



A utilização do EES para a análise de problemas aplicados a engenharia com ênfase em Termofluidos

Hugo Augusto Marinho Moreira – Hugomarinho93@outlook.com*
Instituição Federal de Pernambuco, Departamento de engenharia mecânica*
R. Álvaro Lins, 623 *
55034-580 – Caruaru – Pernambuco*

Felipe Vilar da Silva – Felipevilar@caruaru.ifpe.edu.br*
Instituição Federal de Pernambuco, Departamento de engenharia mecânica*
R. Álvaro Lins, 623 *
55034-580 – Caruaru – Pernambuco*

Leonardo José Cavalcante Vasconcelos – leonardo_cavalcante2008@hotmail.com*
Instituição Federal de Pernambuco, Departamento de engenharia mecânica*
R. Álvaro Lins, 623 *
55034-580 – Caruaru – Pernambuco*

Resumo: *Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para a análise de problemas nas ciências térmicas por meio de um software, o EES (Engineering Equation Solver), no curso de engenharia mecânica do Instituto Federal de Pernambuco. O EES é utilizado em disciplinas e em pesquisa científica no curso de engenharia mecânica do IFPE campus Caruaru por alunos para a análise, desenvolvimento e otimização de problemas térmicos. O foco é a análise de problemas relacionados a geração de energia e a ciclos de refrigeração. Por meio do software é possível realizar simulações variando parâmetros importantes do processo com rapidez, o que não seria possível com cálculos manuais ou demandaria muito tempo. Como resultados, observa-se o desenvolvimento da capacidade dos alunos de analisarem problemas, de buscar soluções e de desenvolverem suas habilidades em modelagem matemática.*

Palavras-chave: *EES, termodinâmica, refrigeração, energia, ensino.*

1. INTRODUÇÃO

O ensino de informática tem se tornado mais presente nos cursos superiores, principalmente nos de engenharia, onde o uso de softwares tem se tornado indispensáveis para a realização da maior parte dos trabalhos e projetos. Estes softwares tem como objetivo auxiliar o trabalho do engenheiro e reduzir a repetibilidade dos cálculos. Por meio dos softwares o tempo de projeto, por exemplo, de um novo sistema

Organização



Promoção





térmico pode ser reduzido, bem como o risco de erro, devido as simulações presentes nestes softwares, antecipando o sistema final.

Realizada estas constatações, se torna relevante que estes softwares sejam apresentados ainda durante o curso de formação destes profissionais, tornando a ferramenta palpável ainda durante o período de graduação. Assim, o aluno pode desenvolver suas habilidades em modelagem de sistemas, analisar a sua viabilidade e criar soluções por meio de simulações implementadas no EES. Como forma de criação de soluções um código pode ser implementado na plataforma EES, que emprega um método implícito de diferenças finitas para integração numérica das equações e resolve o sistema de equações algébricas não lineares resultantes através de um método de Newton-Raphson modificado, por exemplo.

Este trabalho descreve como rotinas de programação podem ser implementadas no EES de forma didática, para a análise de problemas de engenharia na área de termo fluidos e como o uso do software tem impactado na formação de engenheiros no IFPE.

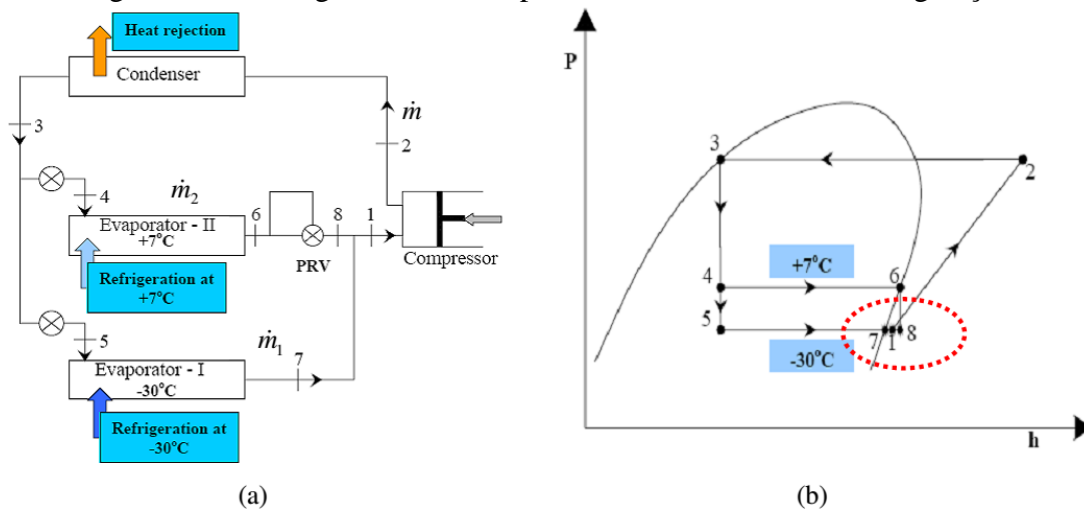
2. POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO EES

2.1. Recursos do EES

O EES (Engineering Equation Solver) é um software desenvolvido pela F-Chart Software voltado para a área de Termofluidos. Seu grande diferencial em relação a outros softwares utilizados nessa área é sua vasta biblioteca que contém os dados das propriedades térmicas de diversos fluidos. Sua programação se dá através de linhas de código, o que se assemelha muito a linguagem de programação em C. O EES também permite que a linguagem C seja utilizada, bastando para isso, apenas utilizar comandos específicos.

Inicialmente, à sua programação, é necessário realizar a modelagem do sistema, aplicando, por exemplo, a 1ª lei da termodinâmica aos componentes do sistema analisado, aplicando a 1ª lei da termodinâmica ao compressor do sistema da figura 1, por exemplo.

Figura 1 - Modelagem de um compressor em um sistema de refrigeração.



Organização

Promoção



O compressor na figura 1 pode ser modelado no EES, como mostrado na figura 2.

Figura 2 - Modelagem do compressor no EES.

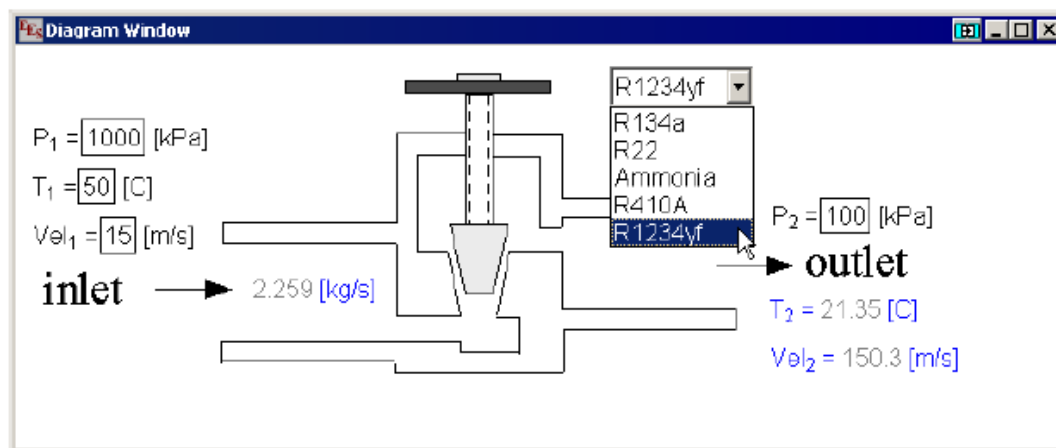
"VOLUME DE CONTROLE NO COMPRESSOR DE ALTA"
 $W_{\text{compressor}} = M[3] * (H[3] - H[4])$

O trabalho do compressor é dado pelo $W_{\text{compressor}}$, $M[3]$ é a vazão mássica, $H[3]$ e $H[4]$ são as entalpias de entrada e saída, respectivamente.

A linguagem de programação é simples, e pode ser acrescida de interfaces para melhor visualização do usuário, como pode ser vista na figura 3. Assim, é possível, por exemplo, variar um parâmetro do problema e analisar, na própria janela, como os outros parâmetros se comportam.

Figura 3 - Interface para visualização e manipulação das variáveis.

Fonte: (S.A. Klein, G.F. Nellis; 2012-16)



Todos esses recursos são apresentados pelo EES de forma intuitiva e clara, de forma que não haja necessidade de treinamento específico na sua lógica de programação. A modelagem realizada é a mesma utilizada em cálculos manuais, não havendo a necessidade de alteração.

A partir de duas propriedades termodinâmicas é possível obter o estado termodinâmico de um fluido qualquer, disponível em sua biblioteca. A biblioteca abrange a maioria dos fluidos utilizados em sistemas de geração de energia e de refrigeração.

Tabelas e gráficos podem ser utilizados, a vantagem do seu uso reside na necessidade em se realizar diferentes simulações a partir da mesma configuração como, por exemplo, estudar o comportamento do sistema em função de outras variáveis.

2.2. Pesquisa e desenvolvimento

O EES tem sido utilizado no Instituto Federal de Pernambuco campus Caruaru para o desenvolvimento de pesquisas nas ciências térmicas. Onde o objetivo é otimizar sistemas de refrigeração. As pesquisas tem se concentrado no dimensionamento e na

Organização



Promoção





análise de dispositivos de expansão envolvendo troca térmica, onde será possível aumentar o COP do sistema, a análise consiste na resolução de um conjunto de equações utilizando o Método das diferenças finitas (MDF).

O esquemático do dispositivo de expansão do tipo tubo capilar e do trocador de calor tipo concêntrico pode ser visto na figura 4. Por meio do EES é possível, por exemplo, simular a perda de pressão ao longo do dispositivo de expansão.

Figura 4 - Modelo do trocador de calor concêntrico tubo capilar-linha de sucção.

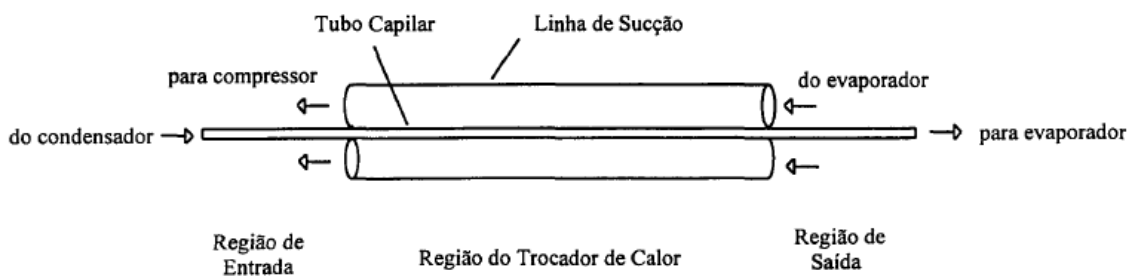
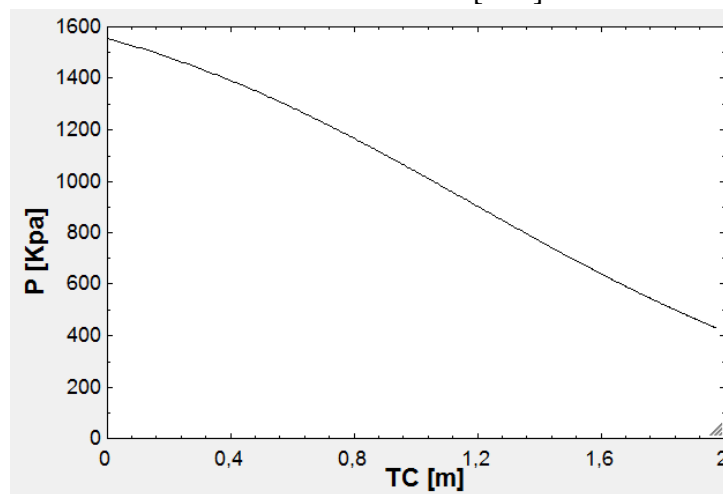


Figura 5 - Queda de pressão em função do comprimento do tubo capilar com diâmetro interno $d=1$ [mm].



O código desenvolvido utiliza para o cálculo do estado termodinâmico do fluido, as bibliotecas disponíveis no EES, além de comandos específicos para cálculos interativos e chamadas de funções matemáticas. Além disso, é possível incrementar novas funções para o cálculo da perda de carga na tubulação, coeficiente de transferência de calor, entre outras. Na figura 6 é possível observar o uso de funções para incrementar novas rotinas ao EES.

Outros projetos também têm sido desenvolvidos em conjunto, como um projeto que realiza a simulação de um sistema de refrigeração por absorção de vapor, onde o objetivo é otimizar o sistema e viabilizar a sua construção no campus.



Figura 6 – Funções para o número de Nusselt e o fator de atrito de uma tubulação.

```
EES Professional: C:\Users\Hugo\Desktop\NEW CODE.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Function F_atrito(Rey;qm:e;d)
IF (qm<=0) THEN
A=(2,457*(1/((7/Rey)^(0,9)+0,27*e/d)))^(16)
B=(36530/Rey)^(16)
F = 8*((8/Rey)^(12)+1/(A+B)^(3/2))^(1/2)
F_atrito = F
ELSE
F = 3,1/(Rey^(1/2))*exp((1-qm^(0,25))/2,4)
F_atrito = F
ENDIF
end F_Atrito

Function Nusselt(F;Rey;Pr;qm;rov;rol)
IF(qm<=0) THEN
Nu=(f/8)*(Rey-1000)*Pr/(1+12,7*(f/8)^(0,5)*(Pr^(2/3)-1))
Nusselt = Nu
ELSE
alfa=qm*rov/rol
Nu=0,023*(Rey^(0,8))*(Pr^(0,3))*((1-qm)/(1-alfa))^(0,8)
Nusselt = Nu
ENDIF
END Nusselt
```

2.3. Desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e auxílio no processo de aprendizagem

No curso de engenharia mecânica no IFPE, o EES tem sido utilizado, por recomendações do corpo docente, na elaboração de trabalhos acadêmicos. Há inclusive a sua utilização no processo avaliativo.

O principal objetivo da aplicação do EES nas avaliações e na elaboração de trabalhos está no desenvolvimento de uma visão mais ampla e clara por parte do aluno, buscando explicitar os fenômenos envolvidos em cada processo.

Inicialmente, um minicurso é ministrado no início da disciplina, buscando ressaltar as funcionalidades do EES e a sua aplicabilidade nas ciências térmicas. Assim, o aluno se encontrará preparado para a realização de avaliações e o desenvolvimento de trabalhos futuros com maior preparo.

Como exemplo do trabalho desenvolvido no instituto, está a modelagem e análise de sistemas de refrigeração desenvolvidos por alunos do 8º período do curso de Engenharia Mecânica na disciplina de Refrigeração Industrial. Nesta simulação, é

Organização



Promoção





possível avaliar a eficiência do ciclo térmico alterando parâmetros do processo e analisando o melhor arranjo do sistema. Assim, o aluno focará na interpretação dos resultados, bem como avaliar a viabilidade técnica e financeira de tais sistema de forma mais clara.

Tabela 1 – Tabela dos resultados da simulação do sistema da figura 1 com variáveis indexadas realizada na disciplina de refrigeração industrial.

EES Professional: C:\Users\Hugo\Desktop\Periodo\Prova Refrigeração - Hugo Augusto Marinho Moreira\Questão 1.EES - [Arrays Table]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Sort	1	2	3	4	5	6	7
	h_i	P_i	Q_i	s_i	T_i	X_i	M_i
[1]	1423	119,4		6,064	-30	1	0,15
[2]	1624	516		6,064			0,15
[3]	1467	516		5,557		1	0,3809
[4]	1624	1555		5,557			0,3809
[5]	390,6	1555	200		40	0	0,3809
[6]	390,6	516					0,1951
[7]	223,2	516				0	0,15
[8]	223,2	119,4					0,15
[9]	1467	516			5	1	0,1857
[10]	1467	516				1	0,1951

Já nas disciplinas de Termodinâmica I e II o processo é realizado em duas etapas, onde, inicialmente, na disciplina de Termodinâmica I é cobrado o cálculo de forma tradicional, com o uso de tabelas e gráficos em livros. Em Termodinâmica II onde a exigência por modelagem matemática dos sistemas é maior, e se exige uma maior interpretação dos resultados, a utilização do EES é justificada.

Organização



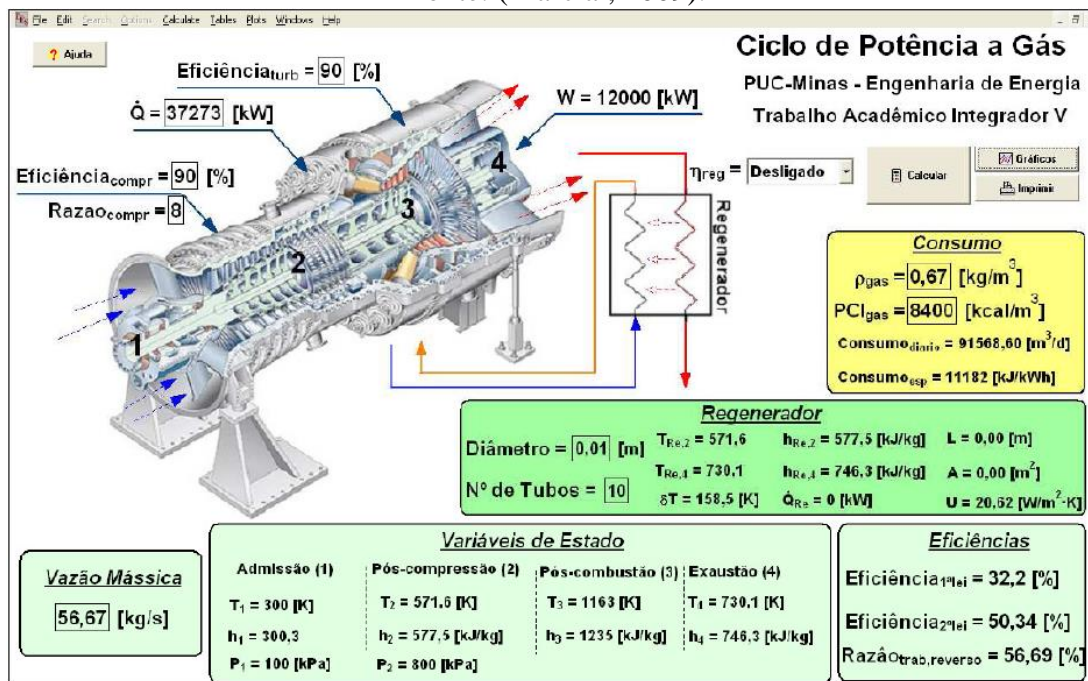
Promoção





Figura 7 – Exemplo de modelagem de sistema de geração de energia na disciplina de Termodinâmica II.

Fonte: (Marcial, 2009).



3. RESULTADOS

Observa-se nos alunos, que tiveram experiência com o uso de softwares durante o decorrer do curso:

- Uma maior capacidade de raciocínio lógico e do entendimento dos problemas relacionados a engenharia;
- Uma maior motivação pela área e o maior interesse pelo projeto e desenvolvimento de novos produtos e/ou sistemas;
- Maior interesse deles pela pesquisa científica, vindo a concorrer a editais de concessão de bolsas de iniciação;
- Aumento de trabalhos acadêmicos do Instituto, sendo sua maioria realizados com o auxílio de softwares de simulação e/ou de análise.

Há também a vantagem destes alunos no mercado de trabalho, onde eles chegam com maior experiência no uso de softwares específicos de engenharia.

4. CONCLUSÕES

É notável, hoje, a cobrança por parte das empresas a experiência como no pacote Office, ferramentas CAD (Desenho Assistido por Computador) entre outras tantas ferramentas de auxílio a engenharia. Assim, com a inserção de softwares no curso o aluno se sente mais preparado para o mercado de trabalho, o que termina motivando na sua ânsia pela busca de oportunidades, inicialmente de estágios.

Desse jeito, este trabalho tem como objetivo final motivar o uso de softwares nos cursos superiores, aqui no Brasil, de forma a explorar as ferramentas disponíveis na



formação profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE (1994) - ASHRAE Refrigeration Handbook (SI), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ÇENGEL, Yunus A. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática, 3ª Edição. São Paulo, SP: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda., 2009.

F-CHART SOFTWARE. Engineering Equation Solver (EES): Commercial and Professional Versions. Madison, EUA, 2005. 297p.

FOX, R.W., MCDONALD, A.T. AND PRITCHARD, P.J.; “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, LTC, 6ª ed. (2004)

Li, Kam W. Applied thermodynamics: availability method and energy conversion. New York: Taylor & Francis, 1989.

Marcial, Alexandre M. da Silva. Utilização do software ees no auxílio ao desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e de projetos de p&d. Anais: XXXVII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Recife, 2009.

S.A. Klein, G.F. Nellis; Mastering EES, 2012-16

The use of EES for the analysis of problems applied to engineering with emphasis on ThermoFluids

Abstract: This work presents a methodology used to analyze problems in the thermal sciences through a software, the Engineering Equation Solver (EES), without mechanical engineering course of the Federal Institute of Pernambuco. The EES is used in disciplines and in scientific research without mechanical engineering course of the IFPE campus Caruaru by students for analysis, development and optimization of thermal problems. The focus is an analysis of problems related to power generation and cooling cycles. Through the software it is possible to perform varying simulations, but it is not possible with mental methods or it would require a lot of time. As results, the development of students' ability to analyze problems, find solutions and develop their mathematical modeling skills is observed.

Key-words: EES, thermodynamics, refrigeration, energy, teaching.

Organização



Promoção



Joinville/SC – 26 a 29 de Setembro de 2017
UDESC/UNISOCIESC
“Inovação no Ensino/Aprendizagem em Engenharia”



COBENGE 2017
XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

Organização



Promoção

