

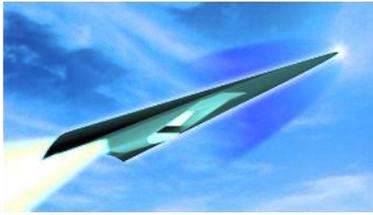


Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada 2021

Evento virtual (google meet)

Data: 25 a 29 de Outubro de 2021

Horário: das 17h às 21h



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

O Primeiro Workshop do Projeto Procad-Defesa “**DESENVOLVIMENTOS NACIONAIS EM PROPULSÃO HIPERSÔNICA ASPIRADA COM FOCO NO ACESSO AO ESPAÇO E DEFESA**” visa a apresentação dos trabalhos de pesquisa em andamento associados aos [objetivos estratégicos](#) do projeto, a discussão de novas propostas, o aumento da integração entre as instituições participantes, o aumento da visibilidade dos trabalhos para outras instituições da rede de pesquisa em Propulsão Hipersônica Aspirada e contribuir para a Gestão do projeto, com o planejamento das atividades futuras de forma integrada. Além das instituições de pesquisa e universidades, participam também empresas interessadas e que já atuam em parceria com a rede e são evidenciadas atividades que visam divulgar o assunto espaço e em particular a área de hipersônica para a sociedade.

A pesquisa visa contribuir para o desenvolvimento do conhecimento da área de hipersônica, particularmente propulsão scramjet, para a realização de ensaios em voo e para o conhecimento e tecnologias necessárias para o voo hipersônico a ar aspirado de longa duração.

Esta primeira edição está voltada para o público interno da rede de pesquisa, com foco na consciência situacional do estado da arte da pesquisa e desenvolvimento associadas ao projeto de scramjets.

No âmbito nacional, este projeto é consonante com a Rede de Pesquisa PRO-HYPER, o qual visa, entre seus objetivos, compartilhar o conhecimento e o desenvolvimento tecnológico da propulsão hipersônica (scramjets), gerada em ICTs militares, com universidades e setor privado, aumentando a participação destes em assuntos de interesse da Defesa. Além disso, contribui diretamente na formação de RH qualificado para o setor espacial, particularmente em hipersônica, materiais e software.

Os tópicos de interesse estão associados aos cinco Objetivos Estratégicos do Projeto:

OE 1) Desenvolver programas “in-house” para investigação aerodinâmica, estrutural, de dinâmica de voo e estabilidade de veículos hipersônicos;

OE 2) Investigar materiais avançados para armazenamento de combustível, estrutura e proteção térmica de veículos hipersônicos, para voo hipersônico prolongado;

OE 3) Realizar simulação computacional de veículos hipersônicos em diferentes regimes de voo: aerodinâmica, aeroelasticidade, efeitos térmicos e estruturais;

OE 4) Caracterizar a dinâmica de voo e estabilidade de veículos hipersônicos, e

OE 5) Incrementar a infraestrutura de ensaios em solo.



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Tópicos de Interesse

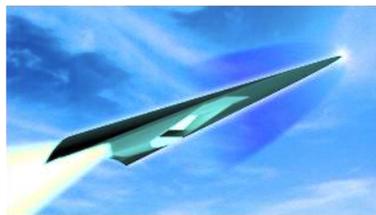
1. Programas computacionais e aplicativos: desenvolvimento “in-house” para estudo de veículos hipersônicos a ar aspirado
 - a. aerotermodinâmica
 - b. estrutural
 - c. trajetória
 - d. dinâmica de voo e estabilidade
 - e. outros
2. Materiais avançados para voo hipersônico prolongado
 - a. armazenamento de combustível (hidrogênio)
 - b. estrutura e proteção térmica de veículos hipersônicos
3. Simulação computacional de veículos hipersônicos em diferentes regimes de voo
 - a. aerotermodinâmica
 - b. aeroelasticidade
 - c. efeitos térmicos e estruturais
4. Dinâmica de voo e estabilidade de veículos hipersônicos
5. Infraestrutura e ensaios em solo



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Programação

Segunda - 25/out		
Horário	Apresentação	Título do trabalho
17:00	Angelo Passaro / convidados	Abertura
17:20	Geraiis-Dermeval Carinhana	Projeto PROHIPER: O desafio de voar a 12 mil km/h
18:00	Geraiis - Israel da Silveira Rego	Propulsão Aeroespacial Hipersônica: Do papel ao voo (ISO 14300-1)
18:30	EM- Felipe Jean da Costa (BRENG)	Projeto preliminar de uma balança para medição de forças aerodinâmicas e propulsivas de motores e veículos aeroespaciais hipersônicos
18:45	DIC - Felipe Jean da Costa (BRENG)	Engajamento de crianças e adolescentes da rede pública de ensino em projetos de divulgação da engenharia aeroespacial
19:00	Gestão - TD - Nestor Brandão Neto	Arcabouço gerencial para mitigação de riscos associados à transição entre os níveis de maturidade tecnológica
19:15	Intervalo	
19:45	OE4 - TP - Breno de Oliveira e Silva	Controle de veículos hipersônicos em atmosfera sensível
20:00	OE4 - TP - Paulo Celso Greco Júnior	Análise exploratória em CFD da aerodinâmica e estabilidade de um veículo hipersônico
20:15	OE1- TP - Alexandre Barbosa	Desenvolvimento de simuladores de trajetória autóctone para veículos hipersônicos
20:30	OE1- TP - Alexandre Barbosa	Micro launcher optimum design using the solid rocket motor S-50
20:45	OE1 - TP - Ângelo Paulino	Optimal Preliminary Design of Hypersonic Waverider Using Multiple Metaheuristics



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Programação

Terça - 26/out		
Horário	Apresentação	Título do trabalho
17:00	OE1 - TP- Jesuino Takachi	Cálculo de escoamento tridimensional em regime hipersônico.
17:15	OE-3 - TP - Paulo Gilberto de Paula Toro	Projeto aero-termo-estrutural de um veículo aeroespacial integrado a sistema de propulsão hipersônica aspirada
17:30	OE1 - TD - João de Barro Monteiro Cavalcanti	Análise de comportamento aeroelástico de veículo hipersônico
17:45	OE1 - TD - Robert Rafael Araujo Oliveira	Dinâmica de voo de um veículo suborbital cativo integrado a um veículo lançador para experimento de hipervelocidade
18:00	OE1 - TD - Guilherme Martins Batista	Otimização da Trajetória de Reentrada de Veículo Hipersônico
18:15	DIC - AEB	Programa AEB Escola
18:30	Gestão - AEB-MAPTEC	MAPTEC - Mapeamento Tecnológico
18:45	Gerais- Avibrás	
19:00	Gerais- Avibrás	
19:15	intervalo	
19:45	OE2-TP - Luiz Carlos Ogando Dacal	Cálculo da condutividade térmica de materiais para barreira térmica usando a Teoria do Funcional da Densidade.
20:00	OE-3-TP- André Carlos Fraile Júnior	Avaliação de desempenho aerodinâmico de veículos hipersônicos por CFD
20:15	OE-3 - TP - Danton Jose Fortes Villas Boas	Determinação de coeficientes aerodinâmicos para o VAH/VSB-30
20:30	OE-3 - TD - Amanda Chenu Romano	Estudo da iteração escoamento aerodinâmico com jato propulsivo através de CFD
20:45	OE-3 - TP - Thiago Cardoso de Souza	Modelagem computacional da interação viscosa e combustão supersônica em Scramjets



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Programação

Quarta - 27/out		
Horário	Apresentação	Título do trabalho
17:00	Gerais - Lucas Galembeck	Projeto HEXAFly-INT
17:15	OE-3 - TP - Sandi Itamar Schafer de Souza	CFD aplicado em scramjet e Laboratório de Dinâmica de Fluidos Computacional
17:30	OE-3 - TP - Cayo Prado Fernandes Francisco	Simulações aerotermodinâmicas em regime hipersônico
17:45	OE-3 - TP - Guilherme Borges Ribeiro	Modelos em CFD e termodinâmicos para a predição do comportamento térmico de veículos hipersônicos
18:00	OE1 - TD - Ramon Carneiro	Modeling of the Temperature Distribution at the Leading-Edge of a Scramjet Engine Using GPU
18:15	OE-3 - TD - Ramon Carneiro	Analytical and numerical study of the airframe-integrated scramjet vehicle
18:30	OE-3 - TD - Paulo Vasconcelos	Estudo Experimental de Interações Fluido-Estrutura Hipersônicas em um Painel Flexível Fixo-Livre-Fixo-Livre Inclinado.
18:45	OE-3 - TD - João Vitor Marques Brito de Siqueira	Three-dimensional Simulation of the 14X-S Scramjet Inlet Flow Field Considering Different Flight Conditions
19:00	OE-3 - TD - Luiz Henrique Silva Marques Soares	Métodos para definição de geometrias de compressão de ar de veículos scramjet
19:15	intervalo	
19:45	OE-3 - TD - Artur Cristiano Paulino Pereira	Influência da razão de equivalência na combustão e no empuxo gerado por scramjet em voo atmosférico a Mach 5,8 e 20 km de altitude
20:00	OE-3 - TD - Pedro Paulo Batista de Araújo	Breve revisão das correlações para tensão de cisalhamento na parede em escoamentos hipersônicos
20:15	OE-3 - TD - Felipe Pinheiro Maia	Análise numérica da performance aerodinâmica de um motor-foguete S-30 acoplado a um demonstrador scramjet
20:30	DIC - Rafael Oliveira Matos e Campos	TOPUS Social - Divulgação da ciência espacial para o ensino fundamental e médio
20:45	DIC - Suellen Araújo (Equipe Decolar)	Alunos talentosos da rede pública de ensino se inteirando dos conceitos e desafios de hipersônica.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Programação

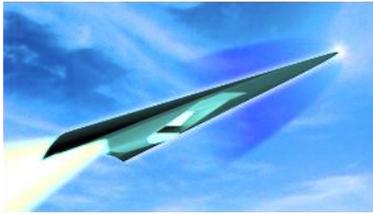
Quinta - 28/out		
Horário	Apresentação	Título do trabalho
17:00	OE-5 - TP - Giannino Ponchio Camilo	Interferometria Diferencial com Laser Focalizado (FLDI)
17:15	OE-3 - TP-Humberto Araujo Machado	Aspectos da transferência de calor em veículos hipersônicos
17:30	OE-5-TP - Lucas Alexandre Gonçalves Ribeiro	Meios de Apoio à pesquisa em Solo na Divisão de Aerotermodinamica e Hipersônica do IEAv
17:45	OE-3 - TD - Gabriel Afonso Pichorin	Análise da seção de captura de ar de um demonstrador scramjet para voo atmosférico em velocidades hipersônicas considerando ar em equilíbrio termodinâmico
18:00	OE-3 - TD - Paulo César de Oliveira Júnior	Aquecimento aerodinâmico de um veículo hipersônico aspirado em Mach 5,8
18:15	OE-3 - TD - Mariana Miranda Silva	Projeto da geometria do dorso de um veículo hipersônico waverider
18:30	OE-3 - TD - Rafael Oliveira Matos e Campos	Estudo de estratégias para injeção do hidrogênio visando controle térmico e aerodinâmico
18:45	OE-2- TP - Fábio Dondeo Origo	Proposta de rede de materiais avançados para hipersônica
19:00	OE-2- TP- Gilberto Petraconi Filho	Processos de síntese e qualificação de materiais de barreira térmica empregando tecnologia de plasmas térmicos
19:15	intervalo	
19:45	OE-2- TP -Milton Sergio Fernandes de Lima	Estudo experimental do impacto hipersônico em materiais com uso do acelerador zarabatana
20:00	OE-2- TP - Orlando Roberto Neto	Cinética de reações de combustão H ₂ /O ₂ /SiH ₄ com métodos da Teoria do Estado de Transição
20:15	OE-2- TP - Vladimir Henrique Baggio Scheid	Produção de recobrimentos de barreira térmica por meio de laser cladding e descarga de catodo oco
20:30	OE-2- TP - Vera Lúcia Othéro de Brito	Utilização de laser na produção de revestimentos de barreira térmica
20:45	OE-2- TP - Míriam Kasumi Hwang Yassuda	Compósitos termoestruturais para tecnologia de aeronaves hipersônicas



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Programação

Sexta - 29/out		
Horário	Apresentação	Título do trabalho
17:00	OE-2- TP- Argemiro Soares da Silva Sobrinho	Síntese de recobrimento de carbeto de nióbio por plasma spray
17:15	OE-2- TP - Douglas Marcel Gonçalves Leite	Técnicas de caracterização microestrutural de recobrimentos cerâmicos
17:30	OE-2- TP - Felipe de Souza Miranda	Avaliação em túnel de plasma de perfis aerodinâmicos com recobrimentos de barreira térmica expostos a condições de voos hipersônicos: Abordagem de simulação numérica e experimental
17:45	OE-2- TD - Raysa Cristiano Paulino Pereira	Brasagem Indireta de C/C para aplicações em veículos hipersônicos
18:00	OE-2- TD - Homero Fonseca Santiago Maciel	Síntese e qualificação de recobrimentos termoestruturais cerâmicos avançados utilizados em estruturas e dispositivos de proteção térmica de veículos hipersônicos
18:15	OE-2- TD - Roberson José da Silva	Alumina coatings on stainless steel and high-density graphite substrates obtained by plasma spray process
18:30	OE-2- TD - Cristian Cley Pateniani Rita	Morphological study and chemical composition ceramic materials tested under hypersonic flow plasma conditions
18:45	OE-5-TP - Thiago Lima de Assunção	Hypersonic Shock Tunnel T1: A Parametric Study
19:00	OE-5-TP - Carlos d'Andrade Souto	Infra-estrutura laboratorial para ensaios dinâmicos
19:15	intervalo	
19:45	OE-5-TD - Renan Guilherme Santos Vilela	Projeto aerodinâmico, fabricação e teste de uma tubeira híbrida para Túnel de Choque Hipersônico
20:00	OE-5-TD - Ronaldo de Lima Cardoso	Estudo experimental da combustão supersônica em túnel de choque hipersônico
20:15	OE-5-TD - Rafael de Oliveira Santos	Correlação entre Ângulo de Ataque e Diferença de Pressão de Parede em Ambiente Hipersônico: Verificação e Validação
20:30	OE-5-TP - George Santos Marinho	TUBO DE CHOQUE: ferramenta para acelerar a pesquisa experimental
20:45	OE-5-TD - William Henrique de Lima Fiuza	Projeto e análise estrutural de um Tubo de Choque



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Dermeval Carinhana Junior (IEAv)

Projeto PROPHIPER: O desafio de voar a 12 mil km/h

Resumo:

Se em 2003 o mundo pareceu dar adeus à era supersônica, com a aposentadoria do Concorde, apenas quinze anos depois, com a divulgação ostensiva de novos artefatos, percebeu-se, de sobressalto, um novo ciclo do voo atmosférico: o das velocidades hipersônicas. No entanto, o desenvolvimento associado às tecnologias hipersônicas aspiradas remonta desde a década de 1960, o que demonstra seu caráter intensivo, tanto com respeito aos desafios tecnológicos, como aos investimentos requeridos. Mais do que um marco físico, seu legado consiste no estabelecimento de uma cadeia de conhecimentos técnico-científicos formada pela ação conjunta de atores como universidades, centros de pesquisa, agências de fomento e setor produtivo. No Brasil, esse legado tem sido estabelecido por meio do Projeto Propulsão Hipersônica 14-X, PROPHIPER, financiado pelo Comando da Aeronáutica e sob responsabilidade do Instituto de Estudos Avançados, IEAv. Iniciado em 2006, o PROPHIPER tem como objetivo a demonstração do voo hipersônico aspirado, em Mach 10 a 30 km, por meio de ensaios em voo associados à combustão propulsão, guiamento, navegação e controle e, por fim, o voo de cruzeiro, e cujos principais aspectos consistem no objetivo desta apresentação.

Israel da Silveira Rêgo (IEAv)

Propulsão Aeroespacial Hipersônica: Do papel ao voo (ISO 14300-1)

Resumo:

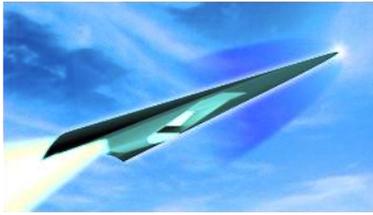
Discutiremos a estruturação de um projeto de sistema aeroespacial conforme normas consagradas e adotadas pelas agências espaciais NASA e ESA. Como estudo de caso de aplicação prática das normas, será apresentada a estruturação da pesquisa e desenvolvimento de um motor scramjet no âmbito Projeto Estratégico PROPHIPER em vigor no IEAv/DCTA.

Lucas Galembeck (IEAv)

Projeto HEXAFly-INT

Resumo:

O projeto HEXAFly-INT (*High-Speed Experimental Fly Vehicle – International*) busca desenvolver e ensaiar em voo um planador hipersônico como prova de conceito da capacidade de transporte de alta velocidade (entre Mach 7 e 8) de um veículo com alta eficiência volumétrica e aerodinâmica. Nessa velocidade, seria possível



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

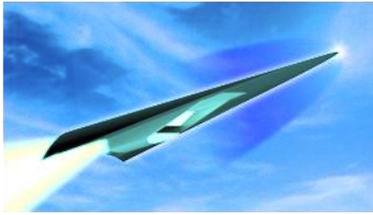
transportar passageiros de São José dos Campos até Sydney (Austrália) em 1,5 horas em oposição às atuais 17h, caso existisse um voo direto hoje. O projeto é uma P&D com aplicações civis, de caráter internacional com a participação de consórcios da Europa (ESA), Rússia, Austrália e Brasil, e busca utilizar conceitos e materiais inovadores de maneira a aumentar o TRL das tecnologias capazes de suportar os desafios do voo hipersônico. O consórcio brasileiro tem participação no desenvolvimento do planador e do lançador (VS-50), e na campanha de lançamento e ensaio em voo que acontecerá em território brasileiro (a partir do CLA).

Aline Bessa Veloso

MAPTEC - Mapeamento Tecnológico

Resumo:

O MapTec é um projeto de mapeamento de tecnologias espaciais brasileiras que objetiva criar um banco de dados da tecnologia espacial nacional a partir de diversas fontes. O projeto em desenvolvimento, busca identificar, classificar, avaliar e validar as tecnologias espaciais desenvolvidas no país. Atualmente, o projeto está em fase de identificação e de classificação de tecnologias. Os resultados preliminares do projeto estão disponíveis em: <https://observatorio.aeb.gov.br/dados-e-indicadores/tema-mapeamentotecnologico/mapeamento-de-tecnologias-espaciais>. Nas fases seguintes, as tecnologias serão avaliadas por meio ferramentas de avaliação de maturidade tecnológica e os dados armazenados em um banco de dado. Para isso, a AEB em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria está desenvolvendo um sistema integrado com banco de dados para identificar, cadastrar, classificar, avaliar e validar as tecnologias espaciais. A iniciativa permitirá um fluxo dinâmico de informações tecnológicas desde o momento do cadastro da tecnologia até a validação de suas métricas de maturidade. Em outra parceria, a AEB e o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) utilizarão bancos de patentes nacionais e internacionais para identificação de tecnologias de interesse para o Programa Espacial Brasileiro. Esse levantamento permitirá o cadastro de tecnologias mais maduras no sistema que, posteriormente, serão avaliadas e validadas pelo MapTec.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Sessões TP

André Carlos Fraile Júnior (IEAv)

Avaliação de desempenho aerodinâmico de veículos hipersônicos por CFD

Resumo:

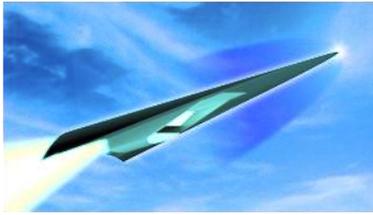
No planejamento do ensaio em voo de um veículo hipersônico, é necessário avaliar condições de estabilidade de voo por meio do cálculo de coeficientes aerodinâmicos associados à geometria do veículo em determinadas condições de voo. Neste trabalho, são apresentados os procedimentos realizados por pesquisadores do Instituto de Estudos Avançados para a avaliação de coeficientes aerodinâmicos de veículos hipersônicos por meio de simulações de dinâmica dos fluidos computacional. A metodologia foi aplicada para o estudo de um veículo acelerador hipersônico com carga útil correspondente a um motor scramjet e, em trabalhos mais recentes, tem sido utilizada para obter coeficientes aerodinâmicos associados a uma aeronave hipersônica com diferentes deflexões de superfícies de controle.

Ângelo de Carvalho Paulino (IEAv)

Optimal Preliminary Design of Hypersonic Waverider Using Multiple Metaheuristics

Resumo:

One of the studied lifting-bodies for hypersonic endoatmospheric flight is the waverider, due to the high lift-to-drag ratio they present in comparison with conventional lifting-bodies and their ideal pre-compression surface for scramjet engine integration. A comparison of possible assumptions that might turn into feasible solutions under legacy constraints is of utmost importance to drive the development of any hypersonic vehicle design. This paper presents a methodology for obtaining optimal preliminary designs of a generalized wedge-derived waverider configuration relating coefficients based on geometric constraints and aerodynamic efficiency. Computational optimization is used for addressing this task. The optimization process makes use of different metaheuristics, such as Evolutionary, Black Hole and Vortex Search algorithms, to explore diverse search mechanisms aiming at avoiding local minima and providing good solutions. Multiple variables of interest are analyzed via Pareto fronts built by searching the minima of a multiobjective cost function. Achieved results, regarding the lift-to-drag ratio and the internal volume of the waverider subject to restrictions of the fairing configurations (geometry and inner payload volume) of its launching vehicle, led to several optimal designs that may be chosen according to requirements and constraints of the intended application.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Fábio Dondeo Origo (IEAv)

Proposta de rede de materiais avançados para hipersônica

Resumo:

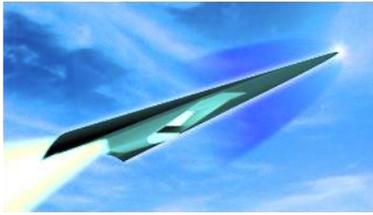
Há mais de uma década o projeto do veículo hipersônico 14X vem sendo desenvolvido no IEAv com foco em questões de aerodinâmica e de desenvolvimento do motor aspirado. Com o amadurecimento desse projeto, se iniciou a formação de equipes para desenvolverem materiais avançados a serem usados na parte externa do veículo hipersônico e nos motores. Há cerca de três anos pesquisadores do IEAv, ITA e IAE começaram as discussões para a formação de uma equipe multi-instituições visando o desenvolvimento e a caracterização de materiais avançados capazes de resistir às complexas condições termo-estruturais de um voo hipersônico. Pesquisadores com diferentes formações, como materiais carbonosos, metálicos, cerâmicos, filmes finos, deposição a laser, plasma, microscopias, entre outras áreas se agregaram a esse projeto de materiais. Será apresentada a fase atual, com início das atividades experimentais, e as etapas previstas para os próximos anos, incluindo participação de empresas numa fase mais avançada. O seminário visa principalmente incentivar a participação de mais pesquisadores, professores e alunos nesse ambicioso programa de materiais avançados voltados para hipersônica.

Fábio Henrique Eugênio Ribeiro (IEAv)

Os desafios da combustão supersônica

Resumo:

A câmara de combustão é um dos componentes essenciais no desenvolvimento de veículos. Em motores aspirados de combustão supersônica (scramjet) o ar atravessa a câmara de combustão em velocidades supersônicas, limitando consideravelmente o tempo para injetar e misturar o combustível com o escoamento, proceder a ignição da mistura e estabilizar a chama. A eficiência da combustão nestes motores está relacionada à eficiência da mistura, o que justifica os esforços em andamento para otimizar a eficiência da injeção e, eventualmente, otimizar a entrada de ar. Devido às altas temperaturas no interior da câmara de combustão causada pela conversão da energia cinética em térmica, além da adição de calor através do combustível, a simulação numérica computacional apresenta-se como uma boa maneira para realizar as análises dos fenômenos que ocorrem neste ambiente. Através de simulações em grandes escalas (LES – Large Eddy Simulation) é possível analisar o comportamento da mistura ar-combustível na câmara de combustão, desde o processo de ignição até o comportamento do motor como um todo, de forma a poder otimizar a eficiência de todo o processo.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Giannino Ponchio Camillo (IEAv)

Interferometria Diferencial com Laser Focalizado (FLDI)

Resumo:

FLDI é uma técnica de diagnóstico por linha-de-visada para detecção de flutuações de densidade. Essa ferramenta tem despertado interesse na comunidade de investigação experimental de escoamentos de alta velocidade, por suas características únicas de elevado alcance no espectro em frequência com elevada sensibilidade e rejeição de ruído. Esta apresentação objetiva fornecer uma visão geral da técnica, suas aplicações e limitações.

Luis Carlos Ogando Dacal (IEAv)

Cálculo da condutividade térmica de materiais para barreira térmica usando a Teoria do Funcional da Densidade.

Resumo:

Durante o voo de veículos hipersônicos, o aquecimento gerado pelo atrito com o ar eleva a temperatura de certas regiões da superfície externa a valores da ordem de milhares de graus Celsius. Neste contexto, o desenvolvimento de materiais e estruturas para proteção térmica torna-se um dos temas mais relevantes de pesquisa. Não há dúvida que, dentro desta pesquisa, o valor da condutividade térmica é um dos parâmetros mais relevantes a serem monitorados. Nesta apresentação, mostraremos uma proposta de cálculo da condutividade térmica de materiais de interesse, baseada na dispersão de fônons obtida a partir de resultados da Teoria do Funcional da Densidade. Mais especificamente, usaremos uma combinação dos softwares livres Phono3py (<https://phonopy.github.io/phonopy/>) e Abinit (<https://www.abinit.org/>).

Milton Sergio Fernandes de Lima (IEAv)

Estudo experimental do impacto hipersônico em materiais com uso do acelerador zarabatana

Resumo:

O lançador hipersônico de massa (LHM) do IEAv, conhecido por Zarabatana, permite o estudo do escoamento hipersônico à frente de um projétil especialmente concebido para deslocamentos em velocidades de até mach 6. As pesquisas realizadas até o momento permitiram obter dados importantes para os projetos estratégicos em escoamento de veículos hipersônicos. Por outro lado, o impacto do projétil numa dada superfície ainda não estudado, embora saiba-se que ainda não existem contramedidas eficientes aos chamados armamentos hipersônicos. Este estudo pretende modificar o layout do LHM de tal maneira que o projétil atinja uma determinada superfície para estudo da absorção de energia em função do material-alvo. Pretende-se que o estudo seja de importância na seleção, fabricação e montagem de materiais



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

absorvedores de projéteis com energias extremas, com aplicação direta em veículos espaciais, aeronaves, blindados e segurança operacional. A modificação do LHM não afeta os estudos em curso de aerotermodinâmica e hipersônica uma vez que a parte da onda de choque permanecerá inalterada.

Orlando Roberto Neto (IEAv)

Cinética de reações de combustão $H_2/O_2/SiH_4$ com métodos da Teoria do Estado de Transição

Resumo:

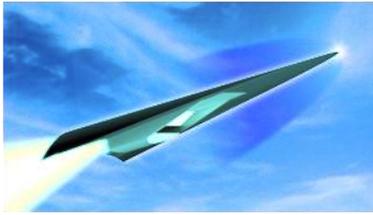
Teorias do Estado de Transição constituem metodologias complementares ao estudo de cinético experimental de mecanismos de reação de combustão convencional e supersônica. As reações globais de hidrogênio envolvem a presença de dezenas de moléculas e radicais, formando dezenas de mecanismos de reações, cuja determinação das energias de ativação e das velocidades de reação, constitui tarefa de alta complexidade. A dificuldade aumenta com a presença de ignitores, como silano (SiH_4) e água oxigenada (H_2O_2) porque há lacunas nos valores de dados cinéticos e termoquímicos, relacionados aos mecanismos reacionais adicionais. Métodos da Teoria do Estado de Transição (TET) com correções de tunelamento são empregados para a obtenção dos parâmetros cinéticos em função da temperatura a um custo computacional relativamente baixo. Para o uso da TET é necessário a determinação das geometrias, frequências vibracionais dos reagentes, produtos, e dos estados de transição, que permitem, inclusive, os cálculos de propriedades termoquímicas, exemplo, entalpia da reação. Resultados e aplicações da TET são apresentados para reações envolvendo H_2 com H_2O_2 e SiH_4 .

Lucas Alexandre Gonçalves Ribeiro (IEAv)

Meios de Apoio à pesquisa em Solo na Divisão de Aerotermodinâmica e Hipersônica do IEAv.

Resumo:

No Laboratório de Aerotermodinâmica e Hipersônica Prof. Henry T. Nagamatsu estão concentrados todos os dispositivos de ensaio em solo da Divisão de Aerotermodinâmica e Hipersônica do IEAv. Ao todo o complexo laboratorial conta com quatro túneis de choque hipersônico operacionais, um túnel em desenvolvimento e diversas técnicas de diagnóstico consolidadas. Nessa apresentação serão abordadas as principais características de cada um desses dispositivos e alguns trabalhos relevantes em que foram empregados. Algumas perspectivas futuras sobre a ampliação e modernização da capacidade laboratorial também serão apresentadas, com destaque para o Túnel T5 em construção, o qual se tornará o maior túnel de choque hipersônico operacional do hemisfério sul.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Thiago Lima de Assunção (IEAv)

Hypersonic Shock Tunnel T1: A Parametric Study

Resumo:

This work presents the results of a parametric study carried out at Hypersonic and Aerothermodynamic Laboratory (LAH), employing the Hypersonic Shock Tunnel T1 with a Shock Tube configuration. A computational routine was created using Octave program in order to calculate the flow properties under assumption of the calorically perfect gas. Moreover, several Tunnel conditions were analyzed, where 3 experiments (runs) were carried out for each one. Then, the theoretical results were compared to experimental data, such as incident Mach number (M_s) and stagnation pressure (p_5), providing the “loss factor” associated to Tunnel T1 operation. Moreover, still concerning this analysis, it was evaluated the influence of the Driver gas and pressure ratio p_4/p_1 on the flow properties, where the results globally agree with literature. Finally, a statistical approach was employed in order to evaluate the repeatability of the results provided by device operation, based on dispersion analysis of the stagnation pressure, where it was possible to notice a low dispersion of the data.

Vladimir Henrique Baggio Scheid (IEAv)

Produção de recobrimentos de barreira térmica por meio de laser cladding e descarga de catodo oco

Resumo:

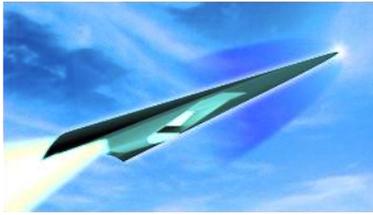
A proposta consiste em um desenvolvimento tecnológico para produção e a caracterização de recobrimentos de barreira térmica (TBC) por meio de laser cladding e descarga de catodo oco. Os recobrimentos visam atender aos requisitos da câmara de combustão interna do veículo hipersônico 14X em desenvolvimento no Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Departamento de Ciências e Tecnologias Aeroespaciais (DCTA), em São José dos Campos - SP. Os trabalhos de deposição serão realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Aplicações a Lasers e Óptica e no Laboratório de Tecnologia de Superfícies, ambos na Divisão de Fotônica do IEAv. Os testes e caracterização dos TBCs serão realizados nos laboratórios da EFO e de outras instituições parceiras.

Breno de Oliveira e Silva (IEAv)

Controle de veículos hipersônicos em atmosfera sensível

Resumo:

O estudo desenvolvido busca obter resultados preliminares de estabilidade em voo hipersônico, por meio de um controle não linear, em que se aplicam inicialmente estabilizações via realimentação linearizante e backstepping, assumindo-se um voo em regime estacionário do motor scramjet. A formulação, apesar de



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

fortemente ligada à modelagem do problema, é capaz de eliminar não linearidades por meio da lei de controle projetada, considerando-se algumas variáveis do modelo como incertas, porém estimáveis. Perspectivas futuras englobam uma lei de controle mais abrangente, utilizando-se de outras técnicas igualmente não lineares, que seja capaz de incluir aspectos relacionados aos diversos acoplamentos entre as restrições do voo hipersônico.

Vera Lúcia Othéro de Brito (IEAv)

Utilização de laser na produção de revestimentos de barreira térmica

Resumo:

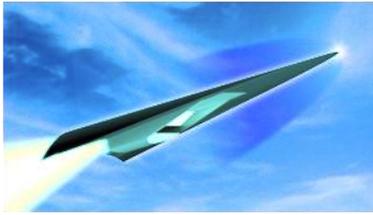
Revestimentos de barreira térmica, internacionalmente conhecidos como TBCs (thermal barrier coatings) são uma tecnologia de extrema importância na indústria aeronáutica. Estes revestimentos normalmente são utilizados em turbinas, protegendo termicamente os seus componentes e permitindo uma operação em temperaturas menores que 1300 oC. Estes revestimentos também possuem potencial de aplicação em hipersônica e já têm sido considerados inclusive no projeto HEXAFLY. Neste trabalho, serão apresentados os projetos da Divisão de Fotônica do IEAv na área de TBCs, com ênfase no que está em andamento na Divisão, no qual laser vem sendo utilizado na fabricação deste tipo de revestimento sobre liga Ti-6Al-4V e aço AISI 304. Serão apresentados o status do projeto, as suas perspectivas e as possibilidades de cooperação com outras instituições.

Míriam Kasumi Hwang Yassuda (IEAv)

Compósitos termoestruturais para tecnologia de aeronaves hipersônicas

Resumo:

Um dos pontos críticos em pesquisa de tecnologia aeroespacial é a resistência termoestrutural de materiais, em ambiente de atmosfera oxidante, corrosiva e de altas temperaturas. Por se tratar de tecnologia estratégica, muitos materiais sofrem sanções comerciais internacionais. A proposta é desenvolver um sistema de camadas de materiais compósitos de proteção térmica que reduzam gradualmente a alta temperatura externa. Materiais compósitos são compostos por dois ou mais tipos de materiais diferentes, que juntos preservam suas características individuais com propriedades. Ele pode ser uma combinação entre materiais cerâmicos, metálicos e polímeros. Serão estudados os materiais, que podem operar em faixas distintas de temperatura com espessura adequada e afinidades (químicas e microestruturais das interfaces dos materiais e o meio ambiente envolvido). O sistema de proteção térmica a ser estudado será composto por camadas de materiais, levando em consideração diagramas de fase; temperaturas de fusão e decomposição do material; tipos de reações químicas entre elementos envolvidos no sistema (atmosfera e materiais de contato direto); propriedades mecânicas e térmicas, além de outros fatores de interação que podem influenciar e que forem detectados ao longo do estudo.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

George Santos Marinho (UFRN)

TUBO DE CHOQUE: ferramenta para acelerar a pesquisa experimental

Resumo:

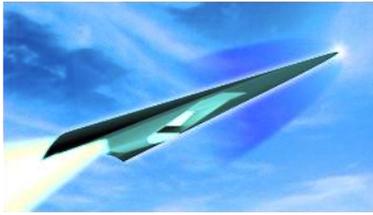
Formar recursos humanos com capacitação para atuar em pesquisa – desenvolvimento – inovação e empreendedorismo em tecnologia hipersônica requer, entre outros, infraestrutura para realização de trabalhos experimentais. A UFRN, por meio de parceria estabelecida com o Instituto de Estudos Avançados – IEAv, adquiriu material para montagem de um tubo de choque de baixa pressão (~ 70 atm), com sistema de duplo diafragma para produzir uma repetição de razão de pressão, que possibilite o estabelecimento de uma onda de choque, de pulso simples (single-pulse shock tube). Essa ferramenta laboratorial permitirá, em princípio, atender demandas de pesquisadores e alunos das pós graduações em Engenharia Mecânica e em Engenharia Aeroespacial da UFRN que atuam no Projeto PROCAD–DEFESA – Desenvolvimentos Nacionais em Propulsão Hipersônica Aspirada com Foco no Acesso ao Espaço e Defesa, além de alunos de graduação das engenharias que desenvolvem trabalhos de iniciação científica e de conclusão de curso na linha pesquisa em hipersônica. Com recursos da CAPES e da UFRN, pretende-se montar, alinhar e calibrar o Tubo de Choque para operação no Laboratório de Transferência de Calor da UFRN.

Sandi Itamar Schafer de Souza (UFRN)

CFD aplicado em scramjet e Laboratório de Dinâmica de Fluidos Computacional

Resumo:

O laboratório de CFD do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRN iniciou suas atividades em 2016, foi montado com recursos oriundos do programa de apoio a planos de reestruturação e expansão das universidades federais – REUNI. O laboratório é coordenado pelo Prof. Dr. Sandi I. S de Souza e nele atua também o professor Thiago C. de Souza. No âmbito do PROCAD o laboratório tem sido utilizado pelos docentes e discentes para o desenvolvimento de pesquisa que resultam em dissertações e publicações em congressos e periódicos. Os trabalhos que abordam o tema de escoamentos hipersônicos em Scramjet iniciaram em 2017 com a chegada do professor Paulo Toro na UFRN, e em 2019 a primeira defesa de dissertação, no tema, desenvolvida no laboratório foi realizada. Até o momento quatro dissertações, no assunto, foram desenvolvidas e concluídas no laboratório de CFD. Em virtude da complexidade associada ao estudo experimental do escoamento em Scramjet e da complexidade matemática em se obter soluções analíticas realísticas, a simulação numérica, empregando as técnicas de CFD, tem encontrado uma fértil área de atuação.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Thiago Cardoso de Souza (UFRN)

Modelagem computacional (CFD) do escoamento em Scramjet

Resumo:

A presente apresentação abordará as ações do grupo de estudos em Hipersônica do Laboratório de Mecânica dos Fluidos Computacional da UFRN em problemas relacionados a modelagem computacional de fenômenos físicos relevantes ao design de motores Scramjet, em especial aqueles associados à interação viscosa e combustão supersônica sustentada. Resultados importantes como a configuração geométrica da região Intake e seu impacto na performance do design proposto serão abordados, bem como a quantificação da interação viscosa em veículos com propulsão híbrida motor-foguete/scramjet. Resultados preliminares de métodos de injeção de combustível serão brevemente comentados.

Paulo Gilberto de Paula Toro (UFRN)

Projeto aero-termo-estrutural de um veículo aeroespacial integrado a sistema de propulsão hipersônica aspirada

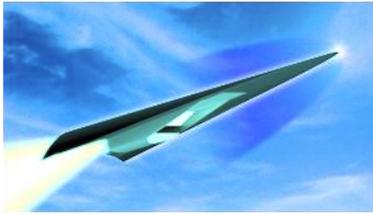
Resumo:

A realização da pesquisa em propulsão hipersônica aspirada, visando o desenvolvimento de um veículo aeroespacial utilizando combustão supersônica (tecnologia scramjet), que em conjunto com motores foguetes tem objetivo de colocar nanosatelites em órbita terrestre baixa. Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais (PG-CTE), do ITA, desde fevereiro de 2012. Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial (PPG-EA), da UFRN, desde abril de 2019. Docente Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPG-EM), desde fevereiro de 2018. Orienta, desde 2019, no PG-CTE: 5 Teses de Doutorado e 1 Dissertação de Mestrado; no PPG-EA: 6 Dissertações de Mestrado; na Graduação: 1 TCC e 1 I. C.. Orientou, desde 2019, no PPG-EA: 2 Dissertações de Mestrado; no PPG-EM: 3 Dissertações de Mestrado. Orienta 1 I.C. na UFRN; 1 I.C. na UFSM; 1 I.C. na UNIVASF; 1 I.C. na UNIVAP. Orientou 1 TCC na UFSC. Publicou 1 artigo Qualis A1 e 4 artigos em periódico não cadastrado no Qualis. Será apresentado 12 artigos no COBEM 2021. Foram publicados 4 artigos no ENCIT 2020. Pretende-se submeter 8 artigos em periódicos superior a A3 (Qualis 2017-2020) em 2021. Participa da montagem e operação de um Tubo de Choque na UFRN.

Argemiro Soares da Silva Sobrinho (ITA)

Síntese de recobrimento de carbeto de nióbio por plasma spray

Resumo:



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

A alta dureza, o alto módulo de elasticidade, o alto ponto de fusão, a resistência química, a excelente resistência ao desgaste e a resistência ao choque térmico dos carbeto de metais de transição IV B-VI B, como TiC, ZrC, HfC, NbC e TaC os tornam fortes candidatos a aplicações em ultra alta temperatura. O carbeto de nióbio (NbC) possui ponto de fusão de 3600 °C, dureza de 24,1 GPa, e módulo de elasticidade $E = 492$ GPa, alta condutividade ($4,6 \text{ m}\Omega / \text{cm}$), alta estabilidade química e alta resistência ao desgaste, portanto, é um forte candidato para aplicação como componentes de propulsão de scramjets. Camadas de carbeto de nióbio foram depositadas sobre substratos de ligas de titânio e aço inoxidável por meio da técnica de plasma spray de alta velocidade, utilizando pó de carbeto de nióbio com granulometria manométrica. As deposições foram realizadas em diferentes condições de potência elétrica aplicadas a tocha de plasma para investigar diferentes temperaturas de deposição. As camadas depositadas apresentaram boa uniformidade e excelente adesão aos substratos. A composição, propriedades estruturais e a morfologia superficial das camadas depositadas foram analisadas por EDX, DRX e MEV, respectivamente.

Douglas Marcel Gonçalves Leite (ITA)

Técnicas de caracterização microestrutural de recobrimentos cerâmicos

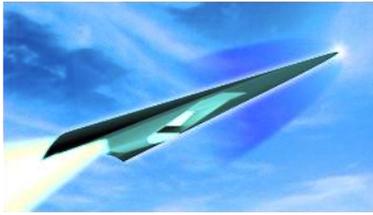
Resumo:

Processos de deposição de recobrimentos cerâmicos envolvem altas energias em um ambiente altamente reativo, na qual são previstas reações do material precursor e da própria camada de recobrimento principalmente com o ar e com o material do substrato. Neste sentido, as técnicas de caracterização devem ser empregadas de forma a investigar os efeitos nos gradientes composicional, estrutural e morfológico do recobrimento. Portanto, técnicas como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) associada à análise composicional por Espectroscopia de Raio-X por Dispersão em Energia (EDS) devem ser empregadas de forma a analisar, preferencialmente em forma de mapeamento, tanto a área superficial quanto a seção transversal do recobrimento. Este cuidado deve ser aplicado às demais técnicas pontuais de medidas, como é o caso da Espectroscopia Raman, na modalidade micro Raman, na qual o tamanho do spot é da ordem de 1 micron. No entanto, para a caracterização estrutural por técnicas de análise em volume, como a Difractometria de Raio-X (DRX), geralmente é impossível obter informações de gradientes composicionais ao longo da espessura do recobrimento. Neste contexto, este trabalho apresenta a importância de se aliar as técnicas de MEV, EDS, DRX e Raman para a devida caracterização microestrutural de recobrimentos cerâmicos.

Gilberto Petraconi Filho (ITA)

Processos de síntese e qualificação de materiais de barreira térmica empregando tecnologia de plasmas térmicos

Resumo:



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

O Laboratório de Plasmas e Processos do ITA (LPP-ITA) é formado por 04 laboratórios associados (Plasma térmico, Plasma frio, Labnanotecnologia e Labmat). O Laboratório de Plasmas Térmico está instalado num prédio construído com apoio da FINEP onde se emprega jatos de plasmas e tochas de plasmas de elevada potência para o processamento de materiais. Nesta palestra, serão apresentadas aplicações tecnológicas de física de plasmas térmicos desenvolvidas no Laboratório de Plasmas e Processos (LPP) do ITA, com foco em processos de síntese de materiais de barreira térmica por plasma spray e testes de ablação empregando tochas de plasmas térmicos.

Guilherme Borges Ribeiro (ITA)

Modelos em CFD e termodinâmicos para a predição do comportamento térmico de veículos hipersônicos

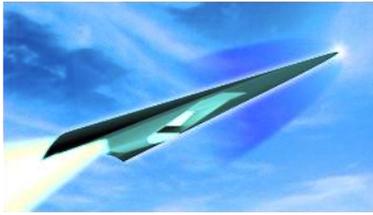
Resumo:

Motores scramjet têm sido extensivamente estudados nos últimos anos, e diversas missões têm sido relatadas na mídia aeroespacial, e desenvolvimentos recentes são detalhados na literatura. No entanto, nota-se que a predição de todos os fenômenos físicos envolvidos na operação de motores scramjet por simulações CFD tridimensionais não estão plenamente satisfeitos, especialmente devido aos custos computacionais envolvidos e à alta complexidade do escoamento. Tendo isso em mente, busca-se o desenvolvimento de modelos de CFD que consigam prever e auxiliar no projeto de futuros motores scramjet. Portanto, o efeito de condições de voo (altitude, ângulo de ataque e número de Mach) no desempenho das rampas de compressão e isolador do motor são avaliados. Além do campo de escoamento, a taxa de geração de entropia e a eficiência isentrópica do processo de compressão são avaliados. Ainda, avaliando os testes da bancada de testes combustor supersônico, está sendo realizadas simulações de CFD cujo propósito é encontrar a relação entre as condições desejadas de fluxo de ar (temperatura, número de Mach e teor de oxigênio) na saída da bancada e a vazão mássica dos reagentes (ar, NGV e oxigênio) na entrada do gerador de ar viciado do aparato. Por fim, com foco em ciclos de ar, está sendo realizado uma modelagem computacional, aplicando as condições de voo hipersônico em um sistema de ar condicionado aeronáutico. Dessa forma, busca-se uma previsão da temperatura de ar que se pode obter insuflada na carga útil do veículo, evitando o sobreaquecimento dos componentes internos do mesmo.

Jesuino Takachi Tomita (ITA)

Cálculo de escoamento tridimensional em regime hipersônico.

Resumo:



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Alexandre Barbosa (ITA)

Desenvolvimento de simuladores de trajetória autóctone para veículos hipersônicos

Resumo:

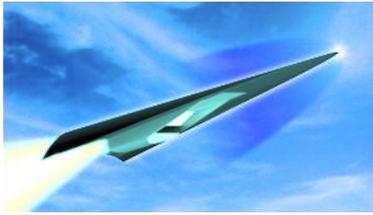
A engenharia de veículos hipersônicos requer o uso de programas de simulação de trajetória cada vez mais sofisticados, utilizando ao máximo os recursos computacionais, capazes de interagir com os modelos das disciplinas correlatas, tais como dinâmica de voo, controle, cálculo estrutural, aeroacústica, aeroelasticidade, aerotermodinâmica e segurança de voo, em um framework de otimização para realizar os objetivos globais do projeto, reduzindo os custos de desenvolvimento e operação. Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um simulador de trajetória autóctone com essas características, de forma incremental, partindo-se dos modelos mais simples para os mais complexos, com uma arquitetura de código amigável que possa facilmente incorporar novos módulos, e promovendo a formação acadêmica nessa área. Atualmente, este projeto envolve a formação de dois alunos de mestrado. O desenvolvimento passa de forma cíclica por quatro etapas: modelagem matemática, programação orientada a objetos, simulação de casos e validação dos modelos. Por fim, além do uso de ferramentas computacionais adotadas como benchmark, este trabalho preconiza o uso de dados ostensivos, reforçando a importância de projetos universitários, que possam prover dados para a validação dos modelos.

Alexandre Barbosa (ITA)

Micro launcher optimum design using the solid rocket motor S-50

Resumo:

Due to the high level of miniaturization of satellite components, a new field for the development of low cost small launchers has become a trend, fulfilling with high quality the LEO missions of small, micro, and nano satellites. In the launcher design, it is mandatory to maximize the ratio between the payload mass and the vehicle total mass for a given mission. In this work, a case study is performed on the Solid Rocket Motor (SRM) S50. The S50 is under production to compose the first and second stages of the Brazilian Micro-satellite Launch Vehicle (VLM). This paper addresses the stage optimization problem by using the gradient method algorithm to calculate the second and third optimal stages for a given mission, considering the referenced SRM S50 as launcher first stage. In the procedure to find the optimum solution for the proposed problem, concepts of flight dynamics are applied. The developed method, which calculates the optimal launcher masses, is checked by a trajectory optimization software. The maximum payload mass, obtained from the trajectory optimization, is 5% greater than that given by the developed method.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Felipe de Souza Miranda (IAE- Pós-doc)

Avaliação em túnel de plasma de perfis aerodinâmicos com recobrimentos de barreira térmica expostos a condições de voos hipersônicos: Abordagem de simulação numérica e experimental

Resumo

Este trabalho visa a avaliação teórica e experimental em túnel de plasma hipersônico das propriedades aerodinâmicas, térmicas, ablativas-rerradiativas e microestruturais de amostras de C/C e Inconel 718 com diferentes formas de bordos de ataque protegidos com recobrimentos de Barreira Térmica, utilizando precursores híbridos de $ZrSiO_4+Al_2O_3$. Neste contexto, objetiva-se o desenvolvimento de um modelo computacional (CFD) para avaliação prévia dos perfis e geometrias a receberem a deposição dos recobrimentos de proteção térmica visando principalmente à minimização dos fluxos térmicos nos bordos de ataque críticos expostos a jatos de plasmas em regime de escoamento hipersônico. No processo e deposição de Recobrimentos de Barreira Térmica, será utilizada a metodologia de precursores híbridos de $ZrSiO_4+Al_2O_3$ por meio do processo de spray a plasma de alta velocidade. As características termofísicas do processo e dos materiais serão investigadas por meio das técnicas de espectroscopia de emissão óptica (DPV 2000), MEV/FEG-EDS, DRX, FTIR, Raman e TGA/DSC. Por fim, os perfis otimizados pela simulação CFD e recobertos com os materiais sintetizados serão expostos a ensaios aerotermodinâmicos em túnel de plasma visando qualificá-los ao emprego em sistemas de proteção térmica hipersônicos.

Carlos d'Andrade Souto (IAE - Coordenador Associado)

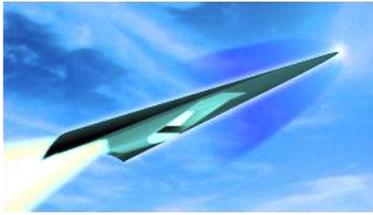
Infra estrutura laboratorial para ensaios dinâmicos

Resumo:

Ensaio dinâmico são uma parte importante no desenvolvimento de veículos aeroespaciais. A avaliação das propriedades dinâmicas de um veículo é útil para validar modelos teóricos de dinâmica de voo. As características modais da fuselagem podem ser determinadas por meio de ensaios de análise modal (Ground Vibration Tests – GVT). A capacidade de componentes embarcados suportarem o ambiente dinâmico gerado nas diferentes fases de voo pode ser avaliada por meio de ensaios de vibração realizados em solo. A Divisão de Integração e Ensaio (AIE) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) possui pessoal qualificado e os equipamentos necessários para conduzir estes tipos de ensaios. Esta apresentação visa descrever as capacidades e a infra-estrutura laboratorial da AIE relativos a ensaios dinâmicos.

Danton Jose Fortes Villas Boas (IAE)

Determinação de coeficientes aerodinâmicos para o VAH/VSB-30



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Resumo:

Neste trabalho são apresentados as atividades realizadas pelo IAE/ACE/LASA para a determinação de coeficientes aerodinâmicos para a configuração de voo do VAH/VSB-30 V32 que será lançado na Missão Cruzeiro, levando o 14-XS. Foram utilizadas ferramentas de cálculo semi-empírico e CFD. Os estudos trataram do modelo completo em simulação 3D para o voo do primeiro e segundo estágios, e simulações 2D para comparação da posição do centro de pressão com o bypass aberto e fechado.

Humberto Araujo Machado (IAE)

Aspectos da transferência de calor em veículos hipersônicos

Resumo:

Apresentação dos estudos desenvolvidos no Laboratório de Análise de Sistemas Aeroespaciais - LASA, da Divisão de Controle, Aerodinâmica e Estruturas – ACE do IAE, na área térmica, com possíveis aplicações em veículos hipersônicos de propulsão aspirada: estimativa do aquecimento aerodinâmico, simulação computacional de proteção térmica, transferência de calor por radiação, ablação e resfriamento de componentes eletrônicos embarcados e utilização de técnicas inversas.

Cayo Prado Fernandes Francisco

Simulações aerotermodinâmicas em regime hipersônico.

Resumo

Simulações Aerodinâmicas são essenciais para analisar e prever corretamente a dinâmica de voo de veículos aeroespaciais e também para prever e estudar fenômenos associados à própria dinâmica do escoamento. No caso de veículos que atingem velocidades hipersônicas, a modelagem e simulação do escoamento tornam-se extremamente complexas em função da ocorrência de ondas de choque, interação entre choques e camada-limite e condições termodinâmicas de não-equilíbrio. Neste trabalho apresentaremos resultados recentes de simulações do escoamento ao redor do veículo hipersônico 14-X e mostraremos algumas ferramentas de simulação que podem ser utilizadas futuramente para o estudo mais detalhado de sua aerodinâmica.

Paulo Celso Greco Júnior (USP-SC)

Análise exploratória em CFD da aerodinâmica e estabilidade de um veículo hipersônico

Resumo:

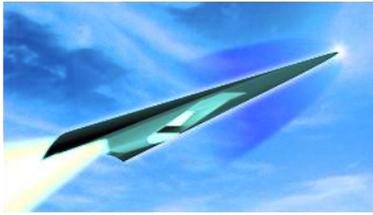


I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

É feita a análise aerodinâmica de um veículo hipersônico, baseado no 14-X B. A simulação, feita em CFD, inclui o veículo tridimensional e o processo de combustão do motor scramjet. São obtidos os resultados de distribuição de pressão para voo em Mach 5,8 e altitude de 20 km. A simulação em diferentes ângulos de ataque e ângulos de escorregamento lateral permitem avaliar a posição do ponto neutro longitudinal e látero-direcional. O veículo tem a configuração waverider em que a sustentação se deve, principalmente, à alta pressão nas rampas de compressão do scramjet. Isso desloca o centro de pressão para uma posição bem à frente da posição esperada para o cg da aeronave. Alguma forma de compensação é necessária para equilibrar o veículo.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Sessões TD

Nestor Brandão Neto (IEAv)

Arcabouço gerencial para a mitigação de riscos associados à transição entre os níveis de maturidade tecnológica.

Resumo:

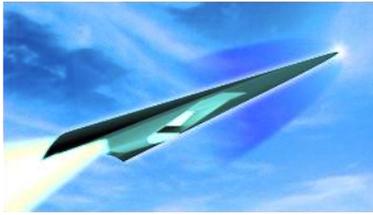
A aplicação de instrumentos gerenciais com a finalidade de minimizar os riscos existentes na transição entre a pesquisa tecnológica até a colocação com sucesso no mercado é vital para qualquer organização industrial e mesmo para as ICT. É apresentado um modelo composto por um conjunto de disciplinas gerenciais que, tratadas de forma integrada, auxiliam na mitigação de riscos associados à transição entre os níveis de maturidade de tecnologias até a disponibilização para o mercado. Disponibilizar tecnologias novas no mercado não é tarefa trivial e não é um processo contínuo e rotineiro; é fortemente influenciado por características econômicas, políticas, sociais e do ambiente organizacional. A literatura trata a transição entre os níveis de maturidade tecnológica como “Vale da Morte”. Considera-se que a P&D em si é apenas a base no processo de inovação. O fator chave para a mitigação dos riscos está na coordenação do processo de inovação no ecossistema de inovação. Neste sentido, torna-se crucial o gerenciamento da inovação baseado em redes como solução para minimizar os obstáculos. O autor argumenta sobre a importância de iniciativas como a rede de pesquisa em hipersônica e propõe a aplicação do modelo gerencial neste ambiente.

Ramon Carneiro (ITA-Bolsista PROCAD-DEFESA)

Modeling of the Temperature Distribution at the Leading-Edge of a Scramjet Engine Using GPU

Resumo:

In the critical external components of a scramjet engine during the hypersonic flight, the determination of the thermal field is fundamental to the adequate material selection and design of the structure. One of these components is the leading-edge of the vehicle, where the incident oblique shock wave is established. In this study, a numerical computational approach using the finite volume method is applied to solve the 2D heat conduction problem and estimate the temperature distribution of the scramjet leading-edge. The vehicle is designed to perform the atmospheric flight at an altitude of 35 km and Mach number 10. The computational domain is equivalent to a massive solid wedge of planar symmetry, with a deflection angle of 16°, design to be composed of Tungsten densalloy SD180. The external wall boundary conditions are obtained from the compressible Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) simulation of the airflow close to the leading-edge. For the thermal analysis of the solid wedge, an in-house parallel algorithm in CUDAC language has been developed using Graphical Process Unity (GPU). The temperature distribution and the heat transfer to the interior of the scramjet are determined, and the results corroborate to confirm that the Tungsten densalloy



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

SD180 is thermally adequate to be applied in the leading-edge scramjet design. The developed in-house algorithm in CUDA-C is capable for minimizing the computational simulation time of the 2D conduction problem in comparison to use only the Central Process Unit (CPU), showing advantages to use GPU and the modified successive over-relaxation (SOR-M) scheme approach to the problem.

Ramon Carneiro (ITA -Bolsista PROCAD-DEFESA)

Analytical and numerical study of the airframe-integrated scramjet vehicle

Resumo:

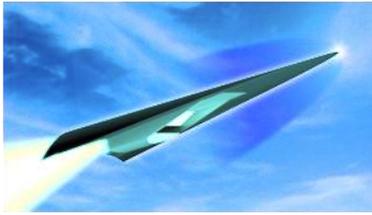
O conhecimento necessário para manter os veículos lançadores atuais, utilizando o sistema convencional de propulsão química a bordo, já é tão avançado que estudos em tecnologia scramjet estão em andamento por agências espaciais e indústrias privadas de vários países. A recente intensificação desses esforços internacionais para desenvolver a tecnologia scramjet sinaliza que essa tecnologia será essencial em um futuro próximo para a indústria aeroespacial e permitirá ao homem construir aviões hipersônicos, chegar a outros continentes em horas e / ou alcançar órbita baixa da Terra. O uso da tecnologia de combustão supersônica, na câmara de combustão, permite que um veículo aeroespacial alcance velocidade hipersônica superior a Mach número 5, na densa atmosfera terrestre, oferecendo vantagens substanciais para melhorar o desempenho do veículo aeroespacial, por meio da redução do combustível de bordo (hidrogênio) e capturar o oxidante da atmosfera terrestre e aumentar substancialmente o peso da carga útil. Este trabalho objetiva projetar um veículo aeroespacial, para colocar nanosatélites em órbita baixa (300 km a 400km) da atmosfera terrestre, compostos por três estágios, onde o scramjet é projetado para ser integrado como o 2º estágio do aeroespacial veículo e queimar hidrogênio, para um voo a partir da velocidade de 2050 m / s (correspondente ao número Mach 6.8) começando a 20 km e terminando a 60 km de altitude. Para obter vantagens operacionais, foram empregados critérios de otimizações baseado na máxima recuperação de pressão total, ajustado a condição de choque “on-lip” e “on-corner” durante o voo atmosférico ascendente, para capturar o fluxo de ar atmosférico máximo e entregar os produtos da combustão à pressão atmosférica em determinadas condições de voo. Aplicando metodologia analítica e numérica (CFD), foi avaliado o comportamento das propriedades termodinâmicas do escoamento e o parâmetro de performance empuxo não instalado foi estimado.

Renan Guilherme Santos Vilela (ITA)

Projeto aerodinâmico, fabricação e teste de uma tubeira híbrida para Túnel de Choque Hipersônico

Resumo:

A evolução dos materiais e técnicas de manufatura aditiva vem popularizando a utilização desse tipo de fabricação, e facilitando a confecção de modelos em escala para serem testados em túneis de vento em vários centros de pesquisa. No caso de túneis de choque hipersônicos uma das regiões mais importantes



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

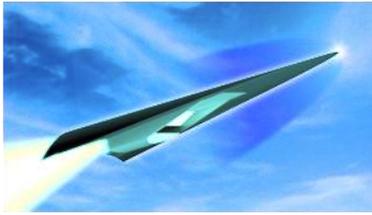
para a geração do escoamento é a tubeira e sua geometria. Tubeiras do tipo cônicas apresentam divergência no escoamento em sua saída, entretanto tem vantagens na fabricação e facilidade de substituição da região da garganta para simular diferentes números de Mach. Uma tubeira híbrida (metal-plástica) foi projetada e fabricada por manufatura aditiva, com o intuito de ser instalada no túnel de choque hipersônico pulsado. Os benefícios práticos e científicos deste trabalho são: rapidez e redução de custo de fabricação, desenvolvendo um procedimento para manufatura de tubeiras prototipadas, que podem utilizar diferentes geometrias que gerem um escoamento mais uniforme. Um modelo rake, instrumentado com transdutores de pressão, foi instalado na saída das tubeiras testadas (metálica e híbrida) para obter a distribuição de pressão de pitot e comparar a uniformidade do escoamento na saída de ambas. A tubeira híbrida foi qualificada e certificada para uso piloto no túnel de choque hipersônico pulsado.

João Vitor Marques Brito de Siqueira (ITA)

Three-dimensional Simulation of the 14X-S Scramjet Inlet Flow Field Considering Different Flight Conditions

Resumo:

This work is part of the research on the 14-X, the first Brazilian hypersonic vehicle prototype, being developed at the Institute for Advanced Studies (IEAv), Brazil. The 14-X will be powered by scramjet (supersonic combustion ramjet) engines. This prototype is supposed to experience different altitudes, Mach numbers, and angles of attack. Hence, this work has the purpose of investigating, through detailed three-dimensional computational fluid dynamics (CFD) analyses, the influence of flight altitudes, Mach numbers, angles of attack, and sidewall effects on the airflow in a 14-X intake geometry under study presently named as 14-X S. This work also presents the analysis of side wall compression – 1.3° on the side wall covering the entire compression ramps region. Moreover, it was studied the choked flow onset in the intake considering the angle of attack variation. This work focuses on the influence these boundary conditions (Mach number, flight altitude and angle of attack) have on the airflow and performance of the scramjet intake (compression ramps and isolator). Besides it, viscous effects due to the sidewall, and the influence these effects have on the airflow, are also investigated. And at last, performance parameters - such as pressure recovery factor, isentropic efficiency and entropy generation – were calculated and considered in the analysis presented in this work. Some results presented in this work are: higher Mach numbers increase the overall total pressure inside the intake and along its walls (triple wedge and isolator) but on the other hand, the intake efficiency decreases as the Mach number increases. Considering the flight altitude variation analysis, it is possible to observe that it has a great influence on the airflow total pressure: the higher the altitude the lower the overall total pressure in the intake and on its walls. Results point out that the altitude does not affect considerably the intake performance, in terms of total pressure recovery and isentropic efficiency, but there is more entropy generation in the intake for lower altitude flights. Regarding the angle of attack analysis, it can be said that higher angles of attack make the overall total pressure of the airflow to increase as well as the pressure and heat flux on the walls. Results show that the scramjet intake considered in this work is more efficient without angle of attack. Besides these straight forward results, it was analyzed some viscous effects like the boundary layer separation and its effects on the airflow in the intake. Other airflow



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

characteristics and details have been analyzed in this work and certainly are going to contribute to understand and design better scramjet intakes

Ronaldo de Lima Cardoso (ITA)

Estudo experimental da pressão estática e total de geometria scramjet em altitude entre 25 e 28 km no túnel T3.

Resumo:

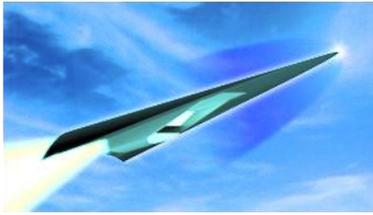
O envolvimento de vários centros de pesquisa ao redor do mundo em estudos sobre a aplicação de sistema de propulsão hipersônica aspirada com combustão supersônica (tecnologia scramjet) deve-se à sua capacidade de tornar o acesso ao espaço mais econômico. Um dos objetivos deste trabalho é documentar o estudo experimental de combustão supersônica realizado no Túnel de Choque Hipersônico T3, no Laboratório Prof. Henry T. Nagamatsu, de um modelo experimental baseado em uma configuração scramjet, com aproximadamente 1.200 milímetros de comprimento e instrumentado com 17 transdutores de pressão, sendo 10 utilizados ao longo da câmara de combustão e 5 em tubos de pitot e 2 ao longo da linha de injeção de combustível. Este modelo experimental foi anteriormente desenvolvido baseado em análise teórica e teve de ser adaptado para efetuar experimentos com injeção de combustível. A adaptação deste modelo foi efetuada com peças manufaturadas em impressora 3D e com componentes fabricados por usinagem. Este estudo experimental foi efetuado para simular voo atmosférico com diferentes pressões de injeção de hidrogênio. Também foram efetuados experimentos sem injeção e com injeção de hélio, para então comparar os resultados obtidos e verificar alterações nas medidas de pressão ao longo da câmara de combustão. O principal objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade da combustão supersônica ser identificada apenas através dos transdutores de pressão. OS experimentos foram efetuados simulando voo atmosférico com altitude variando entre 24 e 28 km de altitude e com velocidade correspondente a número de Mach igual ou próximo de 7. A pressão total foi medida através de tubos de pitot instalados no bordo de ataque e bordo de fuga do modelo para complementar a medição de pressão dentro da câmara de combustão. Ainda, foi utilizada técnica de visualização do OH, característico da combustão entre hidrogênio e oxigênio. Finalmente, após a análise dos resultados, foi possível deduzir que a combustão supersônica ocorreu, porém não se propagou ao longo da câmara de combustão.

Rafael de Oliveira Santos (IEAv)

Correlação entre Ângulo de Ataque e Diferença de Pressão de Parede em Ambiente Hipersônico: Verificação e Validação

Resumo :

O conhecimento do ângulo de ataque (AoA) durante um voo hiperveloz é primordial tanto para controle da eficiência aerodinâmica (razão sustentação/arrasto) de um veículo hipersônico quanto da eficiência de



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

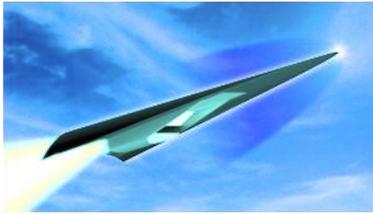
combustão supersônica do seu sistema de propulsão. Propomos uma metodologia de predição do AoA em voo através da diferença de pressão (Δp) registradas nas paredes de um estágio de compressão de um motor scramjet com simetria biplanar. Preliminarmente, foi verificada por análises teórico e numérica, que a correlação AoA- Δp é linear. Ensaios em solo no túnel de vento hipersônico T3 estão em andamento para validação dessa correlação.

Artur Cristiano Paulino Pereira (UFRN)

Influência da razão de equivalência na combustão e no empuxo gerado por scramjet em voo atmosférico a Mach 5,8 e 20 km de altitude

Resumo:

Pesquisas em tecnologia scramjet (ramjet de combustão supersônica) vem demonstrando a viabilidade deste sistema propulsivo em promover voos de acesso ao espaço. A não necessidade de levar o oxidante a bordo e a capacidade de voo hipersônico são características que se destacam. Scramjets também apresentam maior impulso específico quando comparados a motores-foguete, para velocidades correspondentes a até número de Mach 15. No presente trabalho, avaliou-se a capacidade de geração de empuxo de um veículo aeroespacial integrado a scramjet a partir da combustão de hidrogênio e ar atmosférico em velocidade supersônica, para voo a 20 km de altitude e velocidade de 1709,6 m/s, correspondente ao número de Mach 5,8. Utilizou-se método teórico-analítico, considerando-se regime estacionário. A Primeira Lei da Termodinâmica, sem e com reação baseada na entalpia de formação, foi utilizada para determinação das propriedades termodinâmicas do escoamento. Obtiveram-se correlações entre a razão de equivalência e a temperatura da mistura ar - combustível, velocidade da mistura, e temperatura dos gases de exaustão após a combustão. Consideraram-se duas condições de combustão: à pressão constante e com área transversal constante da câmara de combustão. Determinaram-se a temperatura e a velocidade após o processo de expansão dos gases provenientes da combustão para cada uma das condições. Assumiu-se velocidade de mistura igual a 1152 m/s para ambas condições, resultando, no caso à pressão constante, em uma razão de equivalência variando entre 0,648 e 0,774, enquanto a temperatura da mistura variou entre 876 K e 856 K quando prefixou-se a temperatura de combustão variando de 2400 K a 2600 K. Considerando-se essa faixa de razão de equivalência, foram obtidos impulso específico médio de 4049,7 s e empuxo específico positivo variando entre 760,8 N/kg e 879,3 N/kg de ar. No caso com área constante da câmara de combustão, a razão de equivalência foi limitada ao valor máximo de 0,139 devido ao efeito do estrangulamento térmico, obtendo-se empuxo específico e impulso específico máximos iguais a 195,5 N/kg de ar e 4914 s, respectivamente. Comparam-se os dois casos considerando-se o intervalo para razão de equivalência variando entre 0 e 0,139, obtendo-se empuxo específico e impulso específico cerca de 3,3 % maior no caso com área constante, com a desvantagem de a temperatura alcançar valor 19,2% maior do que no caso com combustão à pressão constante. Concluiu-se que o scramjet é capaz de gerar empuxo nas condições de voo estabelecidas para ambos os casos, desde que no caso com área constante seja respeitado o limite máximo para razão de equivalência.



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Pedro Paulo Batista de Araújo (UFRN)

Breve revisão das correlações para tensão de cisalhamento na parede em escoamentos hipersônicos

Resumo:

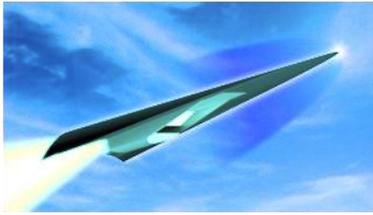
Encontrar o modelo de correlação apropriado para a estimativa da força de arrasto em veículos aeroespaciais, que operam em condições hipersônicas, é o problema abordado no presente trabalho. Aqui, o estudo considera escoamento supersônico/hipersônico sobre uma cunha com ângulo de $6,28^\circ$, na altitude geométrica de 30 km, para analisar a variação da tensão de cisalhamento ao longo da rampa com 500 mm de comprimento. Três casos, correspondentes a escoamentos com números de Mach 3, 7 e 10, foram analisados. Algumas correlações analíticas para estimar o coeficiente de atrito para escoamento compressível proposto por Sommer e Short, Spalding e Chi, van Driest, White e Christoph, Eckert, Meador e Smart, foram aplicadas para avaliar o cisalhamento da parede ao longo da rampa. As propriedades termodinâmicas do escoamento após a onda de choque, estabelecida na borda de ataque da rampa, foram estimadas usando a teoria de onda de choque oblíqua incidente. Os resultados analíticos foram comparados com os dados de cisalhamento de parede obtidos via simulação numérica computacional usando a abordagem RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes), considerando escoamento estacionário, parede isotérmica (com temperatura fixada em 300 K), viscosidade calculada pela lei de Sutherland e o ar atmosférico como gás caloricamente perfeito. O modelo de turbulência utilizado foi o k- ω de transição e o método de discretização espacial usado nas simulações foi o upwind de segunda ordem. Os resultados mostram uma comparação entre as curvas da tensão de cisalhamento na parede obtidas para cada modelo analítico e os dados obtidos na simulação numérica. Os resultados apontam que a maioria dos modelos de correlações possui baixa acurácia para escoamento hipersônico, o que é razoável uma vez que esses modelos foram desenvolvidos a partir de dados experimentais extraídos de escoamentos supersônicos. Apesar dessa limitação, os modelos analíticos que melhor predizem a tensão de cisalhamento na parede, nas condições investigadas, foram os modelos derivados de Eckert e o modelo proposto por Sommer e Short, para escoamentos supersônicos, e o modelo de Meador e Smart para escoamentos hipersônicos.

Paulo César de Oliveira Júnior (UFRN)

Aquecimento aerodinâmico de um veículo hipersônico aspirado em Mach 5,8

Resumo:

Os veículos hipersônicos aeroespaciais que utilizam o sistema de propulsão supersônica a ar aspirado devem suportar as severas condições de voo hipersônico, decorrentes dos carregamentos aerodinâmicos e térmicos. O voo hipersônico introduz cargas térmicas extremas no bordo de ataque do veículo, resultando em elevada temperatura ao redor da sua superfície. A compreensão desse fenômeno é de suma importância para a determinação do material a ser utilizado no revestimento do veículo, garantindo proteção térmica adequada para manter a temperatura de suas paredes internas em níveis aceitáveis, bem como evitar problemas de telemetria. Assim, no presente trabalho o objetivo principal consiste em estimar os níveis de



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

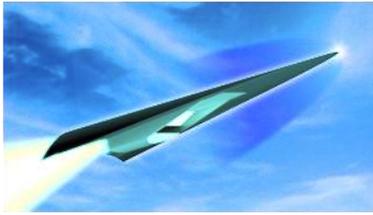
fluxo de calor, considerando gás perfeito e sem camada limite, a que um demonstrador tecnológico scramjet será submetido durante um voo atmosférico a altitude de 23 km e com velocidade de 1723 m/s, correspondente a Mach 5,8. Na seção de combustão foram consideradas as situações com e sem injeção combustível. Os métodos de Fay e Riddell, Lees e Eckert são aplicados no ponto de estagnação, na região rombuda e nas superfícies planas, respectivamente, para determinar o aquecimento aerodinâmico no demonstrador da combustão supersônica. A distribuição das propriedades termodinâmicas do ar atmosférico ao longo da superfície do scramjet foi obtida a partir da aplicação da teoria de onda de choque normal no ponto de estagnação, da teoria de onda de choque oblíqua na seção de compressão externa, da teoria de onda de choque refletida na seção de compressão interna, da teoria de Rayleigh na seção de combustão e da razão de área na seção de expansão. O fluxo de calor no ponto de estagnação é de 2.458.015,43 W/m² e no último ponto da seção do cilindro foi verificado um fluxo de 163.881,09 W/m², demonstrando a eficiência da região rombuda na redução do aquecimento aerodinâmico. O aumento das propriedades termodinâmicas após cada choque incidente na seção de compressão é acompanhado pelo aumento do aquecimento aerodinâmico e ainda na primeira rampa o escoamento torna-se turbulento. Na entrada da câmara de combustão o fluxo de calor se aproxima do valor encontrado para o ponto de estagnação. A partir desse ponto, na abordagem com power-off, reduz ao longo da superfície plana do combustor, no entanto, com power-on, o aquecimento aerodinâmico chega a 3.531.229,90 W/m² após a injeção de hidrogênio, maior valor encontrado para o scramjet. Em ambos, o fluxo reduz na seção de expansão, atingindo níveis inferiores aos da região rombuda.

Gabriel Afonso Pichorin (UFRN)

Análise da seção de captura de ar de um demonstrador scramjet para voo atmosférico em velocidades hipersônicas considerando ar em equilíbrio termodinâmico

Resumo:

A tecnologia SCRAMJET (supersonic combustion ramjet) se mostra promissora no setor aeroespacial devido a maior eficiência em termos de impulso específico quando comparada a motores foguetes. Neste cenário, estudantes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte dos programas de pós-graduação em engenharia mecânica (PPGEM) e aeroespacial (PPGEA) estão, desde 2017, desenvolvendo estudos em modelos SCRAMJET genéricos para demonstrar combustão supersônica em voo. Um parâmetro importante para projeto de um veículo demonstrador SCRAMJET é a temperatura dos gases na entrada da câmara de combustão, esta temperatura deve ser suficientemente alta para garantir a ignição do combustível. Entretanto, estas altas temperaturas após as ondas de choque oblíquas, formadas durante o voo atmosférico, induzem efeitos moleculares no escoamento como a dissociação e excitação vibracional dos gases oxigênio e nitrogênio. Estes efeitos absorvem a energia do escoamento e precisam ser considerados para o design apropriado do veículo SCRAMJET. Dessa maneira foi desenvolvido neste trabalho, através de uma abordagem teórico-analítica com o uso da linguagem computacional python, um projeto preliminar da seção de admissão de ar de um veículo SCRAMJET para voos a 23 km de altitude geométrica e velocidade equivalente a número de Mach 5,8 utilizando gás hidrogênio como combustível. O estudo das propriedades termodinâmicas e velocidades do escoamento na seção de compressão é realizado a partir da teoria de



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

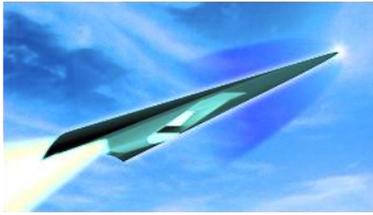
ondas de choque oblíquas incidentes e refletidas com a consideração de ar em equilíbrio químico e termodinâmico, desconsiderando efeitos viscosos. O modelo usado para o ar em equilíbrio segue a metodologia apresentada por Tannehill e Muggge em 1974, onde dados tabelados são utilizados para estimar coeficientes relacionados a equações polinomiais que se aproximam do comportamento esperado do ar atmosférico em altas temperaturas. Por fim as propriedades termodinâmicas e relações de velocidades do escoamento na seção de compressão serão apresentados para discussão da viabilidade do projeto e comparados com o comportamento do escoamento quando o ar, nas mesmas condições atmosféricas, é modelado como gás caloricamente perfeito.

William Henrique de Lima Fiuza (UFRN)

Projeto e análise estrutural de um Tubo de Choque

Resumo:

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) recebeu do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) tubos de aço próprios para construir o seu primeiro tubo de choque. No presente trabalho é apresentada a modelagem de um tubo de choque acadêmico, com posterior análise estrutural da seção de alta pressão (Driver) considerando suas juntas, apoios e esforços durante os testes. O correto dimensionamento dos componentes é fundamental, pois se trata de um equipamento que trabalha com altas pressões e gases diversos, a fim de evitar acidentes e erros nas informações obtidas nos ensaios laboratoriais. Para tanto, os componentes foram modelados no software Autodesk Inventor, que é uma ferramenta CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering), com posterior discretização por geração de malhas e análise estrutural computacional pelo Método dos Elementos Finitos. O tubo de choque é um equipamento criado no final do século 19 para estudos de laboratório envolvendo diferentes áreas da ciência e, em meados da década de 1950, passou a ser utilizado para simular condições de voo apresentadas em fluxos de alta velocidade. Esse equipamento tem sido amplamente adotado para estudos hipersônicos de laboratório desde então, pois fornece dados de fluxo precisos que as espaçonaves encontrarão na atmosfera. Os tubos de choque simples consistem em duas sessões com uma área constante, uma de alta pressão (driver) e outra de baixa pressão (driven), esta última a sessão de teste, axialmente unidas e separadas por um ou dois diafragmas. A ruptura do diafragma produz um gradiente de pressão axial que provoca a propagação de uma onda de choque incidente na direção do tubo acionado, que é refletida posteriormente no final desta sessão. As cargas aplicadas devem ser selecionadas corretamente para um bom nível de confiança na análise computacional. A escolha dos materiais também é abordada neste trabalho, com base em fatores mecânicos e na viabilidade de localização e aquisição desses materiais. Espera-se que o projeto seja confiável, academicamente útil e economicamente otimizado para que no futuro possa ser usado em nível universitário, beneficiando e incentivando estudantes das ciências aeroespaciais e mecânicas.



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Raysa Cristiano Paulino Pereira (UFRN)

Brasagem Indireta de C/C para aplicações em veículos hipersônicos

Resumo:

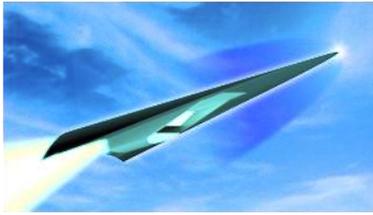
O material compósito Cf/C (matriz de carbono com reforço de fibras de carbono) tem importante aplicação em componentes de proteção térmica passiva para veículos hipersônicos. O estudo de sua junção com os demais componentes de veículos hipersônicos deve ser realizado. Dentre as diversas técnicas de junção entre componentes dissimilares, a técnica de brasagem resulta em vantajosas propriedades mecânicas quando projetado de maneira adequada. Essa técnica de junção é promovida com uso de metal de adição que interage quimicamente com o substrato, promovendo sua molhabilidade sob elevadas temperaturas para obtenção da junta. Porém, o Cf/C apresenta baixa interação com metais de adição convencionais, devido à sua inércia química, logo não havendo adequada molhabilidade de sua superfície durante a brasagem. Para isso, o uso de elementos ativos na região da junta é necessário. Exemplos de elementos ativos são Ti e V, por serem fortes formadores de carbetos, ou seja, interagem ativamente com o carbono do substrato. Esses elementos estão presentes em importantes ligas metálicas de aplicação aeroespacial, podendo interagir adequadamente com demais substratos metálicos. Para o atual projeto, tem-se o objetivo de promover adequada molhabilidade do substrato de Cf/C com metal de adição para aplicações em elevadas temperaturas. A molhabilidade do substrato será promovida através da metalização de sua superfície com os elementos Ti e V. A qualidade da junta, como suas propriedades mecânicas, dependem do controle de fases e compostos formados na região da junta. Esse controle é realizado através da variação do tempo e temperatura de brasagem, além dos parâmetros de composição pré-determinados das ligas metálicas. Portanto, uma análise estatística de planejamento experimental é necessária para otimização do processo, para produção de melhores resultados. Assim, além da análise da molhabilidade da superfície, a presença de fases e compostos fragilizantes também será analisada. Atualmente, o projeto encontra-se em fase preliminar experimental. Nessa fase, o estudo realizado está sendo feito com amostras de grafite. A molhabilidade do substrato está sendo estudada segundo a variação de parâmetros morfológicos das amostras, nesse caso, a porosidade e a rugosidade. Os parâmetros de metalização com Ti e V estão sendo avaliados e estudados para serem melhor aplicados no substrato de Cf/C.

Felipe Pinheiro Maia (UFRN)

Análise numérica da performance aerodinâmica de um motor-foguete S-30 acoplado a um demonstrador scramjet

Resumo:

No contexto dos estudos sobre a tecnologia de propulsão hipersônica aspirada, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do acoplamento de um demonstrador scramjet no motor-foguete brasileiro S-30 a partir de uma investigação numérica do escoamento em torno da sua fuselagem. Aspectos locais do escoamento, bem como a comparação dos parâmetros da performance aerodinâmica, como pressão e arrasto de fricção, foram considerados para casos com e sem o demonstrador scramjet acoplado. O motor-foguete com a



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

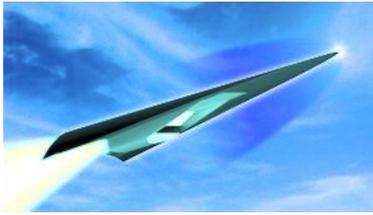
geometria scramjet acoplada foi selecionado para condições operacionais de voo correspondentes a um número Mach de 5,79 e uma altitude de 20 km. Um conjunto de simulações RANS 2D foi realizado, utilizando o Ansys FLUENT, para investigar o escoamento sobre ambas as configurações. Dados experimentais obtidos na literatura para o voo do S-30 foram usados para impor as condições de contorno necessárias. A fim de obter a curva de arrasto para o caso do scramjet acoplado ao motor S-30, simulações numéricas foram realizadas para vários pontos ao longo da trajetória do motor-foguete. As simulações foram capazes de capturar as ondas de choque oblíquas planar e cônicas teoricamente esperadas, assim como as ondas de expansão que normalmente ocorrem para um escoamento hipersônico em tais geometrias. Entre outros fenômenos, observou-se o surgimento de zonas de recirculação e instabilidades do escoamento devido às interações da camada limite com as ondas de choque. Finalmente, como resultado do acoplamento do demonstrador scramjet ao motor-foguete S-30, os resultados mostraram um aumento no arrasto total de cerca de 45,25% para o ponto de projeto. Com base nestas simulações, a curva de arrasto total foi determinada para ambas as geometrias analisadas. Foi observado uma diminuição do coeficiente de arrasto médio ao longo da trajetória. Usando uma análise simplificada de dinâmica de voo, a comparação entre as trajetórias calculadas mostrou desvios na condição de teste de cerca de 2% para a altitude e de 0,15% para a velocidade do escoamento.

Luiz Henrique Silva Marques Soares (ITA)

Métodos para definição de geometrias de compressão de ar de veículos scramjet

Resumo:

A tecnologia de propulsão hipersônica aspirada apresenta um recente crescimento acelerado, demonstrado pelo constante desenvolvimento de diversos novos projetos, protótipos e sistemas funcionais em diferentes países. O fomento à essa tecnologia, no geral, tem sido motivado por aspectos militares e de soberania nacional, porém, questões como veículos de transporte, acessibilidade ao espaço e sistemas de perfuração possuem parcela considerável nesse incentivo tecnológico. Nas etapas iniciais do projeto de sistemas aeronáuticos e espaciais é comum o levantamento de requisitos e necessidades do projeto e, posteriormente, a definição de configurações preliminares que podem sanar dúvidas, mostrar a existência de problemas e serem base para futuros detalhamentos dos sistemas. Usualmente, na seção de compressão diferentes geometrias são desenvolvidas na tentativa de prover alto desempenho sem violar restrições de projeto. A escolha por determinada geometria é resultado de análises compensativas entre desempenho, peso, capacidade de produção e integração com outro motor ou outras partes do veículo. Dessa maneira, diferentes geometrias podem ser utilizadas para atender requisitos de projeto como a Oswatitsch, Busemann, a Planar entre outras. Diante disso, metodologias devem ser desenvolvidas e/ou aplicadas para gerar as geometrias de modo adequado com o projeto em que serão aplicadas. Assim, é necessário conhecer as metodologias existentes, avaliar suas relações de custo/benefício, tanto financeiro quanto computacional e diferenciar onde cada uma pode ser aplicada. No geral, ressalta-se as metodologias de aplicação das teorias de ondas de choque oblíquas planas, ondas de choque oblíquas cônicas, solução de Taylor-Maccoll para ondas de choque oblíquas cônicas, método das características 2D e 3D, teoria da máxima recuperação da pressão total, dentre outras, que podem usadas separadamente ou em conjunto com o objetivo de



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

definir um método para gerar geometrias de compressão para veículos hipersônicos aspirados que utilizam tecnologia scramjet.

João de Barro Monteiro Cavalcanti (IEAv)

Análise de comportamento aeroelástico de veículo hipersônico

Resumo

O trabalho busca desenvolver códigos computacionais para estabelecer um framework na etapa de projeto conceitual no desenvolvimento de veículos hipersônicos. Para tal, considera-se o veículo voando na altitude de 30 km e com número de Mach igual a 7, com sua geometria obtida através de um problema de otimização e comportamento propulsivo pré-estabelecido. Em se tratando da modelagem estrutural, adota-se o método de Rayleigh-Ritz para o cálculo dos autovalores e autovetores dos modos de vibração normal, dispensando o uso de códigos de elementos finitos e os efeitos térmicos na estrutura. Seguindo a mesma tendência de busca por baixo custo computacional, os cálculos do comportamento aerodinâmico e das forças e momentos são realizados pelos métodos de Newton e de Newton-modificado. Integrando as duas soluções, são calculadas as derivadas de estabilidade e controle para o modelo de corpo rígido e flexível, observando o modelo de Mecânica do Voo proposto por Waszak e Schimdt (1988). Portanto, através de um procedimento simplificado, o qual permite iterações com baixo custo computacional, tem-se uma metodologia para abordagem inicial na etapa de projeto conceitual para veículos hipersônicos.

Robert Rafael Araujo Oliveira (ITA)

Dinâmica de voo de um veículo suborbital cativo integrado a um veículo lançador para experimento de hipervelocidade

Resumo

O presente trabalho trata de um estudo na área de dinâmica do voo de veículos flexíveis. Em sincronia com os objetivos traçados para o projeto Desenvolvimentos Nacionais em Propulsão Hipersônica Aspirada com foco no Acesso ao Espaço e Defesa, o principal objetivo deste trabalho é de conhecer a trajetória de voo do conjunto de veículos, composto pelo veículo lançador e demonstrador hipersônico, e de estabelecer uma relação com o desempenho e segurança, utilizando de simulações com diferentes foguetes. Para este fim, pretende-se realizar duas etapas principais: a primeira será a parte cativa que irá conter o veículo experimental em conjunto com o veículo lançador; e na segunda será estudada a dinâmica de voo dos corpos separadamente, incluindo os efeitos da flexibilidade nas derivadas de estabilidade e coeficientes aerodinâmicos dos veículos. O objetivo é a predição dos pontos de impactos após a reentrada dos corpos em estudo, com o intuito de prever a queda deles e o seu rastreamento visando coletar dados para o experimento. São resultados das simulações também o conhecimento de parâmetros como a magnitude da



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

deformação estrutural, altitude, pressão dinâmica e número de Mach em função do tempo, dentre outras características gerais de desempenho.

Guilherme Martins Batista (ITA)

Otimização da Trajetória de Reentrada de Veículo Hipersônico

Resumo

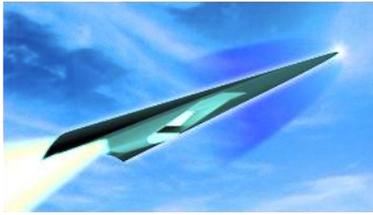
A simulação computacional da dinâmica de voo tornou-se importante para o desenvolvimento de qualquer veículo espacial, devido a sua economia em relação a ensaios em voo. A pesquisa a ser realizada apresentará uma ferramenta de simulação para calcular a trajetória de reentrada atmosférica de um veículo hipersônico, de maneira a ser possível realizar estudos posteriores envolvendo carga térmica, além de permitir uma otimização da trajetória de reentrada. Os dados de voo simulados serão validados com dados disponíveis na literatura e com ferramentas de simulação já empregadas pela comunidade aeroespacial.

Homero Fonseca Santiago Maciel (ITA-Bolsista PROCAD-DEFESA)

Síntese e qualificação de recobrimentos termoestruturais cerâmicos avançados utilizados em estruturas e dispositivos de proteção térmica de veículos hipersônicos

Resumo:

Neste trabalho objetiva-se o desenvolvimento de processos de síntese recobrimentos nanoestruturados de barreira ambiental (Environmental Barrier Coating, EBC), utilizando (inicialmente) precursores de materiais cerâmicos de ultra alta temperatura a base de zircônia e hafnio (ZrO_2 , HfB_2 e ZrB_2) sobre substratos metálicos (inconel e ligas de alumínio-titânio). Os recobrimentos nanoestruturados destes materiais sobre substratos metálicos serão depositados por meio do processo de spray a plasma de alta velocidade por precursores líquidos e em pó (High Velocity Plasma Spray, HVPS), desenvolvido no Laboratório de Plasmas e Processos (LPP) do ITA e em processo de patente entre o ITA e UNIFESP. Por fim, os materiais sintetizados serão expostos a ensaios de ablação em túnel de plasma hipersônico que simule os fluxos térmicos exigidos para obtenção de suas propriedades ablativas/rerradiativas (perda de massa específica, calor de ablação, propriedades ópticas), térmicas (emissividade, difusividade térmica, condutividade térmica) e microestruturais (análise de degradação da superfície exposta, espessura dos recobrimentos e gradiente composicional) visando sua qualificação ao emprego em sistemas de proteção térmica de veículos hipersônicos.



I Workshop PROCAD-DEFESA

Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Roberson José da Silva (ITA)

Alumina coatings on stainless steel and high-density graphite substrates obtained by plasma spray process

Resumo:

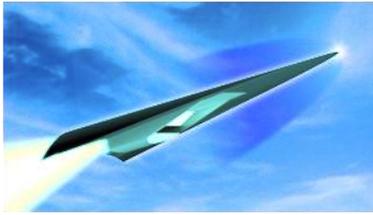
The objective of this work is to study the coating on stainless steel and graphite substrates by using a thermal spray plasma process with ceramic powder. This work presents the experimental studies performed by using a tornado-type thermal plasma torch, working at a power of 30 kW, at 105 A. In this condition, the hot gas plasma generated at 5200 °C melt the alumina powder of 70-200 mesh, which is sprayed on the substrate. The spraying of the powder in the plasma jet was performed by a vibrating powder feeder with powder flow rate at 5 10 g/min and flow rate of carrying gas at 5 SLPM. The powder melted in the thermal spray was deposited on substrates of AISI 304 stainless steel and on graphite. The application of the coating on the substrates was performed in two ways, i.e., fixed and dynamic. The formation of a uniform alumina coating on both stainless steel and graphite was observe by SEM and EDS, showing that this technique can be used to obtain refractory coatings on these materials.

Cristian Cley Pateniani Rita (ITA)

Morphological study and chemical composition ceramic materials tested under hypersonic flow plasma conditions

Resumo:

In this study, a hypersonic plasma setup was constructed based on a vortex plasma heater with prenozzle gas-dynamic insertion. The plasma setup produces a hypersonic thermal flow, which is capable to test the thermal oxidation of ultrahigh temperature ceramics (UHTC) composites, such as zirconium diboride (ZrB₂). Thereby, ZrB₂ samples were prepared with a variation of 10, 20, and 30% of silicon carbide (SiC) in volume, in order to investigate the oxidation mechanisms and microstructural properties of the samples tested under hypersonic thermal flow. The results of the oxidation tests showed that the samples with 10 and 30% of SiC undergo to the active oxidation and forms an unstable and fragile ZrO₂ oxide. For the oxidation tests of the sample with 20% of SiC, the gain of mass was observed due to the formation of ZrSiO₄ passivation layer, which is a stable oxide and promotes mechanical resistance, and low degradation rate. These results can be associated with the variation of SiC, which demonstrates an ideal proportion of 20% of SiC in ZrB₂, which influences the oxidation mechanisms and produce a protective layer.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Amanda Chenu Romano (ITA)

Estudo da iteração escoamento aerodinâmico com jato propulsivo através de CFD

Resumo:

Este trabalho teve objetivo de reproduzir os dados de pressão na base do veículo nomeado Modelo C, lançado em 1950 na Langley Polytless Aircraft Research Station pelo Comitê Nacional para Aconselhamento sobre Aeronáutica (NACA - National Advisory Committee for Aeronautics). Os parâmetros do escoamento e do jato de exaustão foram analisados através de simulações de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD - Computational Fluid Dynamics), utilizando o software Ansys Fluent. Uma análise da pressão e da força de arrasto sobre o veículo evidenciou os efeitos do jato de exaustão sobre a base. Os resultados também foram comparados com os obtidos através dos programas de cálculo por métodos semi-empíricos AeroLAB e Missile DATCOM, permitindo verificar que as simulações CFD possuem menores erros associados.

Mariana Miranda Silva (USP-SC)

Projeto da geometria do dorso de um veículo hipersônico waverider

Resumo:

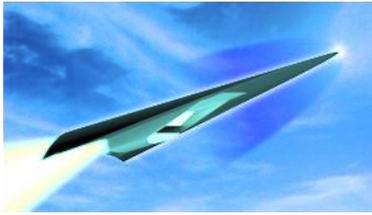
Os veículos hipersônicos do tipo waverider usam a alta pressão gerada por ondas de choque no ventre da aeronave para produzir sustentação. É desejável que a pressão no dorso seja a menor possível para maximizar a sustentação resultante. Essa condição é obtida reduzindo a intensidade de ondas de choque no dorso da aeronave. Esse estudo buscará uma geometria apropriada para o dorso de um veículo hipersônico, baseado no 14-X B, voando com Mach 5,8 a 20 km de altitude que leve ao efeito desejado para o tipo waverider.

Rafael Oliveira Matos e Campos (USP-SC)

Estudo de estratégias para injeção do hidrogênio visando controle térmico e aerodinâmico

Resumo:

É desejado buscar estratégias adequadas para injeção de hidrogênio na câmara de combustão de um veículo hipersônico com motor scramjet. O veículo é baseado no 14-X B com Mach 5,8 a 20 km de altitude. Além do objetivo óbvio de gerar empuxo suficiente para vencer o arrasto, também é necessário analisar a distribuição de temperatura e velocidades. A temperatura precisa ser controlada de forma a não causar problemas para a estrutura, principalmente da câmara de combustão. Isso pode ser feito, por exemplo, ajustando o ângulo e a velocidade de injeção do hidrogênio. Ao mesmo tempo, existe a preocupação de que as ondas de choque produzidas pela injeção não desacelerem o escoamento na câmara para uma condição subsônica.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

SESSÕES EM

Felipe Jean das Costa (BRENG)

Projeto preliminar de uma balança para medição de forças aerodinâmicas e propulsivas de motores e veículos aeroespaciais hipersônicos

Resumo

Apresentação dos resultados do de Análises Numéricas e Projeto de Manufatura da Estrutura para Balança Hipersônica do Túnel de Choque Hipersônico T4, considerando os requisitos técnicos, relacionados ao desenvolvimento de uma Balança para medição de Forças Aerodinâmicas e Propulsivas em motores “scramjet” e de veículos aeroespaciais, visando à predição do comportamento da estrutura geral do sistema completo, bem como prever a deformação do material selecionado para a haste de sustentação do modelo de ensaio, de tal forma que seja possível, por meio de um “strain sensor”, determinar experimentalmente as forças axiais atuantes no corpo de prova.

SESSÕES DIC

Rafael Oliveira Matos e Campos (USP-SC)

TOPUS Social - Divulgação da ciência espacial para o ensino fundamental e médio

Resumo:

O Grupo TOPUS de Pesquisas Aeroespaciais foi criado por alunos do curso de Engenharia Aeronáutica da USP. Tem várias atividades de pesquisa ligadas ao setor espacial e também promove a divulgação de conhecimentos nessa área. O TOPUS Social promove e participa de eventos que estimulam o saber e fazer científico e desmistificam o meio universitário para crianças e adolescentes de escolas públicas e para a comunidade em geral. Será apresentado um relato das atividades desenvolvidas por essa iniciativa.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

Suellen Araújo (Equipe Decolar - S. J. Campos)

Alunos talentosos da rede pública de ensino se interagindo dos conceitos e desafios de hipersônica

Resumo:

O Programa Decolar CEDET São José dos Campos objetiva identificar, acompanhar e estimular o desenvolvimento do potencial dos alunos considerados dotados e talentosos da rede municipal de ensino. Este trabalho faz parte do atendimento educacional especializado, que realiza as intervenções educativas para os alunos que necessitam de suporte pedagógico diferenciado. Além da sua equipe especializada, o Decolar conta com o auxílio de um grupo de instrutores voluntários, formado por autoridades, estudiosos e profissionais admiráveis das mais diversas ocupações e áreas do saber, ou campos de atividades, para atuar junto aos alunos. Essa breve apresentação será iniciada por uma representante do Decolar CEDET, que falará sobre o programa, seguida da explanação de alunos, representando a turma de física do Decolar, a qual está começando a estudar conceitos de hipersônica e os desafios de materiais avançados para essa área de pesquisa.

Felipe Jean da Costa (BRENG)

Engajamento de crianças e adolescentes da rede pública de ensino em projetos de divulgação da engenharia aeroespacial

Resumo

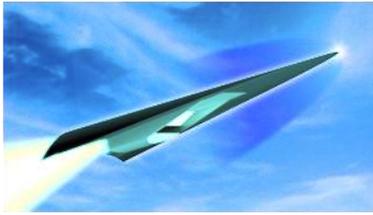
Apresentação das iniciativas de divulgação da Engenharia Aeroespacial junto a alunos da rede pública de ensino de São José dos Campos – SP, envolvendo o Experimento Educacional denominado SANJ-A (Sistema de Aquisição de dados de Navegação Joseense – versão A), que consiste em uma IMU – Unidade de Medidas Inerciais, é parte de um projeto dos alunos do Programa Decolar da Secretaria de Educação Municipal; e envolvendo também a Eletiva AstroNelson, da Escola Estadual Nelson do Nascimento Monteiro, envolvendo robótica espacial, preparação dos alunos através de nivelamento nas áreas de Astronomia e Astronáutica, além de palestras providas pelos professores e parceiros da eletiva. Tudo isto visando o engajamento dos alunos na ONC - Olimpíada Nacional de Ciências, OBA - Olimpíada Brasileira de Astronomia, Astronáutica e MOBFOG - Mostra Brasileira de Foguetes, além de congressos e seminários.

Aline Bessa Veloso

Programa AEB Escola

Resumo:

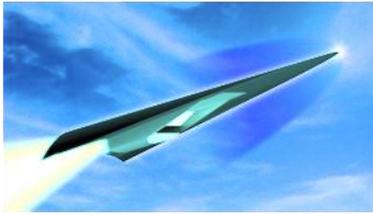
O Programa AEB Escola vem contribuindo desde 2004 para o desenvolvimento de competências para o setor espacial e a popularização da ciência. Ao longo de quase duas décadas, o programa vem desenvolvendo e a



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Resumos

apoiando a produção de materiais didáticos, realizando oficinas, atividades “mão na massa”, palestras, cursos de capacitação, olimpíadas do conhecimento e demais eventos formativos em formato presencial e virtual para estudantes, professores e demais interessados na temática do Espacial. O programa visa promover maior integração entre as comunidades escolar e universitária e as atividades da área espacial em uma estratégia voltada para a difusão da importância da tecnologia espacial e seus impactos cotidianos na vida dos cidadãos. Em sua versão atual, o Programa AEB Escola vem reunindo as diversas ações educacionais da Agência Espacial Brasileira. Entre essas ações podemos destacar o Programa GLOBE, o Centro Vocacional Tecnológico Espacial (CVT-E), o apoio a foguetes e a satélites universitários, o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AEB Escola Virtual) e as diversas parcerias em ações que estimulam a escolha de carreiras voltadas para as áreas de Ciências, Matemática, Engenharias e Tecnologias, em especial as para o setor espacial.



I Workshop PROCAD-DEFESA Propulsão Hipersônica Aspirada

Comitê Organizador

Angelo Passaro - Instituto de Estudos Avançados - IEAv

Gilberto Petraconi Filho - Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Carlos d'Andrade Souto - Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE

Eduardo Morgado Belo - Universidade de São Paulo (São Carlos) - USP-SC

Rubens Maribondo do Nascimento - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Apoio:

