

# Simulação Numérica de Escoamento Reativo, Transferência de Calor e Termoelasticidade em Motor-Foguete

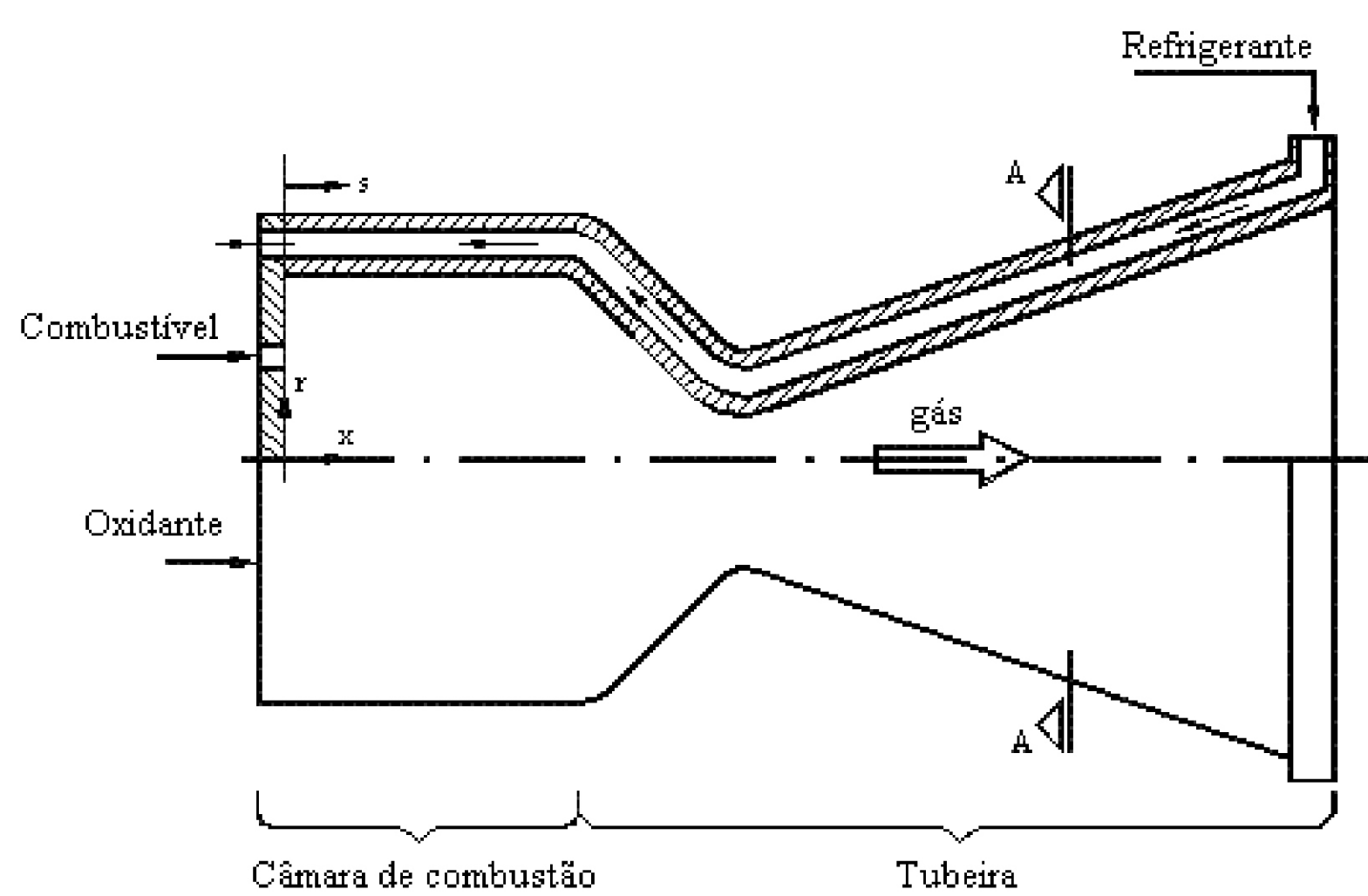
Projeto de pesquisa financiado pela Agência Espacial Brasileira (AEB), Programa UNIESPAÇO  
Execução: Jul/2007-Jun/2009, Site do grupo: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/CFD>

## Equipe:

Carlos Henrique Marchi (UFPR, gerente do projeto)  
Luciano Kiyoshi Araki (UFPR)  
Leandro Alberto Novak (UFPR)  
Ricardo Carvalho de Almeida (UFPR)  
Fabiana de Fátima Giacomini (UFPR)  
Eduardo Matos Germer (UFPR)  
Caroline T. L. Pertschi (UFPR)  
Márcio Augusto Villela Pinto (UEPG)  
Neil Franco de Carvalho (UP)  
Cosmo Damião Santiago (UNIBRASIL)  
Márcio André Martins (UNICENTRO)  
Antônio Fábio Carvalho da Silva (UFSC)  
José Nivaldo Hinckel (INPE)

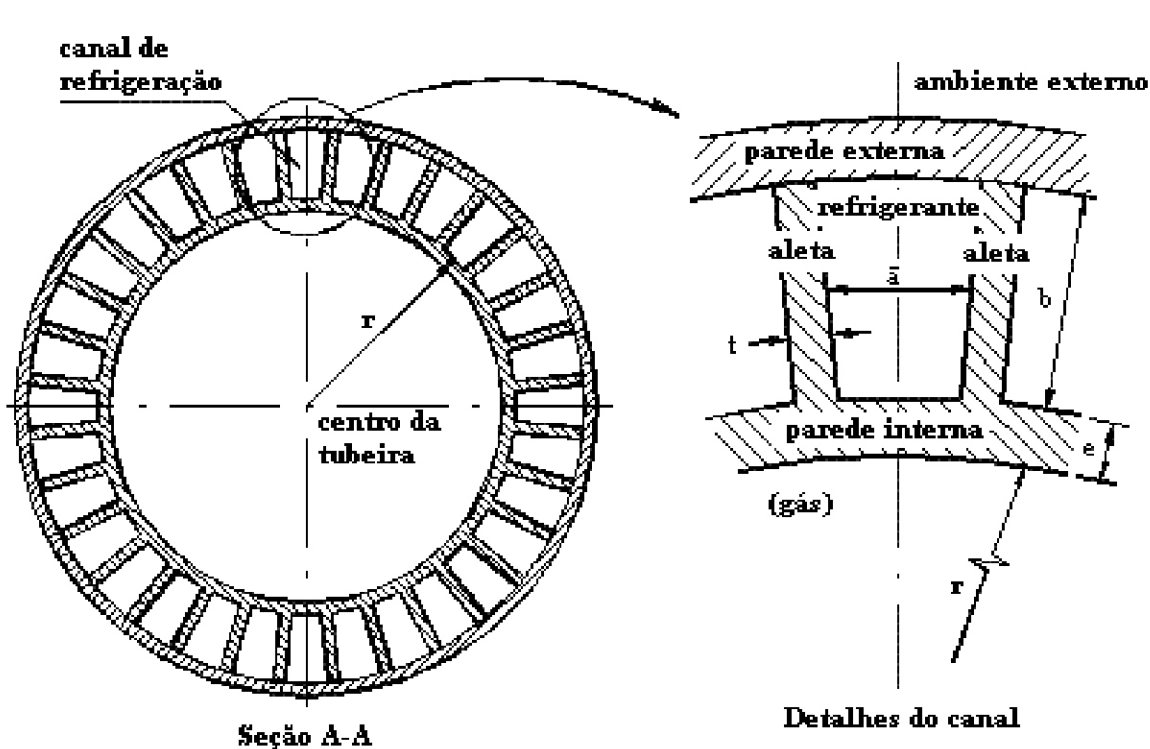
## Metodologia:

- Divisão do problema completo em três partes (casos em que se considera a refrigeração):
  - a) Câmara-tubeira: escoamento reativo da mistura de gases de combustão;
  - b) Paredes: condução de calor; e
  - c) Canais: escoamento do refrigerante; ou ambiente externo.
- Método dos volumes finitos.
- Malhas estruturadas não-ortogonais, ajustadas aos contornos.
- Arranjo co-localizado de variáveis.
- Escoamentos em qualquer regime de velocidade.
- Aproximações numéricas de 2ª ordem de acurácia.
- Estimativa de erros com GCI.
- Linguagem de programação Fortran 90/95/2003.
- Solvers: Gauss-Seidel, ADI e MSI com *multigrid*.



Acima: esquema de motor-foguete com refrigeração regenerativa.

Abaixo: detalhe dos canais de refrigeração.



Motor Vulcain (Ariane V), na bancada de testes.  
[Fonte: DRL Bild-Datenbank, <http://bilddb.rb.kp.dlr.de/>]

## Modelos físicos:

1. Gás com propriedades constantes.
2. Gás com propriedades variáveis.
3. Gases em escoamento congelado.
4. Gases em escoamento em equilíbrio químico local.
5. Gases em escoamento com taxa finita de reação.

## Modelos químicos:

Nos casos de escoamentos reativos (gases em escoamento congelado, em equilíbrio químico local e com taxa finita de reação):

- Modelos com total de espécies variando de três ( $H_2O$ ,  $O_2$  e  $H_2$ ) a oito ( $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $OH$ ,  $O$ ,  $H$ ,  $HO_2$  e  $H_2O_2$ ) e número total de reações químicas variando de zero a dezoito.

## Metas:

1. Escoamento 2D não-reativo: implementar um código para escoamentos 2D não-reativos de fluidos viscosos laminares.
2. Escoamento 2D reativo: implementar um código para escoamentos 2D reativos de fluidos viscosos laminares.
3. Refrigeração: acoplar aos códigos de escoamento reativo 2D os efeitos de transferência de calor, considerando-se dois modelos 1D distintos. O primeiro, para refrigeração regenerativa, e o segundo, para refrigeração radiativa.
4. Condução e termoelasticidade 2D na parede: implementar códigos para resolver, na parede do motor, a condução de calor 2D e os campos de deslocamentos, tensões e deformações causados pelos campos de T e de escoamentos na tubeira.

## Resultados e produtos esperados:

- Três códigos computacionais: Mach2D, correspondente às metas 1 e 2; RHG2D, correspondente à meta 3; e outro código correspondente à meta 4 do projeto.
- Quatro artigos a serem submetidos para publicação em congressos e/ou revistas científicas internacionais.
- Quatro relatórios técnicos.

**Objetivo principal:** implementar códigos computacionais para projetar motores-foguete com refrigeração regenerativa e radiativa.

**Objetivos específicos:** implementar códigos computacionais para:

- Na câmara de combustão e tubeira: resolver escoamentos 2D, reativos ou não, considerando fluido invíscido ou viscoso (escoamento laminar), com ou sem transferência de calor para a parede. Serão incluídos vários modelos de reações químicas para o par propelente oxigênio-hidrogênio.
- No caso de refrigeração regenerativa: resolver o escoamento 1D do líquido refrigerante, considerando-se a condução de calor através da parede.
- No caso de refrigeração radiativa: resolver a transferência de calor da parede para o ambiente externo, considerando-se radiação e convecção de calor.
- Na parede do motor: resolver a condução de calor 1D e 2D, bem como os campos de deslocamentos, tensões e deformações causados pelos campos de temperaturas e de escoamentos na tubeira.