



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

MODELO MATEMÁTICO DE SIMULAÇÃO DE PROCESSOS
TERMODINÂMICOS NO REACTOR DE PROPULSÃO

ESTUDANTE: *Paxis Marques João Roque*

SUPERVISOR: *Doutor Eng^o. Jorge Olívio P. Nhambiu*

MAPUTO, SETEMBRO DE 2005

OBJECTIVOS DO TRABALHO

Com o presente trabalho de licenciatura pretende-se:

- Elaborar e validar um modelo matemático que equacione os processos termodinâmicos no reactor de propulsão.
- Traduzir o modelo matemático numa linguagem computacional e utiliza-lo como ferramenta de análise e percepção da influência dos diversos parâmetros no desempenho do reactor.

ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Motores de Propulsão.
- Teoria de Combustão nos Motores de Propulsão.
- Aparato Experimental.
- Modelo Matemático.
- Aplicativo Informático.
- Apresentação e Análise dos Resultados.
- Recomendações e Conclusões.

REACTORES DE PROPULSÃO

Os reactores de propulsão são motores térmicos usados para impulsionar veículos aéreos, sendo amplamente utilizados na aeronáutica e na indústria aeroespacial. Existem diferentes construções de reactores de propulsão e no presente trabalho são analisados:

- Turbo reactores;
- Turbo propulsores ou turbo hélices;
- Reactores para motores de foguetões e
- Reactores de impulso.

A COMBUSTÃO NOS MOTORES TÉRMICOS

O funcionamento dos motores de propulsão está estritamente ligado a combustão da mistura reactiva, as transformações termodinâmicas, bem como aos fundamentos da aerodinâmica de ejeção de gases de escape.

O processo de combustão de um combustível é acompanhado de emissão de grande quantidade de calor ou energia térmica, contida nos gases de combustão.

TEMPERATURA ADIABÁTICA DA CHAMA

Na maioria dos casos em que está patente a combustão, deve ser conhecida a temperatura adiabática da chama, que depende de alguns factores tais como:

- ☞ Tipo de combustível ;
- ☞ Composição química da mistura reactiva;
- ☞ Temperatura inicial da mistura reactiva;
- ☞ Pressão da mistura e;
- ☞ Características do sistema.

CALOR DE REACÇÃO (H_{rp})

Quando ocorre a combustão de um combustível, a energia associada ao vínculo existente entre as moléculas do combustível e as do comburente, é libertada sob a forma de calor nos produtos de combustão.

Para calcular a temperatura dos produtos de combustão é necessário conhecer as características energéticas do combustível que estão relacionadas com o calor de reacção (H_{rp}).

Para uma mistura reactiva contendo um mole de combustível, " Y " moles de oxigénio e 3,76 moles de nitrogénio, a análise dos produtos de combustão é feita de dois modos:

$$\mathbf{1^{\circ} \text{ CASO: } Y_{\min} \leq Y \leq Y_{cc}}$$

$$N_1 = 2(Y_{cc} - Y) - \text{moles de CO}$$

$$N_2 = (Y - Y_{\min}) - \text{moles de CO}_2$$

$$N_3 = MH/3 - \text{moles de H}_2\text{O}$$

$$N_4 = 3,76Y - \text{moles de N}_2$$

$$N_5 = 0 - \text{moles de O}_2$$

$$H_{rp} = N_1 \cdot \Delta h_{CO} + N_2 \cdot \Delta h_{CO_2} + N_3 \cdot \Delta h_{H_2O} + N_4 \cdot \Delta h_{N_2}$$

2º Caso: $Y \geq Y_{cc}$

$N_1 = 0$ – moles de CO

$N_2 = MC$ – moles de CO₂

$N_3 = MH/2$ – moles de H₂O

$N_4 = 3,76Y$ – moles de N₂

$N_5 = Y - Y_{cc}$ – moles de O₂

$$H_{rp} = N_2 \cdot \Delta h_{CO_2} + N_3 \cdot \Delta h_{H_2O} + N_4 \cdot \Delta h_{N_2} + N_5 \cdot \Delta h_{O_2}$$

O calor libertado: $Q_p = -H_{rp} - N_1 \cdot 282800$

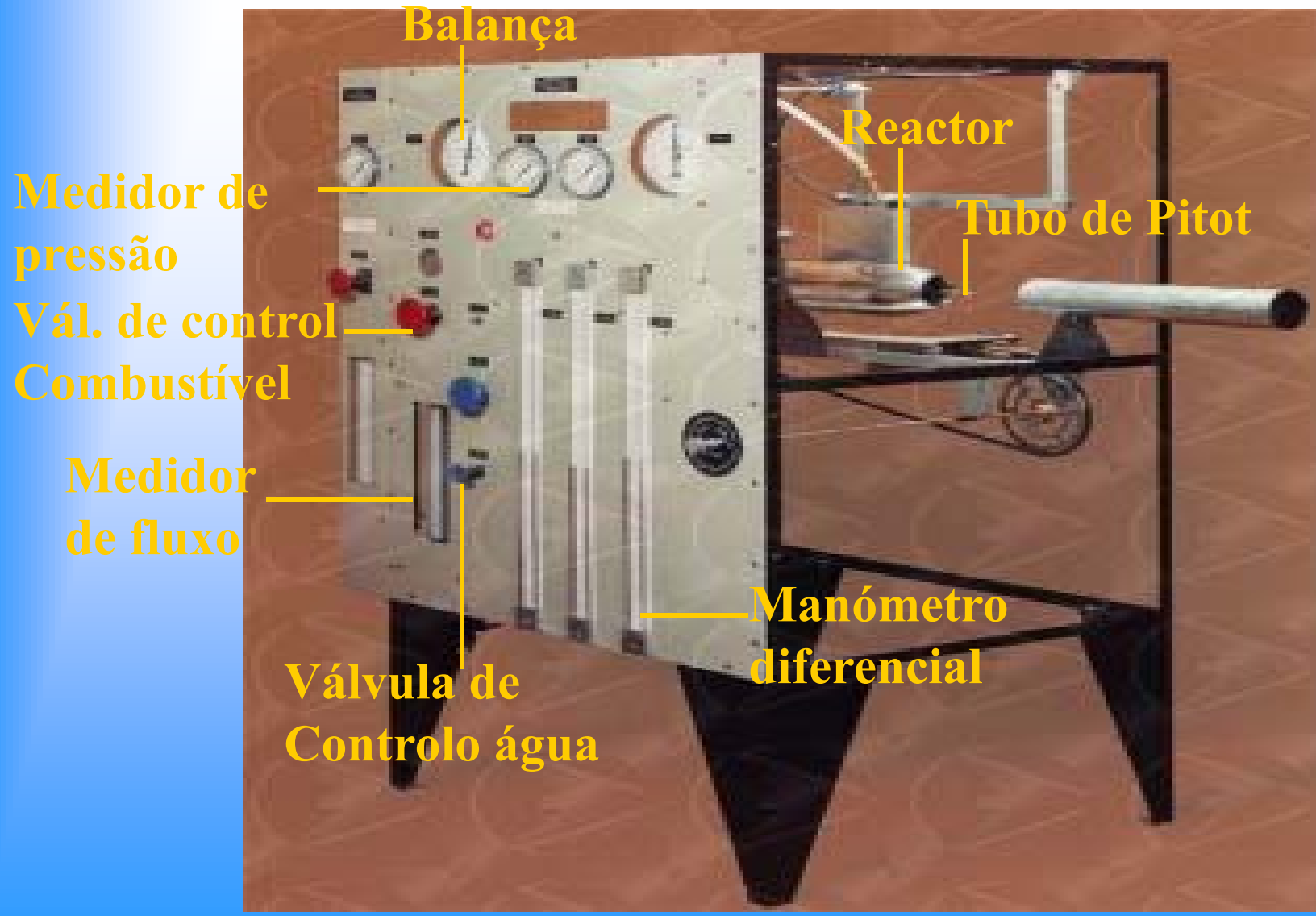
APARATO EXPERIMENTAL

Vários são os processos termodinâmicos que ocorrem durante o funcionamento de um reactor de propulsão e para sua análise foi idealizado um protótipo, concebido como miniatura de um motor de aeronave.

A instalação de simulação foi concebida para a realização de experiências nas áreas de:

- ❑ Termodinâmicas;
- ❑ Transferência de calor;
- ❑ Engenharia aeronáutica;
- ❑ Combustão e propulsão.

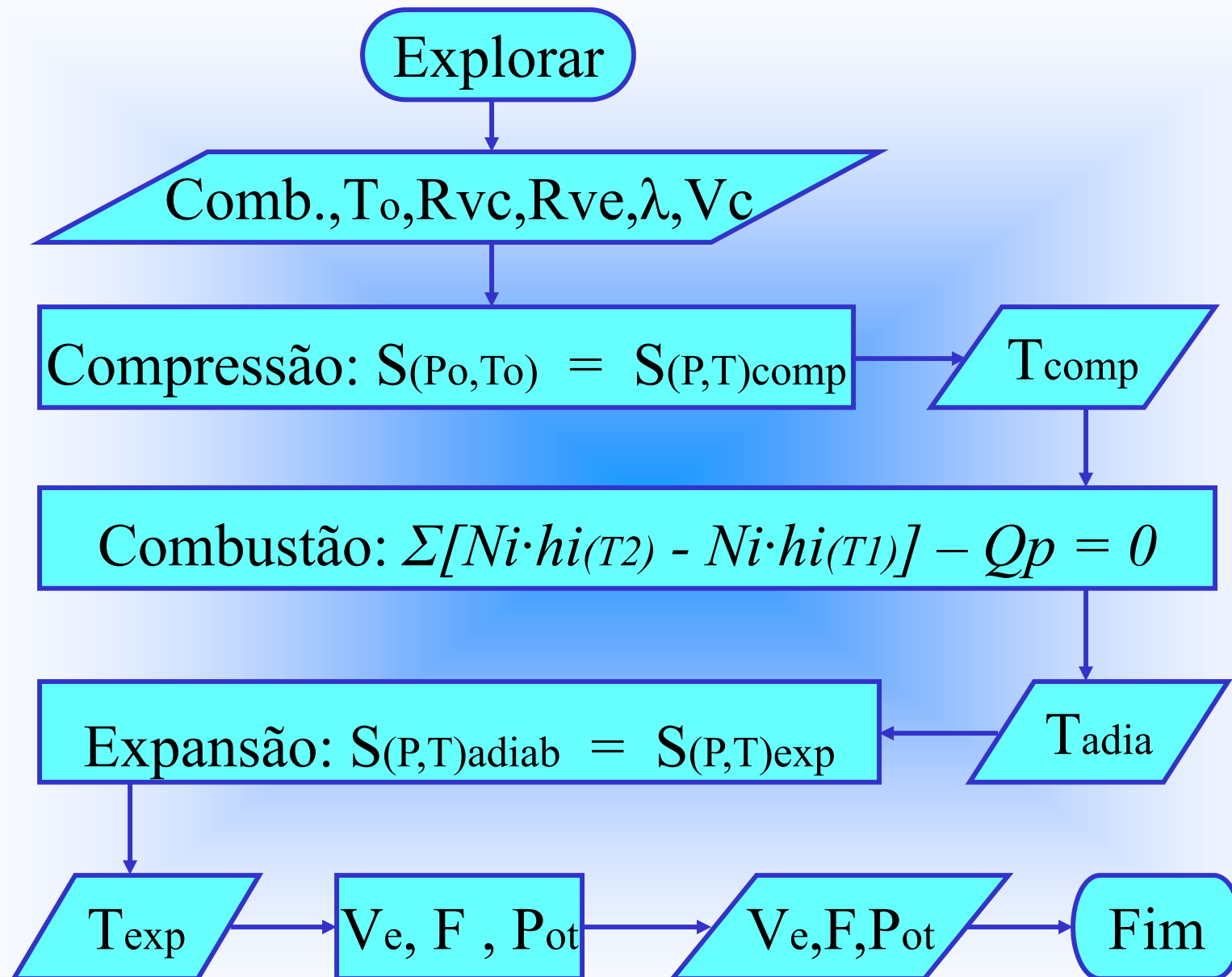
Componentes Principais Da Instalação



O MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático baseado no método de Newton-Raphson é utilizado para determinar:

- A temperatura de compressão;
- A temperatura adiabática;
- A temperatura de expansão;
- A velocidade dos gases de combustão no reactor;
- A força de impulsão e
- A potência do reactor.



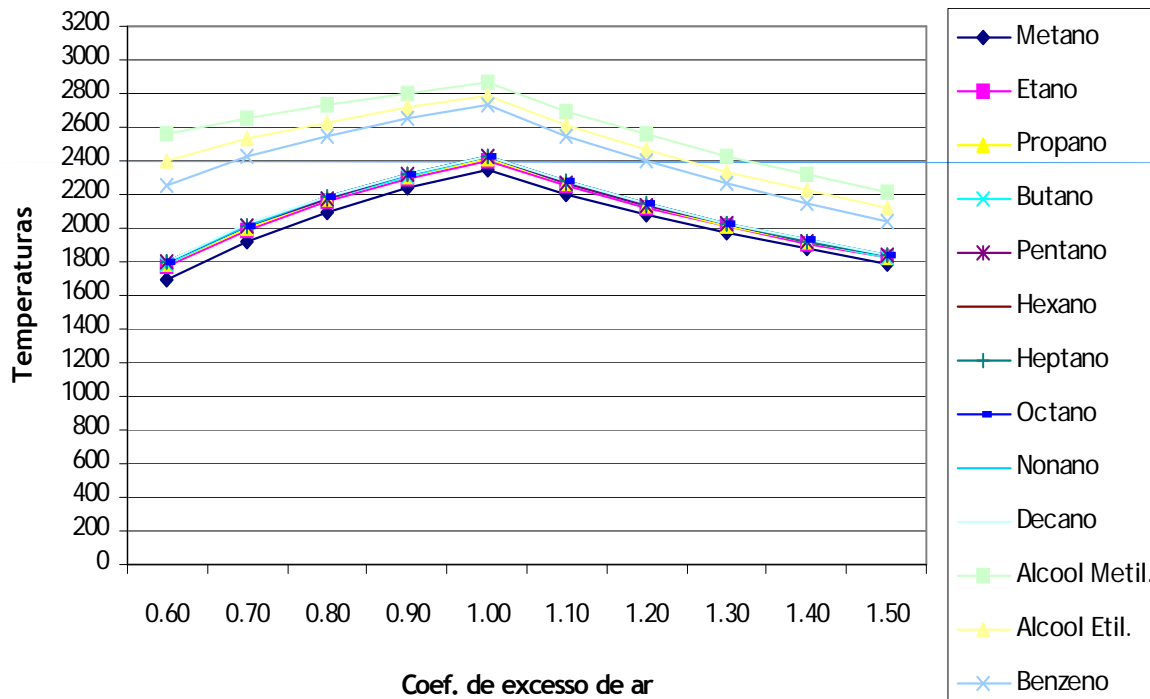
APLICATIVO INFORMATICO

O presente aplicativo informático foi idealizado usando a linguagem de programação C++ em virtude da sua excelente capacidade de efectuar cálculos matemáticos. Seguidamente o aplicativo elaborado na linguagem C++ foi associado a linguagem VB, devido a sua simplicidade como ferramenta de *interface*.

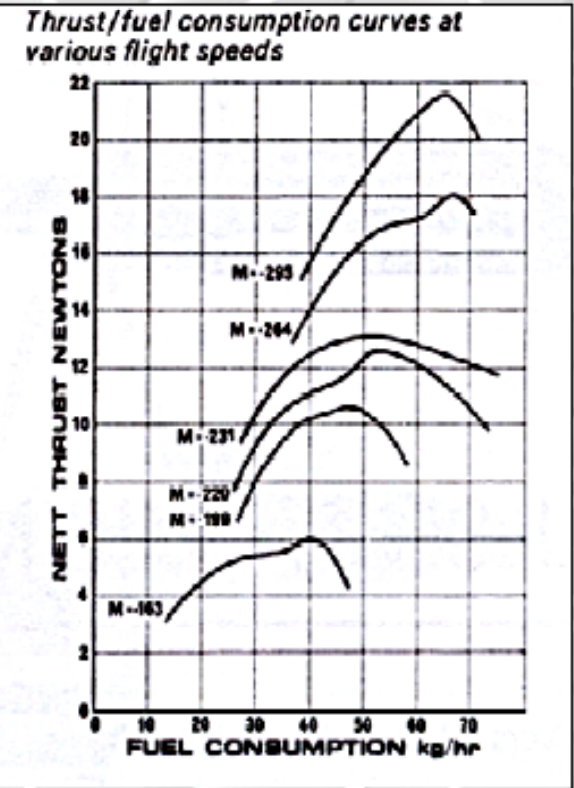
Explorar aplicativo

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Gráfico de variação de Temperatura adiabática em função de coeficiente de excesso de ar e tipo de combustível



Typical Ramjet Test Results



RECOMENDAÇÃO E CONCLUSÕES

➤ Recomendações

Num processo de combustão recomenda-se:

- A queima de misturas estequiométricas, que permitem obter elevada potência, com baixos níveis de poluição do ambiente.
- A prática de baixo nível de excesso de ar de combustão, para otimizar o uso da energia e reduzir a formação de óxidos de nitrogénio (NO_x).

No que concerne ao modelo matemático, recomenda-se a inclusão do modelo dos gases de escape, que permitirá analisar o teor dos gases e avaliar os seus efeitos relativamente ao meio ambiente.

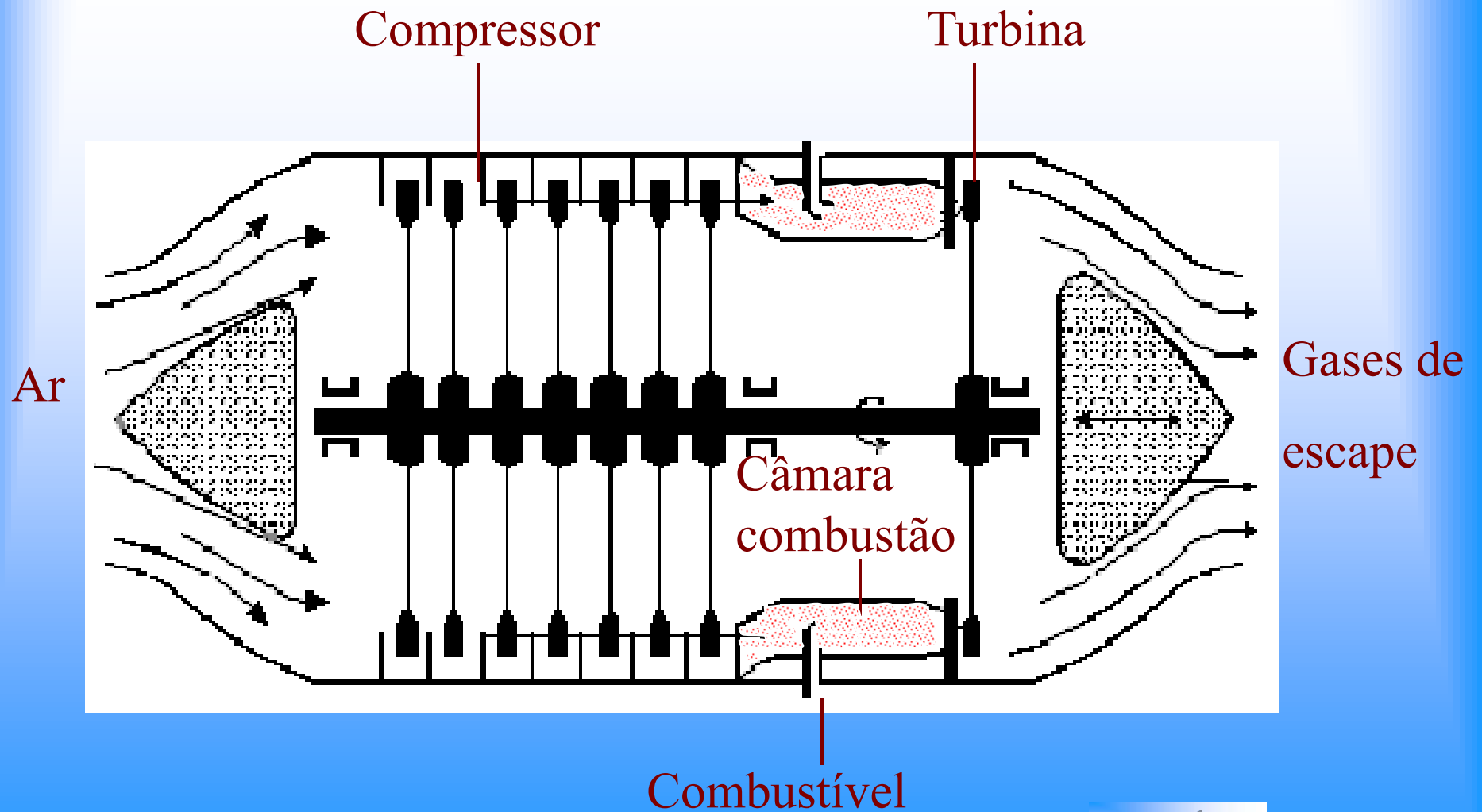
➤ Conclusões

O modelo matemático traduzido na linguagem computacional serviu de ferramenta de cálculo e optimização dos parâmetros dos processos e obtenção de resultados em tempo real, podendo ser adaptado a qualquer tipo de máquina cujo propósito é converter energia térmica em trabalho.

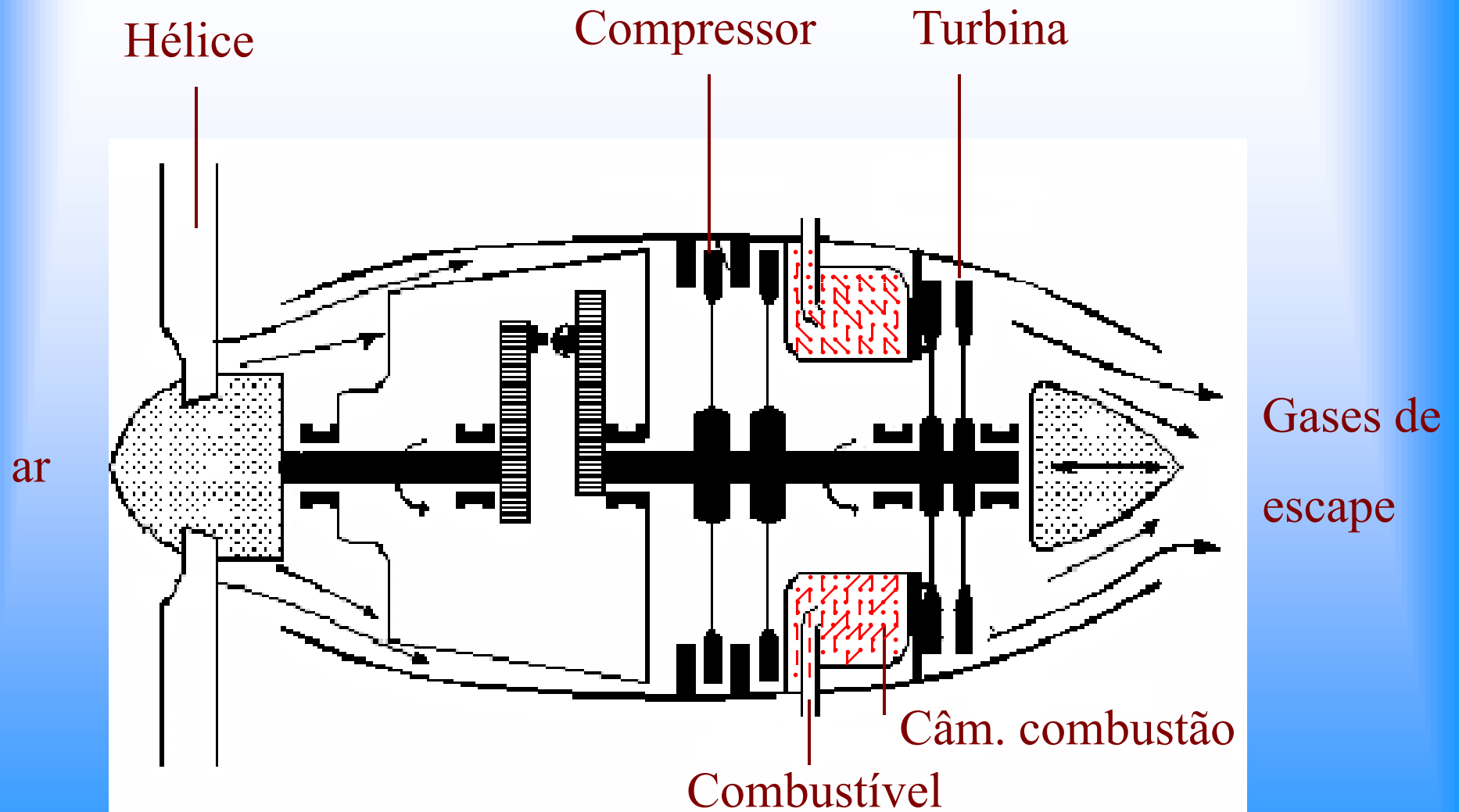
A fiabilidade do modelo matemático é sustentada pelas curvas características de variação da força de propulsão do reactor, que são apresentadas pela P A Hilton Ltd, fabricante da instalação experimental, pela teoria da combustão e da temperatura adiabática da chama.

OBRIGADO PELA ATENÇÃO

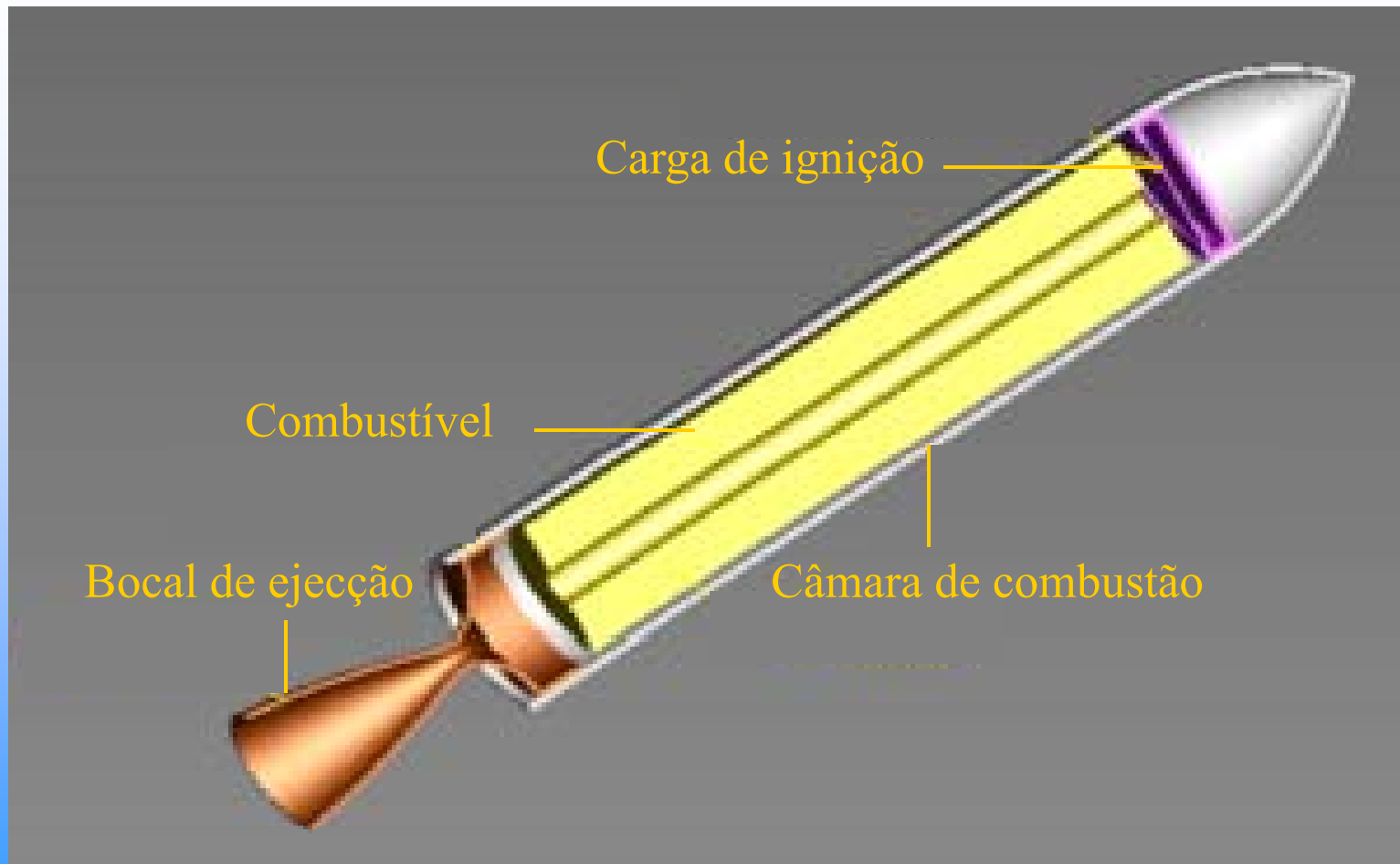
TURBO REACTOR



TURBO PROPULSOR OU TURBO HÉLICE



REACTORES PARA FOGUETÕES



REACTORES DE IMPULSO

