ANDRADE, 2012).

Devido a necessidade de estratégias e ferramentas que cada vez mais inicie os discentes ao universo da indústria 4.0, a sinergia entre modelos de metodologias ativas englobando conceitos e ferramentas da indústria 4.0 nos cursos de engenharia mecânica vem sendo cada vez mais atrativas para a motivação e ao entendimento de conceitos e conteúdos complexos. Com isso, diversas ferramentas da metodologia ativa vêm sendo usadas para esse fim, dentre elas temos as tecnologias educativas, voltadas, nesse objeto de estudo, aos estudos de simulações termodinâmicas em ciclos de potência a gás utilizados nas usinas termelétricas a gás natural (Marinho, 2019).

Dito isso, o presente trabalho visa apresentar um recorte do trabalho de conclusão de curso do autor, que consiste em fundir ferramentas da metodologia ativa com os conceitos da indústria 4.0

no estudo da energia, por meio da elaboração de um software de simulação didática dos ciclos de potência a gás Brayton simples e com regeneração, de modo a determinar os principais dados termodinâmicos e exergeticos dos ciclos e dos dispositivos que os compõem e contribuir no estudo e desenvolvimento de projetos termodinâmicos em termelétricas a gás natural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

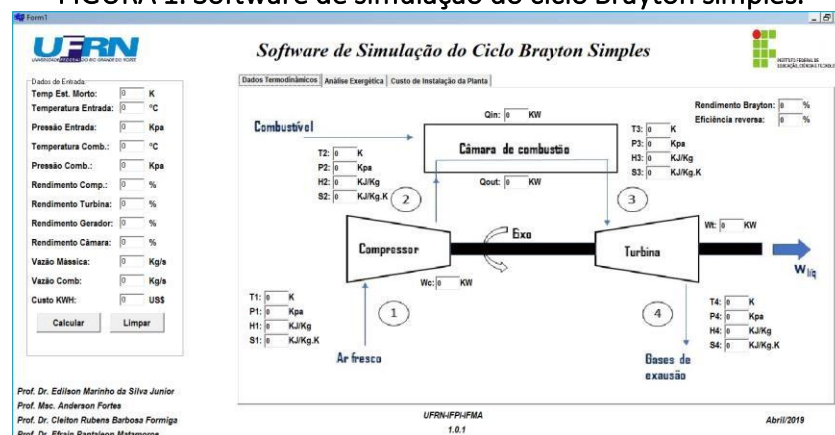
Segue a metodologia, por partes, do software, destacando os dois ciclos de potência a gás Brayton: Ciclo Brayton Simples e Ciclo Brayton com Regeneração.

Ambos os softwares de simulação de análise do ciclo Brayton se configuram como um programa, voltado para análises acadêmicas, capazes de efetuar análises energéticas e exergeticas de ciclos termodinâmicos do tipo Brayton simples e com regeneração

Os programas foram desenvolvidos utilizando a IDE do Borland C++Builder 6 em linguagem C++. No software foi utilizado apenas componentes nativos da IDE sem a utilização de componentes terceiros, o que permite realizar as manutenções e atualizações de forma simples e fácil, sem que haja necessidade de instalação de um outro programa. O software possibilita um fácil manuseio utilizando apenas uma tela gráfica dispostas de duas abas e uma caixa com os dados de entrada, onde os dados de entrada são inseridos pelo usuário.

Na figura 1 pode ser vista a tela principal do programa de simulação de análise do ciclo Brayton simples. Na tela principal está disposto as regiões de dados de entrada, abas de análises termodinâmicas, autores do programa, ano do programa, versão e siglas das universidades e institutos parceiros no desenvolvimento do software.

FIGURA 1. Software de simulação do ciclo Brayton simples.



Fonte: Marinho (2019).

A tela principal permite que o usuário preencha os dados de entrada para análise dos

resultados termodinâmicos da simulação.

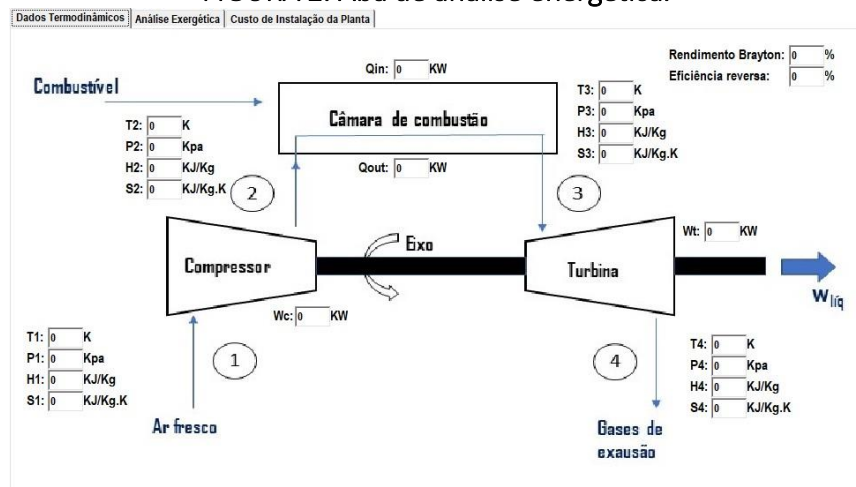
Os dados de entrada fornecidos pelo usuário no programa são fixos, sendo necessário preencher os seguintes dados: Temperatura de estado morto (K), Temperatura de entrada (°C), Pressão de entrada (Kpa), Temperatura de combustão (Kpa), Pressão de combustão (Kpa), Rendimento do compressor (%), Rendimento da turbina (%), Rendimento do gerador (%), Rendimento da câmara de combustão (%), Vazão mássica (Kg/s), Vazão com combustível (Kg/s) e custo do KWh (US\$). Inserido os dados de entrada se faz necessário o usuário apertar em “Calcular”, onde o software calcula os dados necessários para análise energética e exergética.

O software calcula dos dados de análise energética e exergética por meio dos dados de entrada, o qual as avaliações estão separadas em duas abas: Dados termodinâmicos e Análise exergética.

Na aba denominada Dados termodinâmicos está disposto uma figura representando o ciclo termodinâmico Brayton Simples, composta por um compressor, câmara de combustão e uma turbina, onde são calculados, com base nos dados de entrada, os seguintes dados: Temperatura – T1 (K), Pressão – P1 (Kpa), Entalpia – H1 (KJ/Kg) e Entropia – S1 (KJ/Kg.K) na entrada do compressor; Temperatura – T2 (K), Pressão – P2 (Kpa), Entalpia – H2 (KJ/Kg) e Entropia – S2 (KJ/Kg.K) na saída do compressor; Temperatura – T3 (K), Pressão – P3 (Kpa), Entalpia – H3 (KJ/Kg) e Entropia – S3 (KJ/Kg.K) na saída da câmara de combustão; e Temperatura – T4 (K), Pressão – P4 (Kpa), Entalpia – H4 (KJ/Kg) e Entropia – S4 (KJ/Kg.K) na saída da turbina.

Além dos citados, também são calculados o Trabalho do compressor – Wc (KW), Trabalho da turbina – Wt (KW), calor de entrada – Qin (KW), calor rejeitado – Qout (KW), o Rendimento de Brayton (%) e a Eficiência reversa (%), conforme figura 2.

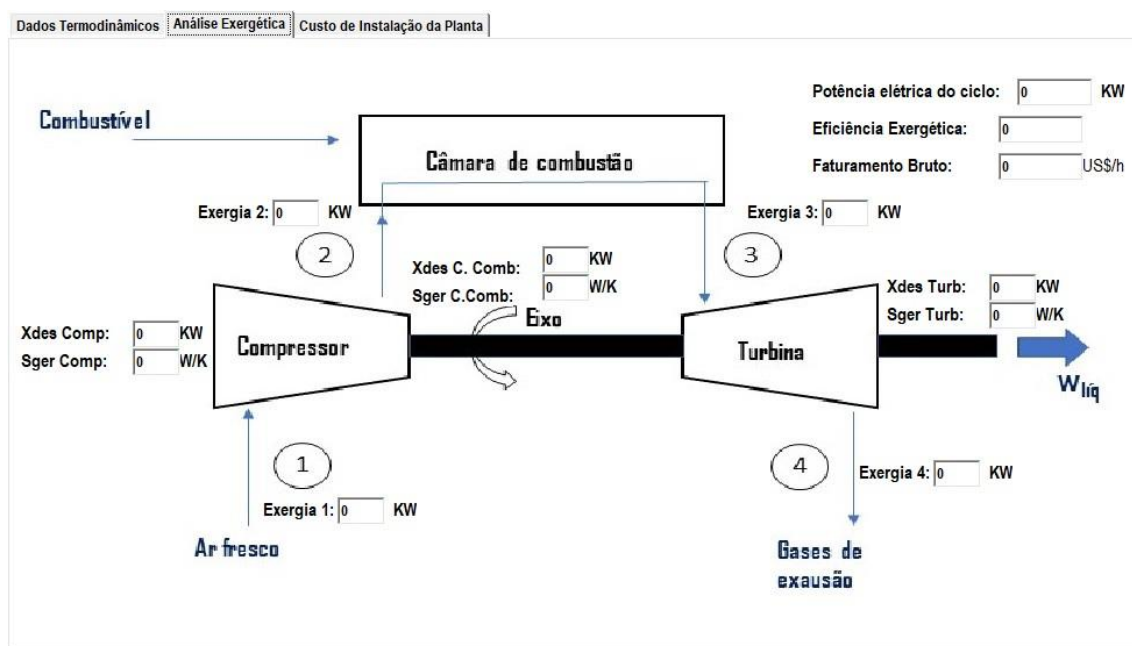
FIGURA 2. Aba de análise energética.



Fonte: Marinho (2019).

Na aba denominada Análise exergética está disposto uma figura representando o ciclo termodinâmico Brayton Simples, composta por um compressor, câmara de combustão e uma turbina, onde são calculados, com base nos dados de entrada, os seguintes dados: Exergia 1 (KW) na entrada do compressor, Exergia destruída do compressor – $X_{des\ Comp}$ (KW) e Entropia gerada do compressor – $S_{ger\ Comp}$ (W/K); Exergia 2 (KW) na saída do compressor, Exergia destruída da câmara de combustão – $X_{des\ C. Comb}$ (KW) e Entropia gerada da câmara de combustão – $S_{ger\ C. Comb}$ (W/K); Exergia 3 (KW) na saída da câmara de combustão, Exergia destruída da turbina – $X_{des\ Turb}$ (KW), Entropia gerada da turbina – $S_{ger\ Turb}$ (W/K) e Exergia 4 (KW) na saída da turbina. Além desses dados são calculados a Potência elétrica do ciclo (KW), Eficiência Exergética (%) e Faturamento bruto (US\$/h), conforme figura 3.

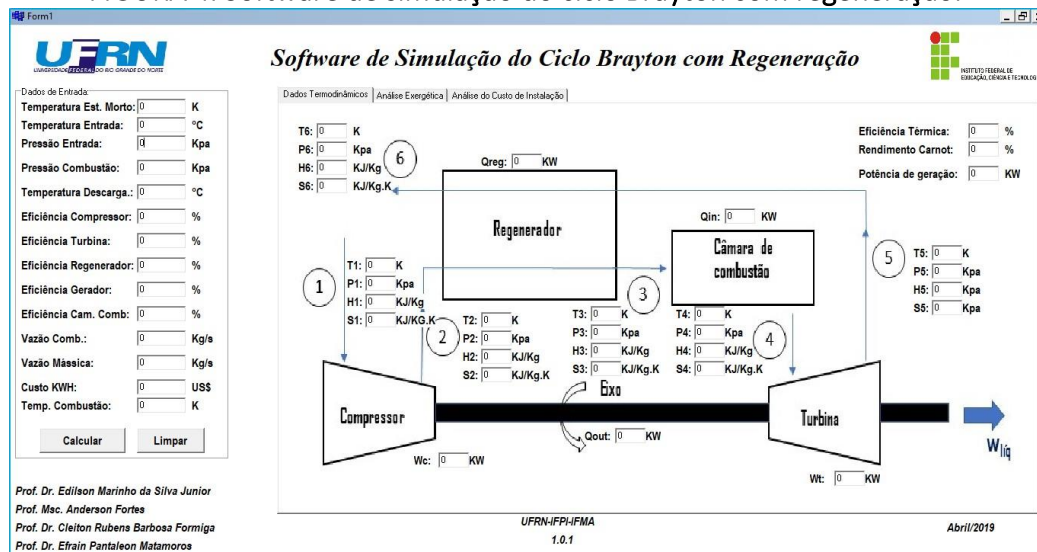
FIGURA 3. Aba de análise exergética.



Fonte: Marinho (2019).

Na figura 4 pode ser vista a tela principal do programa de simulação de análise do ciclo Brayton com regeneração. Na tela principal está disposto as regiões de dados de entrada, abas de análises termodinâmicas, autores do programa, ano do programa, versão e siglas das universidades e institutos parceiros no desenvolvimento do software.

FIGURA 4. Software de simulação do ciclo Brayton com regeneração.



Fonte: Marinho (2019).

A tela principal permite que o usuário preencha os dados de entrada para análise dos resultados termodinâmicos da simulação.

Os dados de entrada fornecidos pelo usuário no programa são fixos, sendo necessário preencher os seguintes dados: Temperatura de estado morto (K), Temperatura de entrada (°C), Pressão de entrada (Kpa), Temperatura de combustão (Kpa), Pressão de combustão (Kpa), Eficiência do compressor (%), Eficiência da turbina (%), Eficiência do regenerador (%), Eficiência do gerador (%), Eficiência da câmara de combustão (%), Vazão mássica (Kg/s), Vazão com combustível (Kg/s), custo do KWh (US\$) e Temperatura de combustão (K). Inserido os dados de entrada se faz necessário o usuário apertar em “Calcular”, onde o software calcula os dados necessários para análise energética e exérgica.

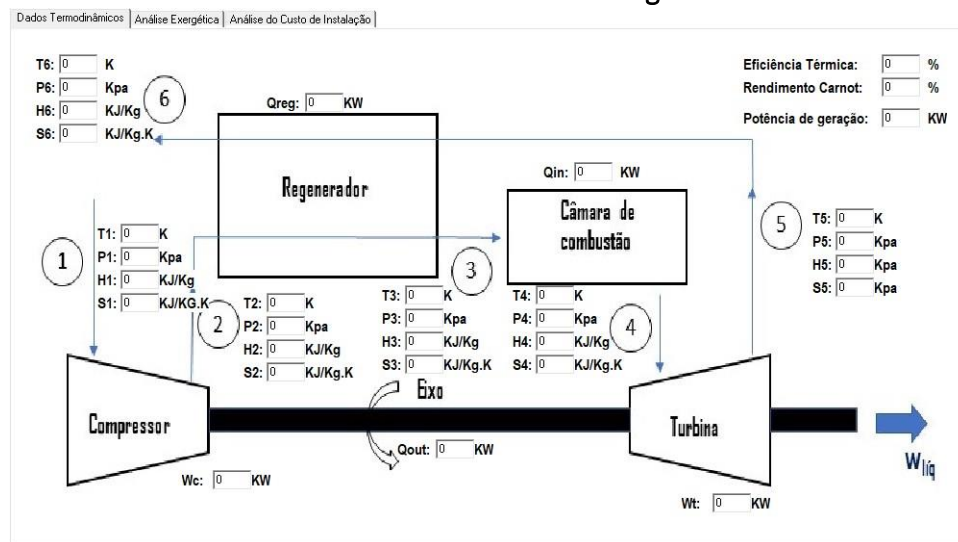
O software calcula dos dados de análise energética e exérgica por meio dos dados de entrada, o qual as avaliações estão separadas em duas abas: Dados termodinâmicos e Análise exérgica.

Na aba denominada Dados termodinâmicos está disposto uma figura representando o ciclo termodinâmico Brayton Simples, composta por um compressor, câmara de combustão e uma turbina, onde são calculados, com base nos dados de entrada, os seguintes dados: Temperatura – T1 (K), Pressão – P1 (Kpa), Entalpia – H1 (KJ/Kg) e Entropia – S1 (KJ/Kg.K) na entrada do compressor; Temperatura – T2 (K), Pressão – P2 (Kpa), Entalpia – H2 (KJ/Kg) e Entropia – S2 (KJ/Kg.K) na saída do compressor; Temperatura – T3 (K), Pressão – P3 (Kpa), Entalpia – H3 (KJ/Kg) e Entropia – S3 (KJ/Kg.K) na entrada da câmara de combustão; Temperatura – T4 (K), Pressão – P4 (Kpa), Entalpia – H4 (KJ/Kg) e Entropia – S4 (KJ/Kg.K) na saída da câmara de combustão; Temperatura – T5 (K), Pressão – P5 (Kpa),

Entalpia – H_5 (KJ/Kg) e Entropia – S_5 (KJ/Kg.K) na saída da turbina; e Temperatura – T_6 (K), Pressão – P_6 (Kpa), Entalpia – H_6 (KJ/Kg) e Entropia – S_6 (KJ/Kg.K) na saída do regenerador para o ambiente.

Além dos citados, também são calculados o Trabalho do compressor – W_c (KW), Trabalho da turbina – W_t (KW), calor do regenerador – Q_{reg} (KW), calor de entrada – Q_{in} (KW), calor rejeitado – Q_{out} (KW), o Eficiência térmica (%), Eficiência de Carnot (%) e Potência de geração (KW), conforme figura 5.

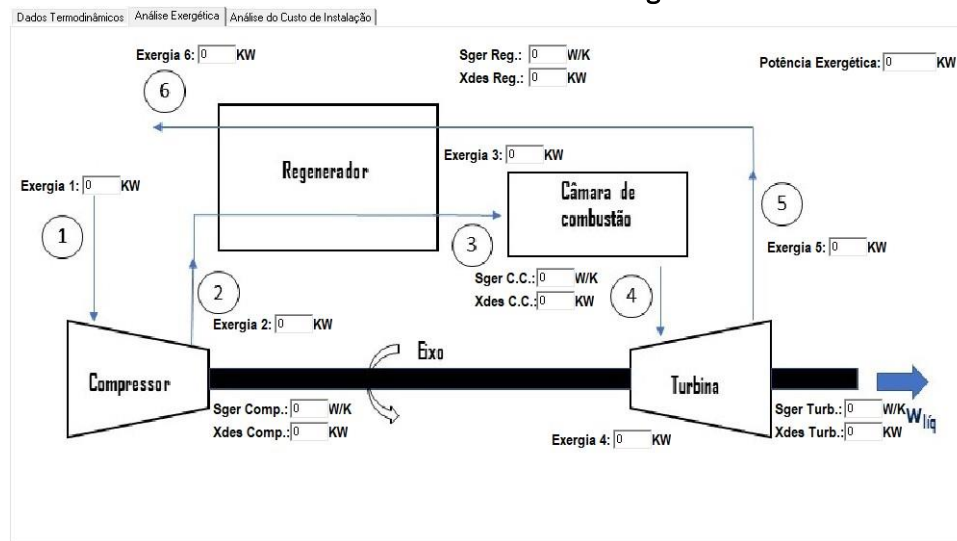
FIGURA 5. Aba de análise energética.



Fonte: Marinho (2019).

Na aba denominada Análise exérgica está disposto uma figura representando o ciclo termodinâmico Brayton Simples, composta por um compressor, regenerador, câmara de combustão e uma turbina, onde são calculados, com base nos dados de entrada, os seguintes dados: Exergia 1 (KW) na entrada do compressor, Exergia destruída do compressor – $X_{des\ Comp}$ (KW) e Entropia gerada do compressor – $S_{ger\ Comp}$ (W/K); Exergia 2 (KW) na saída do compressor; Exergia 3 (KW) na entrada do regenerador, Exergia destruída do regenerador – $X_{des\ Reg.}$ (KW) e Entropia gerada do regenerador – $S_{ger\ Reg}$ (W/K); Exergia 4 (KW) na entrada da câmara de combustão, Exergia destruída da câmara de combustão – $X_{des\ C. C}$ (KW) e Entropia gerada da câmara de combustão – $S_{ger\ C. C}$ (W/K); Exergia 5 (KW) na entrada da turbina, Exergia destruída da turbina – $X_{des\ Turb}$ (KW), Entropia gerada da turbina – $S_{ger\ Turb}$ (W/K) e Exergia 6 (KW) na saída do regenerador para o ambiente. Além desses dados é calculado a Potência exérgica (KW), conforme figura 6.

FIGURA 6. Aba de análise exergetica.



Fonte: Marinho (2019).

3. RESULTADOS

Foi abordado neste artigo um recorte dos resultados do trabalho de monografia, apresentando os softwares didáticos referentes ao ciclo de potência a gás Brayton Simples e com Regeneração, permitindo aos leitores que seja observado a validação dos softwares.

Coforme necessidade de validação dos programas elaborados de ciclo Brayton Simples e com regeneração, faz-se necessário obter um padrão comparativo com outras análises do mesmo tema. Com isso, foi realizado inicialmente um comparativo entre o Software desenvolvido e os cálculos do software EES.

A tabela 1 ilustra os dados de entrada padrão, no software de ciclo Brayton Simples, para comparação e validação do software.

TABELA 1. Dados de entrada do Software ciclo Brayton Simples

DADOS DE ENTRADA

Variáveis	Valores	Unidades
Temperatura Estado Morto	273	K
Temperatura Entrada	30	°C
Pressão entrada	100	Kpa

Temperatura Combustão	1127	°C
Pressão Combustão	900	Kpa
Rendimento Compressor	92	%
Rendimento Turbina	95	%
Rendimento Gerador	95	%
Rendimento Câmara combustão	90	%
Vazão Mássica	1	Kg/s
Vazão Combustível	0	Kg/s
Custo KWH	0	US\$

Fonte: Marinho (2019).

Levando aos seguintes resultados, como mostrado na tabela 2. Em que nessa tabela contem cinco colunas, os quais, a primeira enumera os dados termodinâmicos, a segunda a quantificação do software desenvolvido, a terceira os dados do software de comparação, a quarta o erro baseado na diferença dos dados do software e do software de comparação dividido pelo dado do software de comparação, e a quinta coluna a confiabilidade em percentual.

TABELA 2. Dados de resultados comparativos do ciclo Brayton Simples

Dados de resultados				
Dados	Software EES		Erro	Confiabilidade
Temperatura 01	303	303	0,00	100,00
Pressão 01	100	100	0,00	100,00
Entalpia 01	303,11	303,5	0,13	99,87
Entropia 01	0,3167	5,715	99,99	-
Temperatura 02	590,64	585	-0,96	99,05
Pressão 02	900	900	0,00	100,00
Entalpia 02	591,91	592	-0,04	99,96

Entropia 02	2,39	5,756	99,96	-	
Temperatura 03	1400	1400	0,00	100,00	
Pressão 03	900	900	0,00	100,00	
Entalpia 03	1404,5	1515	7,29	92,71	
Entropia 03	9,025	6,734	-34,02	-	
Temperatura 04	779,94	840	7,15	92,85	
Pressão 04	100	100	0,00	100,00	
Entalpia 04	781,97	866,6	9,77	90,23	
			- 586,39		
Entropia 04	46,503	6,775		-	
Trabalho Compressor	288,79	288	-0,27	99,73	
Trabalho Turbina	622,53	648	3,93	96,07	
Calor Entrada	902,87	923	2,18	97,82	
Calor Saida	478,85	0	0,00	-	
Eficiência	41,07	39	-5,31	94,96	
Exergia 01	1,51	1,54	1,95	98,05	
Xdes Compressor	10,98	10,96	-0,18	99,82	
Sger Compressor	0,04	0,04	0,00	100,00	
Exergia 02	279,3	278,9	-0,14	99,86	
Xdes Câmara Combustão	151	87,08	-73,40	57,67	
Sger Câmara Combustão	0,22	0,32	31,25	68,75	
Exergia 03	855	935	8,56	91,44	
Xdes turbina	11,65	11,29	-3,19	96,91	
Sger turbina	0,042	0,041	-2,44	97,62	
Exergia 04	220,95	275	19,65	80,35	
Eficiencia exergética	45,9		0,00	-	
Confiabilidade Total				94,37	

Fonte: Marinho (2019).

O programa mostrou uma confiabilidade de 94,37% quando comparado com o programa EES, estando em conformidade com o esperado.

Valores da exergia destruída e entropia gerada da câmara de combustão, se mostram com uma confiabilidade muito abaixo do esperado, necessitando serem investigadas e corrigidas, pois apresentam um valor de confiabilidade menor que 85%, limite máximo estipulado.

A tabela 3 ilustra os dados de entrada padrão, no ciclo Brayton com Regeneração, para comparação e validação do software.

TABELA 3. Dados de entrada do Software ciclo Brayton com regeneração

DADOS DE ENTRADA

Variáveis	Valores	Unidades
Temperatura Estado Morto	310	K
Temperatura Entrada	37	°C
Pressão entrada	100	Kpa
Temperatura Descarga	877	°C
Temperatura Combustão	1150	K
Pressão Combustão	700	Kpa
Rendimento Compressor	75	%
Rendimento Turbina	82	%
Rendimento Regenerador	65	%
Rendimento Gerador	100	%
Rendimento Câmara combustão	100	%
Vazão Mássica	1	Kg/s
Vazão Combustível	0	Kg/s
Custo KWH	0	US\$

Fonte: Marinho (2019).

Levando aos seguintes resultados, como mostrado na tabela 4. Em que nessa tabela contem cinco colunas, os quais, a primeira enumera os dados termodinâmicos, a segunda a quantificação do software desenvolvido, a terceira os dados do software de comparação, a quarta o erro baseado na diferença dos dados do software e do software de comparação dividido pelo dado do software de comparação, e a quinta coluna a confiabilidade em percentual.

TABELA 4 Dados de resultados comparativos do ciclo Brayton com regeneração

Dados de resultados				
Dados	Software	EES	Erro	Confiabilidade
Temperatura 01	310	310	0,00	100,00
Pressão 01	100	100	0,00	100,00
Entalpia 01	310,14	310,5	0,12	99,88
Temperatura 02	617,35	611,1	-1,02	98,99
Pressão 02	700	700	0,00	100,00
Entalpia 02	618,72	618,67	-0,01	99,99
Temperatura 03	691,23	723,3	4,43	95,57
Pressão 03	700	700	0,00	100,00
Entalpia 03	703,88	738,7	4,71	95,29
Temperatura 04	1150	1150	0,00	100,00
Pressão 04	700	700	0,00	100,00
Entalpia 04	1153,5	1219	5,37	94,63
Temperatura 05	747,83	782,6	4,44	95,56
Pressão 05	100	100	0,00	100,00
Entalpia 05	749,73	803,2	6,66	93,34
Temperatura 06	654,43	671,9	2,60	97,40
Pressão 06	100	100	0,00	100,00
Entalpia 06	664,58	683,5	2,77	97,23
Trabalho Compressor	308,57	308,5	-0,02	99,98
Trabalho Turbina	403,77	416,2	2,99	97,01

Calor Entrada	449,62	480,6	6,45	93,55
Calor do Regenerador	85,15	119,8	28,92	71,08
Eficiência	21,17	22,41	5,86	94,47
Exergia 01	0	0	0,00	100,00
Xdes Compressor	41,48	41,67	0,46	99,54
Sger Compressor	0,1338	0,1235	-8,34	92,30
Exergia 02	267,09	266,8	-0,11	99,89
Xdes Regenerador	28	-	-	-
Sger Regenerador	0,2476	-	-	-
Exergia 03	317,02	330,8	4,17	95,83
Xdes Câmara Combustão	37,387	31,84	-18,84	84,14
Sger Câmara Combustão	0,1206	0,1027	-17,43	85,16
Exergia 04	608,06	650,1	6,47	93,53
Xdes Turbina	39,05	38,3	-1,96	98,08
Sger Turbina	0,1259	0,1235	-1,94	98,09
Exergia 05	165,23	195,6	15,53	84,47
Exergia 06	121,64	127	4,22	95,78
Confiabilidade Total				95,74

Fonte: Marinho (2019).

O programa mostrou uma confiabilidade de 95,74% quando comparado com o programa EES, estando em conformidade com o esperado.

Deve-se atentar os valores do calor do regenerador e da exergia destruída da câmara de combustão, que obtiveram valores de confiabilidade abaixo de 85%, devendo ser futuramente investigados e corrigidos.

Leal et al. (2002) desenvolveram um software em linguagem de programação Visual Basic 6.0, que possibilita, a partir de dados experimentais de equilíbrio líquido-vapor, determinar os coeficientes de atividade, ajustar os parâmetros dos modelos de GE (Wilson, van Laar, NRTL e UNIQUAC) e modelar o equilíbrio de fases usando os procedimentos bolha e orvalho (P e T).

Miquilin et al. (2004) criaram um software para calcular o equilíbrio termodinâmico do sistema e verificar as condições que minimizam a energia livre de Gibbs total do meio reacional. Boros e Krähenbühl (2001) elaborou um programa de computador na linguagem FORTRAN para a verificação da Consistência Termodinâmica de Dados Experimentais de Equilíbrio Líquido-Vapor de Misturas Binárias, através da Integração da Equação da Coexistência na sua forma Isotérmica.

Silva et al. (2009) realizaram estudos com utilização do software ees no auxílio ao desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e de projetos de P&D. apresentando alguns exemplos de aplicação do software ees (engineering equation solver) como ferramenta de ensino em auxílio ao professor no desenvolvimento de questões de provas, ao aluno no desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e na elaboração de simulações em projetos de p&d. como resultado, observou-se uma maior facilidade de realizar análises de sensibilidade das variáveis de projeto, de visualização do comportamento das funções de transferência através de gráficos e de determinação de limites operacionais para o dimensionamento do sistema.

Azevedo et al. (2018) trataram do desenvolvimento de software de monitoramento em tempo real de propriedades termodinâmicas em sistemas de escoamento, visando o desenvolvimento de um software de monitoramento capaz de mostrar em tempo real propriedades termodinâmicas (vazão volumétrica, temperatura, densidade) de escoamento de um fluido em um sistema hidráulico.

4. CONCLUSÕES

Em vista de todo o exposto nos tópicos de revisão bibliográfica, metodologia e resultados, o proposto projeto alcança, com ressalvas, o objetivo principal e geral do trabalho que é: “Elaborar um software de simulação didática dos ciclos de potência a gás Brayton, de modo a determinar os principais dados termodinâmicos e exergéticos dos ciclos e dos dispositivos que os compõem”.

O programa de ciclo Brayton Simples mostrou uma confiabilidade de 94,37% quando comparado os valores energéticos e exergéticos com o programa EES, estando em conformidade com o esperado.

O programa de ciclo Brayton com Regeneração mostrou uma confiabilidade de 95,74% quando comparado os valores energéticos e exergéticos com o programa EES, estando em conformidade com o esperado.

O projeto ainda trás consigo uma notória significância devido a sua multidisciplinaridade, na sinergia entre conceitos da pedagogia, por meio das metodologias ativas, do universo da industria 4.0, ferramentas computacionais, através de compiladores de programação orientada a evento, e os

próprios conceitos da termodinâmica aplicada a engenharia mecânica, mais especificamente o estudos de termelétricas a gás natural utilizando turbinas a gás.

No entanto, esse trabalho se configura como um projeto inicial e, por isso, possui algumas limitações quanto a estética do programa, a precisão dos dados e o uso de aproximações numéricas.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de programas com uso de bancos de dados, de modo a diminuir expressivamente os erros de precisão. Outro tema que pode ser estudado é a elaboração de programas utilizando ciclos combinados e ciclos Rankine.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

MARINHO, E. S. Junior. SOFTWARE DIDÁTICO PARA SIMULAÇÃO TERMODINÂMICA DE CICLO DE POTÊNCIA A GÁS. 2019. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2019.

MARINHO, E.S.J. Técnica de diagnóstico de falhas em motores a combustão interna utilizando aprendizagem de máquina. 2018. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

COVIZZI, U. D. S.; LOPES DE ANDRADE, P. F. Estratégia para o ensino do metabolismo dos carboidratos para o curso de farmácia, utilizando metodologia ativa de ensino. Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular, v.10, n. 1, p. 10-22, dez. 2012.

NIEMANN, F. A., BRANDOLI, F. Jean Piaget: um aporte teórico para o construtivismo e suas contribuições para o processo de ensino e aprendizagem da língua portuguesa e da matemática. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM

VALENTE, J. A. O computador na sociedade do conhecimento. Campinas: Unicamp, 1999.

GAETA, C.; MASETTO, M. Metodologias ativas e o processo de aprendizagem na perspectiva da inovação. CONGRESSO INTERNACIONAL APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS, 1., 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: PBL, 2010.

ÁFIO, A. C. E. et al. Análise do conceito de tecnologia educacional em enfermagem aplicada ao paciente. Rev Rene, v. 15, n. 1, p. 158-165, jan./fev. 2014.

PASQUALINI, E.; GIMENEZ-PASCHOAL, S. R. Uso de software educativo no ensino superior da área da saúde e avaliação dos efeitos para os alunos. RETEC, Ourinhos, v. 6, n. 1, p. 62-71, jan./jul. 2013.

BOYCE, M. P. Gás Turbine Engineering Handbook. 2ª. ed. Woburn: Gulf Professional Publishing, 2002.

PINTO, Daniel Vieira. Análise comparativa do desempenho de turbocompressores veiculares com câmara de combustão tubular na microgeração de energia. 2017. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. Termodinâmica. 5ª. ed. São Paulo: McGrawHill, 2006.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e aplicações. 3ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

LEAL, Marcelo de Campos Franco et al. DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA MODELAGEM TERMODINÂMICA DO EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR A BAIXA PRESSÃO. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xcongresso/pdfN/159.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

SILVA, Alexandre Marcial da; BARBOSA JÚNIOR, Elviro Pereira; BRAGA JÚNIOR, Wilson. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE EES NO AUXÍLIO AO DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS ACADÊMICOS E DE PROJETOS DE P&D. 2009. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/10/artigos/704.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

MORAN, M., SCIUBBA, E. Exergy Analysis - Principles and Practice, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol 116, pp. 285-290, 1994.

AZEVEDO, Arthur Vinicius Ribeiro de Freitas et al. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS EM SISTEMAS DE ESCOAMENTO. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV107_MD1_SA28_ID582_30052018194724.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

MIQUILIN, Michel Angelis; KRÄHENBÜHL, Maria Alvina. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO ATRAVÉS DA MINIMIZAÇÃO DA ENERGIA LIVRE DE GIBBS. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xiicongresso/cdrom/pdfN/85.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.