

A termodinâmica sem sofrimento com ThermoOptim®

O aprendizado da termodinâmica é quase sempre difícil, apesar dos esforços feitos pelos professores e pelas evoluções dos programas:

- a disciplina se utiliza de determinados conceitos fundamentais como a energia interna, a entalpia ou a entropia, cujo interesse prático é longe de ser ilustrado de uma maneira simples;
- os cálculos a serem realizados são quase sempre complexos tanto no plano formal quanto numérico, principalmente em sistema fechado ;
- mesmo as leis mais simples são fortemente não-lineares;
- os industriais trabalham primeiramente com sistemas abertos e privilegiam as representações (T,s) ou (H, log P) em vez da tradicional (P,v) dos sistemas fechados apresentados aos novatos ;

O resultado é que os alunos encontram sérias dificuldades de dominar os conceitos básicos, e consideram a disciplina desagradável, apesar do número e da importância de suas aplicações industriais e sua incidência na vida diária (propulsão automobilística ou aeronáutica, produção de eletricidade, refrigeração...).

ThermoOptim (<http://www.thermooptim.org>) é um pacote de *software* que torna possível aos estudantes aprender Termodinâmica sem sofrimento: em paralelo ou mesmo antes da apresentação das bases teóricas, eles podem realizar os exercícios práticos que relacionam-se às aplicações da disciplina às máquinas reais, como por exemplo o estudo de um refrigerador ou de uma estação de potência... Devido ao limitado conhecimento dos estudantes, é necessário que este treinamento seja tanto fácil como possível. Para motivá-los, é necessário que ele forneça resultados suficientemente próximos da realidade.

Devido às suas bibliotecas de funções termodinâmicas, ThermoOptim permite modelar graficamente tecnologias energéticas simples ou complexas sem escrever uma única equação, e obter resultados extremamente precisos, que podem ser apresentados visualmente de diversas formas. Pode-se, particularmente, livrar-se da suposição muito restritiva de gases perfeitos, introduzindo líquidos reais. Como um exemplo (figuras 1e 2), é possível calcular um ciclo de refrigeração por compressão que funciona com o R134a, líquido da substituição de CFC, e com potencial nulo de destruição da camada de ozônio.

Assim, os alunos podem trabalhar sobre aplicações concretas de noções estudadas em sala de aula e compreender o seu interesse prático. Eles concentram seus esforços cognitivos sobre a análise qualitativa dos sistemas estudados, sendo a avaliação quantitativa realizada pelo programa. O grande interesse em se operar desta forma é que a termodinâmica é muito mais simples sob o plano qualitativo que quantitativo: os alunos não encontram dificuldades em compreender e memorizar as configurações das máquinas térmicas clássicas, que são formadas por alguns componentes elementares, cujas funções são diretamente intuitivas: órgãos de compressão e descompressão, trocadores de calor e câmaras de combustão (figura 3).

Ainda, a representação qualitativa e visual da arquitetura dessas máquinas é bastante independente da maneira como os componentes são sequencialmente calculados, ou seja das hipóteses em que se baseia para a avaliação quantitativa. Os alunos vêem, desta forma, como um mesmo elemento pode ser calculado de maneira mais ou menos precisa em função das ferramentas matemáticas disponíveis. Concretamente, eles compreendem que a hipótese de gases perfeitos permite a realização de alguns cálculos analíticos aproximados, enquanto que um ambiente de modelamento como o ThermoOptim conduz a resultados muito mais realistas. Assim, a ligação entre as bases da teoria

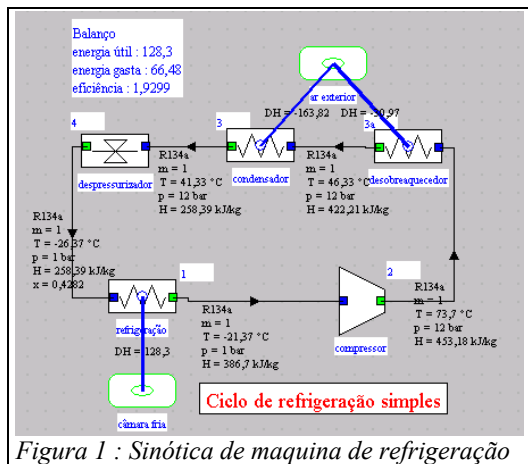


Figura 1 : Sinótica de máquina de refrigeração

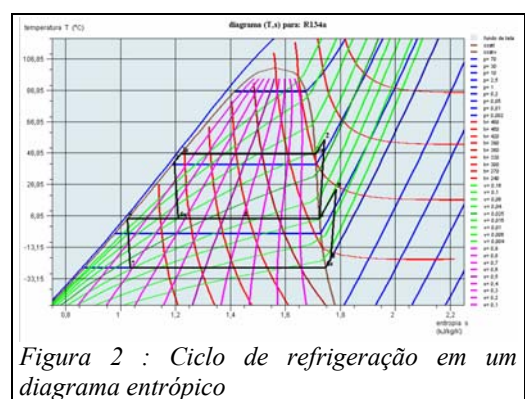


Figura 2 : Ciclo de refrigeração em um diagrama entrópico

apresentadas em sala de aula e a realidade industrial pode ser percebida mais facilmente. A experiência mostra que eles passam a dominar suficientemente bem as funções de base do programa muito rapidamente podendo se servir dele como ferramenta exploratória que permite a melhor compreensão dos conceitos abordados durante o curso. Eles podem traçar os ciclos reais em diagramas termodinâmicos (T, s) ou (h, log P) utilizados pelos profissionais e verificar em que e porque eles se distanciam de ciclos teóricos como o de Carnot. Tendo à disposição as propriedades reais dos fluidos, eles podem se libertar das hipóteses usuais (infelizmente, em geral, caricaturais) e construir eles mesmos modelos de máquinas térmicas perfeitamente realistas..

A pedagogia adotada consiste em ilustrar as noções de base, se pouco intuitivas, começando por tratar dos exemplos simples mais realistas. Os estudantes são atraídos desde o começo pelo lado lúdico do exercício. Eles entram no jogo e tentam obter resultados, o que torna necessário que compreendam as telas que lhes são apresentadas. Fazendo isto, eles adquirem o vocabulário de base da termodinâmica e assimilam muito rapidamente as principais noções. Em uma segunda etapa, uma vez que as transformações de base são bem compreendidas, eles podem estudar os ciclos completos que eles constroem um conjunto gráfico de componentes elementares, aprendendo de maneira intuitiva como os modelar.

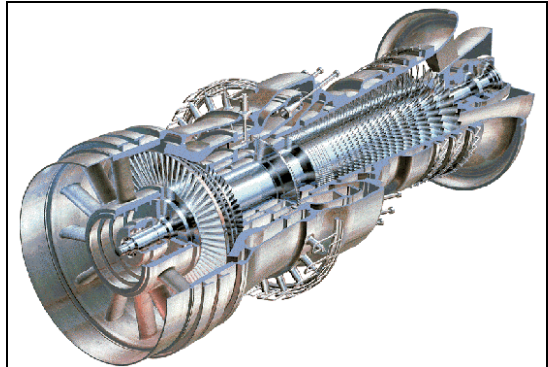


Figura 3 : Turbina a gás Alstom Power GT24/26

Experiências pedagógicas conclusivas foram realizadas a partir de 1997 dentro de diferentes etapas dos cursos de cerca de 20 estabelecimentos de ensino superior : Universidades, Escolas de Engenharia. O resultado é primeiramente uma motivação reforçada para a termodinâmica, conduzindo a uma atenção e uma participação em classe mais sustentáveis que pelos métodos clássicos, e, em seguida, uma melhor assimilação na etapa de noções teóricas e sua aplicação prática.

Thermoptim aparece assim como uma espécie de **plataforma de experimentação virtual** permitindo aos estudantes fazer a ligação entre a teoria e a prática aplicando os conceitos estudados durante o curso, e de se iniciar na modelagem de sistemas energéticos. Ele permite de alguma forma fazer em termodinâmica o que se faz comumente nos programas atuais em eletrônica e ótica. Além disso, para os estudantes, sua utilização apresenta inúmeras analogias com os programas de simulação disponíveis nessas disciplinas.

Concluindo, é possível introduzir uma pedagogia mais construtiva na termodinâmica, complementar à abordagem analítica clássica. Este novo foco confere de uma certa maneira uma visão em relevo da disciplina e facilita sua assimilação. Os estudantes trabalham em pequenos projetos realistas que lhes permite fazer uma

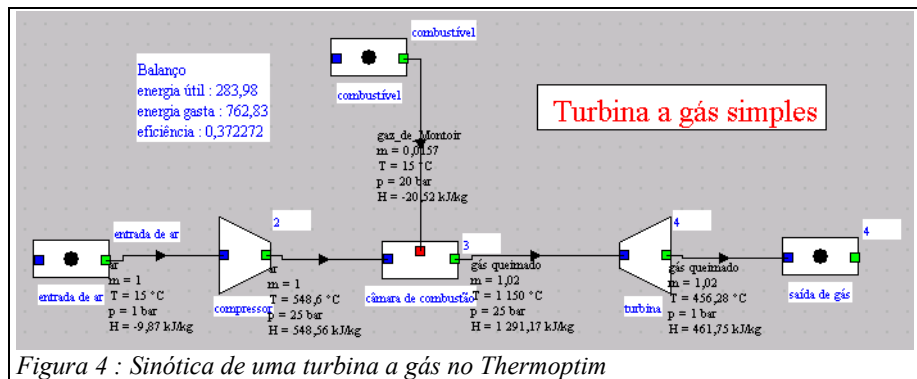


Figura 4 : Sinótica de uma turbina a gás no Thermoptim

ligação entre a teoria e as aplicações, de explorar a influência de diversos parâmetros sobre os desempenhos das instalações e, sobretudo, compreender melhor a arquitetura das máquinas usuais. Eles desenvolvem seu senso físico, sem ter disponibilizado muito tempo nos aspectos quantitativos nem ter necessitado recorrer a hipóteses demasiadamente simplificadoras.

GICQUEL R., Systèmes Energétiques, Tomes 1 et 2, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, février et novembre 2001.

Contato : renaud.gicquel@ensmp.fr