

Web site de foguetaria experimental de Richard Nakka

Teoria de motor-foguete sólido

1 Introdução

O objetivo principal das *Web Pages* sobre *Teoria de Motor-Foguete Sólido* é apresentar as bases teóricas do funcionamento de um motor-foguete a propelente sólido. Ênfase é dada sobre a teoria aplicada a pequenos (relativamente falando) motores amadores, que são tipicamente de desempenho e eficiência menores do que seus correspondentes “profissionais”. Nesse sentido, os métodos de “livro-texto” padrão devem ser modificados para levar em conta estes fatores.

O objetivo secundário é apresentar as “ferramentas” fundamentais que podem ser usadas no projeto de motores-foguete amadores. Este tópico será abordado em uma *Web Page* posterior.

Eu tentarei seguir um caminho lógico nesta apresentação, com um tópico levando ao próximo tópico. Começando com as **Hipóteses Básicas** que devem ser feitas para “simplificar” a natureza altamente complexa do funcionamento de um motor-foguete. O **propelente** é então discutido, principalmente em relação a certos aspectos que tem aplicação direta à teoria de motor-foguete. Por exemplo, propelentes são considerados consistir de um combustível/aglomerante e oxidante, sem preocupação com formulações específicas. A geometria (o grão) com a qual o propelente é formado tem um efeito direto e importante sobre as características de desempenho global do motor.

Como a operação fundamental do motor-foguete requer que o propelente seja queimado, o tópico que segue trata sobre o processo de **Combustão**. Em outras palavras, a conversão do grão-propelente em gases e partículas condensadas (fumaça) em alta temperatura. Esta combustão deve ocorrer em uma maneira que seja adequada para obter os requerimentos de operação desejados – um certo perfil de empuxo sobre um certo tempo de queima, enquanto operando dentro de certos limites físicos com relação à pressão e temperatura da câmara. Assim, a taxa de queima, a temperatura de combustão, e os produtos de combustão têm um papel crucial no estabelecimento do desempenho de um motor-foguete.

Quase certamente o componente mais crítico de um motor-foguete sólido é a tubeira. Mais literalmente, a tubeira pode ser o “sucesso ou fracasso” de um motor-foguete. Mas o que exatamente faz uma tubeira, e como? Qual é a importância dos perfis convergente e divergente? Estas questões são abordadas na seção **Teoria de Tubeira**.

A expulsão dos produtos de exaustão em alta velocidade através da tubeira produz empuxo, a “potência” de um motor-foguete. O empuxo pode ser medido diretamente por meios razoavelmente simples, mas como se prediz qual será o empuxo teórico para um dado projeto de motor? As seções que seguem discutem como calcular o empuxo, assim como o **Impulso Total** e o **Impulso Específico**. Os dois últimos parâmetros são as “régua” para medir o “poder propulsivo” útil de um motor, e o “mérito” de um propelente específico.

Qualquer um que tem familiaridade com motores-foguete sabe que eles operam sob alta **Pressão**. Esta é a pressão de câmara, produzida pela combustão do propelente, que força a exaustão para fora do motor através da tubeira. Controlar esta pressão é a chave para o projeto e operação de um motor-foguete mais bem-sucedido e seguro. Quais parâmetros determinam a pressão, que pode ser vista muito realisticamente como uma “explosão controlada” dentro da câmara de combustão?

O tópico final tratado na teoria sobre motores-foguete é as “**Correções**” que devem ser consideradas para juntar as predições teóricas aos resultados verdadeiros que serão obtidos em um motor-foguete “**Real**”. Estas correções são um resultado direto do primeiro tópico tratado, isto é, as hipóteses simplificativas que fazem com que uma análise seja possível.

Os dois tópicos finais abordados tratam com um de muitos aplicativos computacionais que facilitam enormemente o mais difícil e trabalhoso procedimento em analisar a operação de um motor-foguete – o processo de combustão. Este aplicativo existe em várias formas, como PROPEP, mas também referenciado como GUIPEP, NEWPEP, PEP (que são todos essencialmente o mesmo aplicativo), assim como CET. As abreviações são as seguintes: PEP = **P**ropellant **E**valuation **P**rogram ou aplicativo de avaliação de propelente; CET = **C**hemical **E**quilibrium with **T**ransport **P**roperties ou equilíbrio químico com propriedades de transporte. O significado dos vários termos (frequentemente crípticos), que são impressos no arquivo de saída, é explicado e também como estes resultados são obtidos. Adicionalmente, é apresentado um texto breve descrevendo o funcionamento básico do programa.

Estes programas têm certas deficiências que podem não ser importantes para motores-foguete e propelentes “profissionais” de grande escala, mas podem certamente ter um impacto significativo sobre o desempenho previsto para propelentes amadores. Este tópico é tratado dentro da seção final das *Web Pages* sobre *Teoria de Motor-Foguete Sólido*.