

Avaliação do ambiente de cargas mecânicas em veículos de sondagem

C. E. de Souza, Dr. Eng.

Palestra proferida em 20 de Julho de 2021 aos alunos do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSC/Joinville, e integrantes da equipe Kosmos de foguetemodelismo



Federal University of Santa Maria, Brazil
Mechanical Engineering Department
Mechanical and Aerospace Engineering
20 de Julho de 2021



Sumário

Introdução

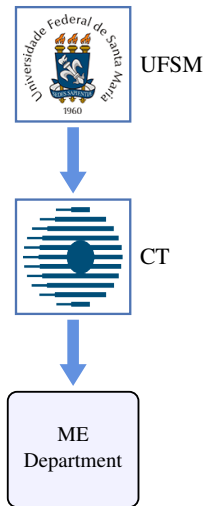
- 1 Veículos
- 2 Normas
- 3 Cargas Mecânicas
 - Definições
 - Eventos a avaliar

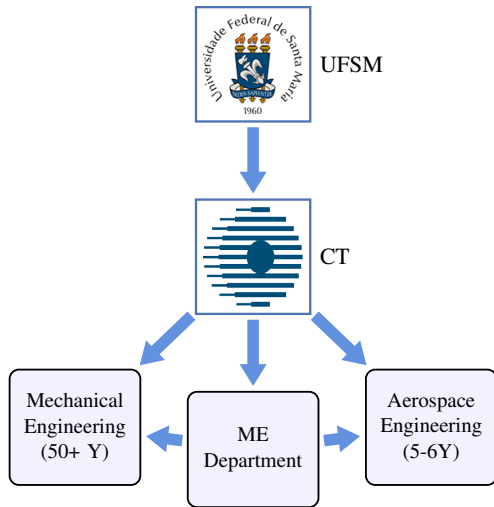
Conclusão

- 8 Conclusão
- 9 Bibliografia

Cálculo

- 4 Sistemas
- 5 Cargas em voo - modelo
- 6 Exemplo de dados
- 7 Códigos
 - Código em c++ e dados
 - Organização do código
 - Interface gráfica



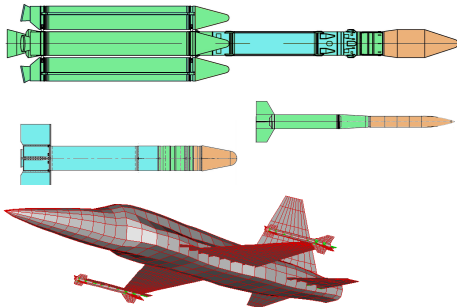


Experiência profissional no setor - IAE/CTA

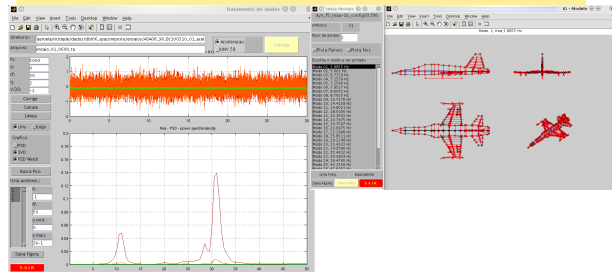
Experiência:

Pesquisador - 2004 a 2012.

DCTA - Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial



- Espaço - Projeto VLS, VS-40, SARA
- Cargas em voo
- Engenharia de sistemas
- Aeroelasticidade de caças - F-5, A-1
- Ensaios de vibração
- Ensaios em túnel de vento
- Aeroelasticidade não-linear -



Part I

Determinação do Ambiente de Cargas Mecânicas

1. Veículos

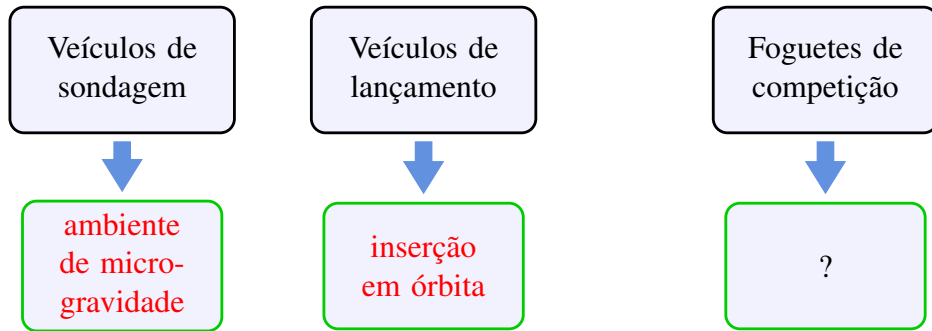
Comercial/Pesquisa x competição



Veículos de
sondagem

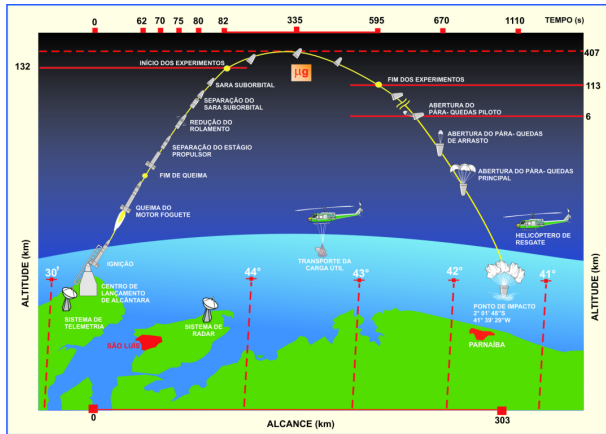
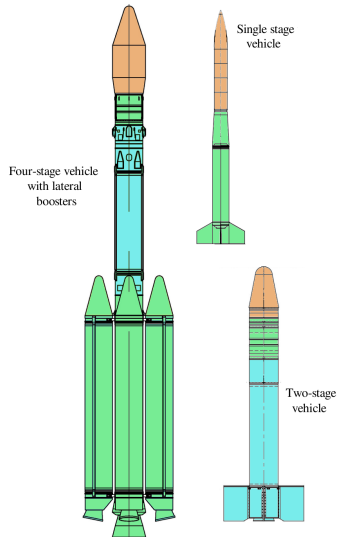
Veículos de
lançamento

Foguetes de
competição



1. Veículos

Diferentes veículos



Requisitos e certificação

- ▶ Lista de requisitos operacionais → segurança
- ▶ Requisitos do “cliente” ou “mercado” levam à definição de classe do veículo
- ▶ Certificação - processo longo e caro
- ▶ **Revisões de projeto:** PRR, PDR, CDR
- ▶ Normas **guiam** o projeto de veículos militares ou comerciais. Requisitos de segurança!

Requisitos e certificação

- ▶ Lista de requisitos operacionais → segurança
- ▶ Requisitos do “cliente” ou “mercado” levam à definição de classe do veículo
- ▶ Certificação - processo longo e caro
- ▶ **Revisões de projeto:** PRR, PDR, CDR
- ▶ Normas **guiam** o projeto de veículos militares ou comerciais. Requisitos de segurança!

Requisitos e certificação

- ▶ Lista de requisitos operacionais → segurança
- ▶ Requisitos do “cliente” ou “mercado” levam à definição de classe do veículo
- ▶ Certificação - processo longo e caro
- ▶ **Revisões de projeto:** PRR, PDR, CDR
- ▶ Normas **guiam** o projeto de veículos militares ou comerciais. Requisitos de segurança!

Requisitos e certificação

- ▶ Lista de requisitos operacionais → segurança
- ▶ Requisitos do “cliente” ou “mercado” levam à definição de classe do veículo
- ▶ Certificação - processo longo e caro
- ▶ **Revisões de projeto:** PRR, PDR, CDR
- ▶ Normas **guiam** o projeto de veículos militares ou comerciais.
Requisitos de segurança!

Requisitos e certificação

- ▶ Lista de requisitos operacionais → segurança
- ▶ Requisitos do “cliente” ou “mercado” levam à definição de classe do veículo
- ▶ Certificação - processo longo e caro
- ▶ **Revisões de projeto:** PRR, PDR, CDR
- ▶ Normas **guiam** o projeto de veículos militares ou comerciais. Requisitos de segurança!

Algumas normas

- ▶ ABNT NBR ISO 14300-1:2015 Sistemas espaciais - Gestão do programa Parte 1: Estruturação de um projeto *ISO 14300-1:2011 - Space systems - Programme management Part 1: Structuring of a project*
- ▶ ABNT NBR ISO 11893:2017 Sistemas espaciais Gestão do programa Organização do projeto *ISO 11893:2011 Space systems Programme management Project organization*
- ▶ ABNT NBR ISO 14622:2008 Sistemas espaciais - Projeto estrutural - Cargas e ambiente induzido *ISO 14622:2000*
- ▶ ABNT NBR ISO 14953:2019 - Sistemas espaciais Projeto estrutural Determinação de níveis de carga para qualificação estática de veículos lançadores *ISO 14953:2000 Space systems Structural design Determination of loading levels for static qualification testing of launch vehicles*

- ▶ ABNT NBR ISO 14300-1:2015 Sistemas espaciais - Gestão do programa Parte 1: Estruturação de um projeto *ISO 14300-1:2011 - Space systems - Programme management Part 1: Structuring of a project*
- ▶ ABNT NBR ISO 11893:2017 Sistemas espaciais Gestão do programa Organização do projeto *ISO 11893:2011 Space systems Programme management Project organization*
- ▶ ABNT NBR ISO 14622:2008 Sistemas espaciais - Projeto estrutural - Cargas e ambiente induzido *ISO 14622:2000*
- ▶ ABNT NBR ISO 14953:2019 - Sistemas espaciais Projeto estrutural Determinação de níveis de carga para qualificação estática de veículos lançadores *ISO 14953:2000 Space systems Structural design Determination of loading levels for static qualification testing of launch vehicles*

- ▶ ABNT NBR ISO 14300-1:2015 Sistemas espaciais - Gestão do programa Parte 1: Estruturação de um projeto *ISO 14300-1:2011 - Space systems - Programme management Part 1: Structuring of a project*
- ▶ ABNT NBR ISO 11893:2017 Sistemas espaciais Gestão do programa Organização do projeto *ISO 11893:2011 Space systems Programme management Project organization*
- ▶ ABNT NBR ISO 14622:2008 Sistemas espaciais - Projeto estrutural - Cargas e ambiente induzido *ISO 14622:2000*
- ▶ ABNT NBR ISO 14953:2019 - Sistemas espaciais Projeto estrutural Determinação de níveis de carga para qualificação estática de veículos lançadores *ISO 14953:2000 Space systems Structural design Determination of loading levels for static qualification testing of launch vehicles*

- ▶ ABNT NBR ISO 14300-1:2015 Sistemas espaciais - Gestão do programa Parte 1: Estruturação de um projeto *ISO 14300-1:2011 - Space systems - Programme management Part 1: Structuring of a project*
- ▶ ABNT NBR ISO 11893:2017 Sistemas espaciais Gestão do programa Organização do projeto *ISO 11893:2011 Space systems Programme management Project organization*
- ▶ ABNT NBR ISO 14622:2008 Sistemas espaciais - Projeto estrutural - Cargas e ambiente induzido *ISO 14622:2000*
- ▶ ABNT NBR ISO 14953:2019 - Sistemas espaciais Projeto estrutural Determinação de níveis de carga para qualificação estática de veículos lançadores *ISO 14953:2000 Space systems Structural design Determination of loading levels for static qualification testing of launch vehicles*

- ▶ MIL-STD-1540C Military Standard : Test Requirements for Launch, Upper-Stage and Space Vehicles
- ▶ European Cooperation for Space Standardization
ECSS-E-ST-32C Rev.1 Structural general requirements (15 November 2008)

- ▶ MIL-STD-1540C Military Standard : Test Requirements for Launch, Upper-Stage and Space Vehicles
- ▶ European Cooperation for Space Standardization
ECSS-E-ST-32C Rev.1 Structural general requirements (15 November 2008)

- ▶ ATENDER A NORMAS NÃO LEVA A UM VEÍCULO EFICIENTE, MAS A UM VEÍCULO SEGURO
- ▶ BOM PROJETO LEVA A EFICIÊNCIA
- ▶ criatividade e fundamentação teórica

- ▶ ATENDER A NORMAS NÃO LEVA A UM VEÍCULO EFICIENTE, MAS A UM VEÍCULO SEGURO
- ▶ BOM PROJETO LEVA A EFICIÊNCIA
- ▶ criatividade e fundamentação teórica

Exemplo: certa empresa prometeu uma altitude máxima e determinado tempo de microgravidade, mas não atingiu a meta em operação.

Mesmo assim, o veículo poderá ser certificado, mas provavelmente não terá clientes...

Cargas estruturais?

Mas, afinal, o que são cargas?

- ▶ Carga: Resposta da estrutura a excitações encontradas durante a sua vida útil.
response of a space flight vehicle to excitations encountered during its service life
ISO 14622:2000(en) - Space systems Structural design Loads and induced environment
- ▶ NASA SP-8099- *Combining Ascent Loads, Space Vehicle Design Criteria (Structures)* - Ref. Houbolt, 1972: “the dependent load that is produced in a particular time at a designated point of structure due to the externally applied loads and associated reacting inertial forces”
- ▶ Fleming, E. R., *Spacecraft and launch vehicle loads*, Ref. Fleming, 1994: “structural responses which may be local accelerations, simple section loads (shear, torques, bending moments, etc.) or may be member forces (cap loads, skin shears, member bending moments, etc.) or may even be internal member stresses”

Cargas estruturais?

Mas, afinal, o que são cargas?

- ▶ Carga: Resposta da estrutura a excitações encontradas durante a sua vida útil.
response of a space flight vehicle to excitations encountered during its service life
ISO 14622:2000(en) - Space systems Structural design Loads and induced environment
- ▶ NASA SP-8099- *Combining Ascent Loads, Space Vehicle Design Criteria (Structures)* - Ref. Houbolt, 1972: “the dependent load that is produced in a particular time at a designated point of structure due to the externally applied loads and associated reacting inertial forces”
- ▶ Fleming, E. R., *Spacecraft and launch vehicle loads*, Ref. Fleming, 1994:
“structural responses which may be local accelerations, simple section loads (shear, torques, bending moments, etc.) or may be member forces (cap loads, skin shears, member bending moments, etc.) or may even be internal member stresses”

Cargas estruturais?

Mas, afinal, o que são cargas?

- ▶ Carga: Resposta da estrutura a excitações encontradas durante a sua vida útil.
response of a space flight vehicle to excitations encountered during its service life
ISO 14622:2000(en) - Space systems Structural design Loads and induced environment
- ▶ NASA SP-8099- *Combining Ascent Loads, Space Vehicle Design Criteria (Structures)* - Ref. Houbolt, 1972: “the dependent load that is produced in a particular time at a designated point of structure due to the externally applied loads and associated reacting inertial forces”
- ▶ Fleming, E. R., *Spacecraft and launch vehicle loads*, Ref. Fleming, 1994: “structural responses which may be local accelerations, simple section loads (shear, torques, bending moments, etc.) or may be member forces (cap loads, skin shears, member bending moments, etc.) or may even be internal member stresses”

Definições

Algumas definições necessárias estabelecidas em normas
(normas ISO 14622:2000, ECSS-E-30 Part2) :

Carga Quase estática;

Carga Transiente;

Carga de choque;

Carga oscilatória;

Cargas Agentes;

Carga Limite;

Carga Final;

Carga Térmica;

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ **pressões diferenciais;**
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ **gradientes de temperatura;**
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ **vibrações, choques, acústica;**
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

Tipos (ISO 14622:2000) ou origem da carga:

- ▶ momentos e forças aerodinâmicas;
- ▶ momentos e forças devidas ao fator de carga (gravidade e acelerações - inércia);
- ▶ pressões diferenciais;
- ▶ ação de propulsão e subsistemas de controle;
- ▶ gradientes de temperatura;
- ▶ vibrações, choques, acústica;
- ▶ ação dinâmica de fluidos internos;
- ▶ etc.

As cargas mecânicas dependem de vários fatores:

- Forças **externas** aplicadas.
- Reações **internas** inerciais.
- Determinado instante de tempo.
- Determinada posição na estrutura.

(Fleming, 1994)

Pontos críticos

Indetificação de eventos críticos para cargas:

- ▶ situações que podem levar a cargas e tensões críticas
- ▶ avaliação de toda o ciclo de vida
- ▶ identificação dos instantes de tempo durante o voo com situações limites (pontos críticos)

Pré-voo

Voo propulsado

Eventos

Pontos críticos - pré-voo.

	Descrição	Tipo
1	Armazenamento de componentes	Pré-voo
2	Transporte de componentes	Pré-voo
3	Manuseio de componentes	Pré-voo
4	Integração	Pré-voo
5	VL na mesa de lançamento	Pré-voo
6	Ignição em solo	Pré-voo



<https://www.gov.br/aeb/pt-br/assuntos/noticias/>

[iae-avalia-os-preparativos-para-lancamento-do-vs-40-com-a](#)

<https://www.nasa.gov/image-feature/>

[the-gomx-rocket-is-rolled-out-by-train-to-the-launcher](#)

Cargas de transporte e manuseio

NASA SP-8077 (Ostrem, 1971))

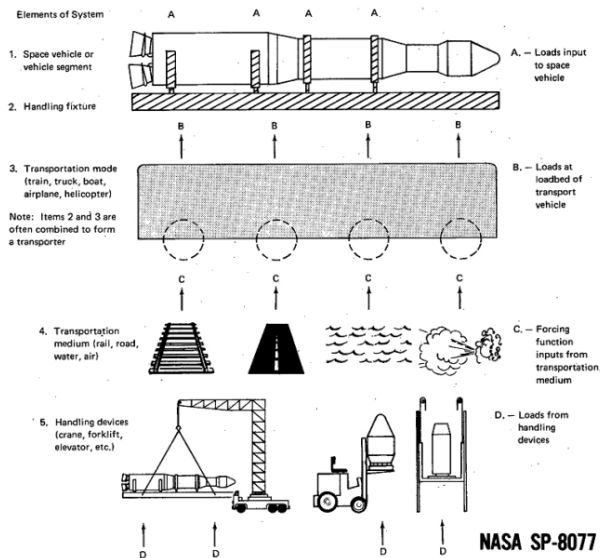
- podem ser as cargas críticas em veículo de sondagem ou lançamento

- é necessário monitorar e conhecer espectros de cargas

- avaliação dos meios de transporte: rodoviário, ferroviário, aeronáutico, marítimo

- cuidado em transporte

- INTEGRAÇÃO DO VEÍCULO

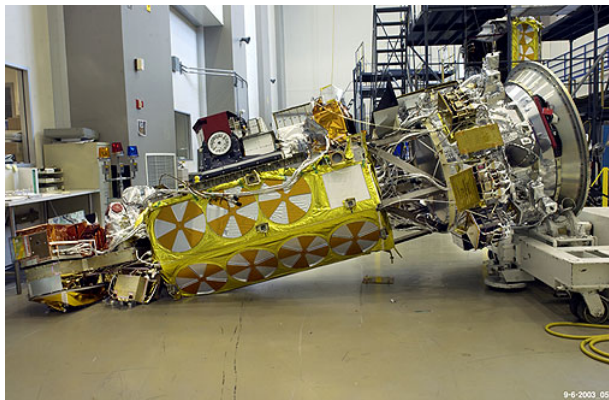


NASA SP-8077

Cargas de transporte e manuseio

NASA SP-8077 (Ostrem, 1971))

- ▶ podem ser as cargas críticas em veículo de sondagem ou lançamento
- ▶ é necessário monitorar e conhecer espectros de cargas
- ▶ avaliação dos meios de transporte: rodoviário, ferroviário, aeronáutico, marítimo
- ▶ cuidado em transporte
- ▶ INTEGRAÇÃO DO VEÍCULO



<http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=12500>

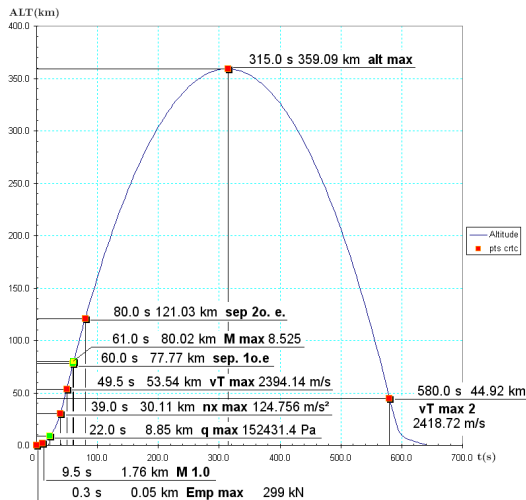
Pontos críticos - voo.

	Descrição	Tipo
7	Máximo n^o de Mach	Voo propulsado
8	Mach 1.0	Voo propulsado
9	Máxima velocidade relativa de vento	Voo propulsado
10	Máxima distância entre centro de pressão e centro de massa	Voo propulsado
11	Máximo arrasto	Voo propulsado
12	Máximo fator de carga longitudinal em cada estágio	Voo propulsado

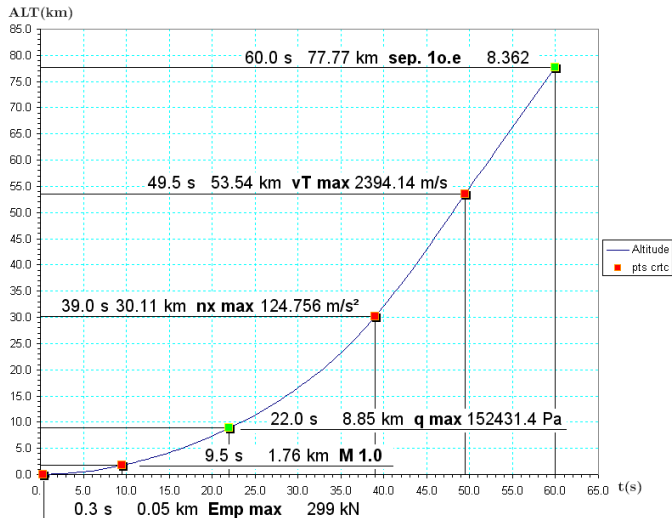
Pontos críticos - eventos em voo.

	Descrição	Tipo
13	Acendimento de motores em vôo	Eventos
14	Fim de operação de motores	Eventos
15	Separação de estágios	Eventos
16	Abertura e separação de coifa	Eventos
17	Giro do último estágio + Carga útil	Eventos
18	Separação de carga útil	Eventos

Pontos críticos em voo



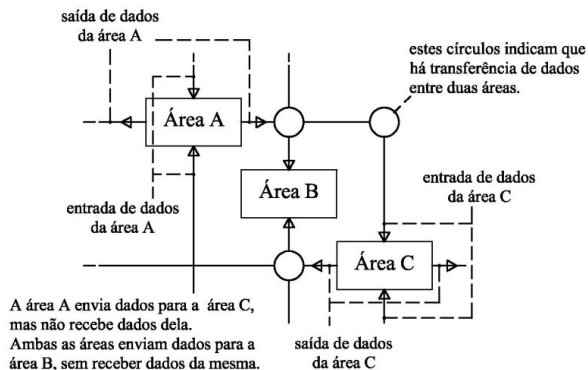
Pontos críticos em voo



Part II

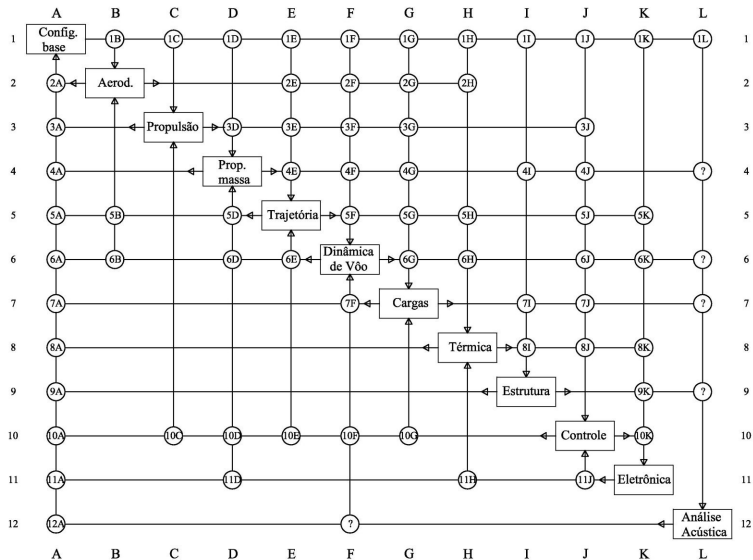
Cálculo de cargas

A matriz de projeto permite identificar o fluxo de informações (dados) entre disciplinas



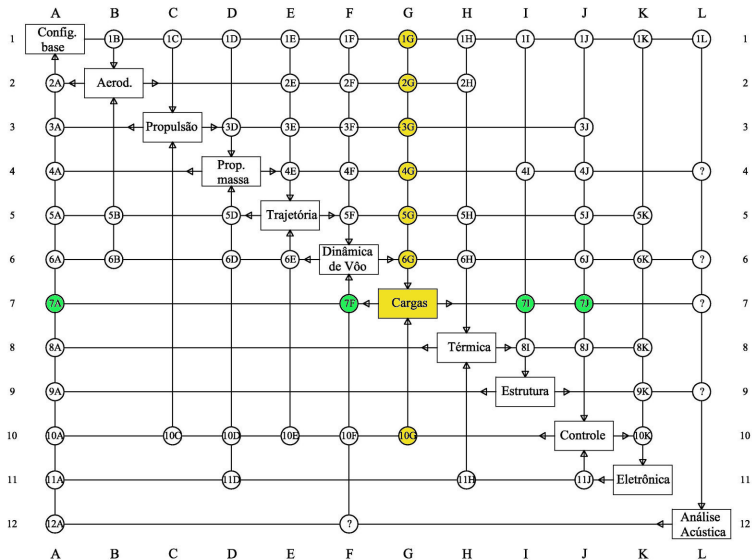
4. Sistemas

Matriz de projeto - exemplo



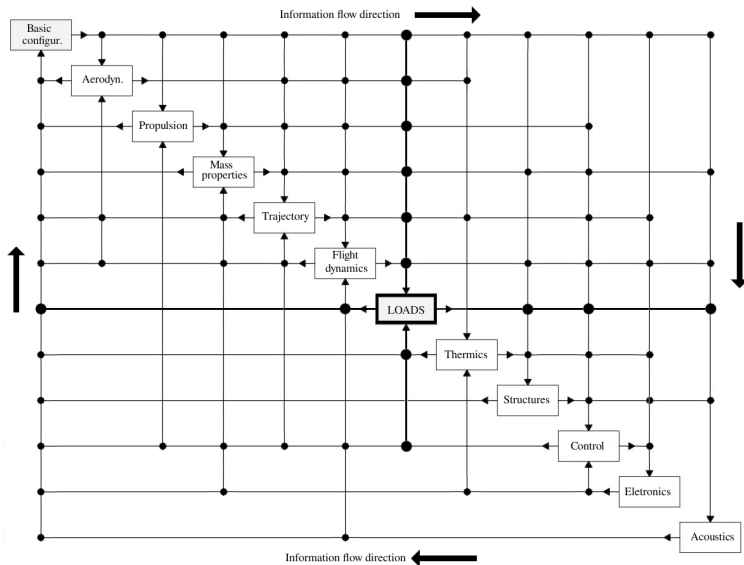
4. Sistemas

Matriz de projeto - exemplo



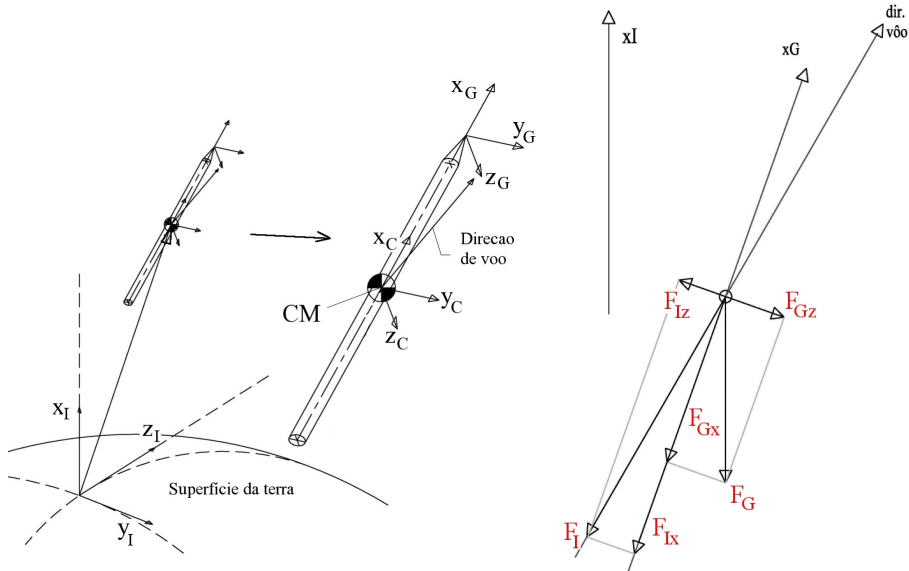
4. Sistemas

Matriz de projeto - exemplo



5. Cargas em voo - modelo

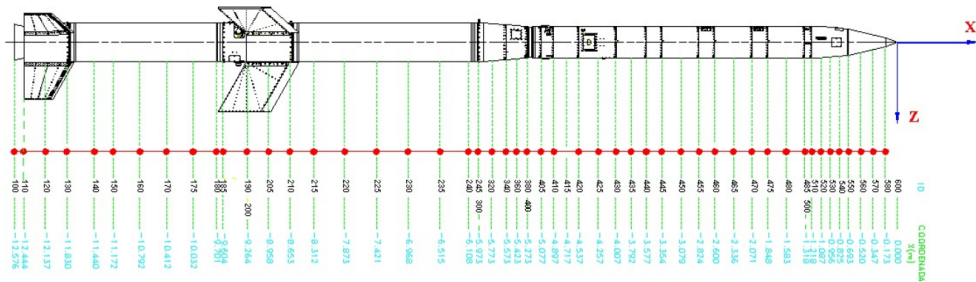
Sistemas de coordenadas - configuração básica



5. Cargas em voo - modelo

Modelo - pontos concentrados

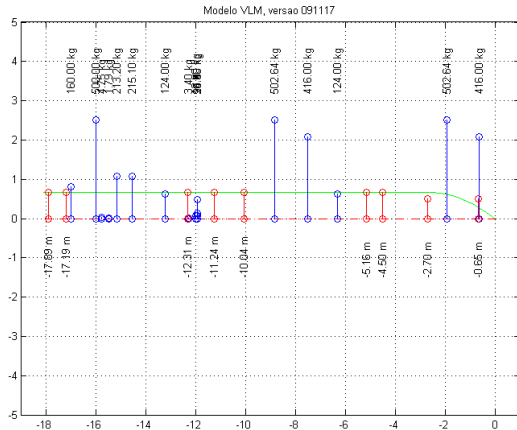
- Modelo de viga - nós
- Massas concentradas.
- Pontos posicionados em cintas (interfaces)
- Distribuídos igualmente ao longo dos envelopes



6. Exemplo de dados

Dados - massa e inércia

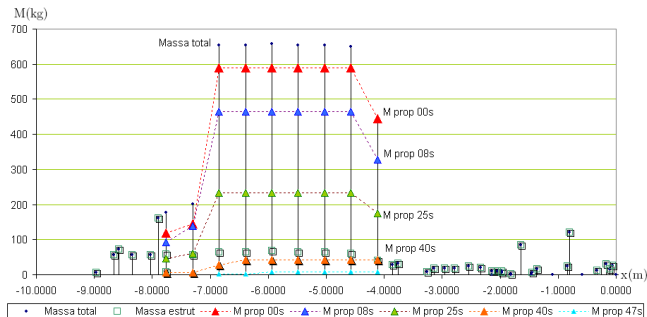
- Distribuição de massa e inércia
- Massa estrutural
- massa de combustível: variável
- massas concentradas nos pontos do modelo (já definidos)



6. Exemplo de dados

Dados - massa e inércia

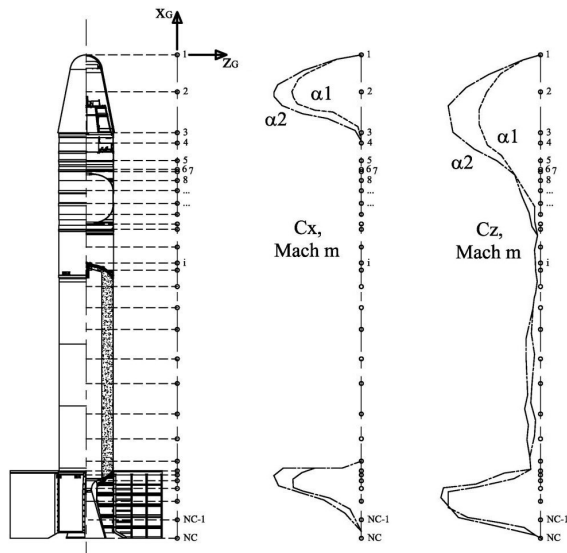
- Distribuição de massa e inércia
- Massa estrutural
- massa de combustível: variável
- massas concentradas nos pontos do modelo (já definidos)



6. Exemplo de dados

Dados - aerodinâmica

- ▶ Banco de dados
- ▶ Missile DATCOM
- ▶ NS simulation (CFD)
- ▶ Variar:
 - ▶ número de Mach
 - ▶ ângulo de ataque
- ▶ IAE: Visual DATCOM
- ▶ ver também: ▶ Duarte, 2007
- ▶ Pio et al., 2010



6. Exemplo de dados Dados - aerodinâmica

- ▶ Banco de dados
- ▶ Missile DATCOM
- ▶ NS simulation (CFD)
- ▶ Variar:
 - ▶ número de Mach
 - ▶ ângulo de ataque
- ▶ IAE: Visual DATCOM
- ▶ ver também: ▶ Duarte, 2007
- ▶ Pio et al., 2010

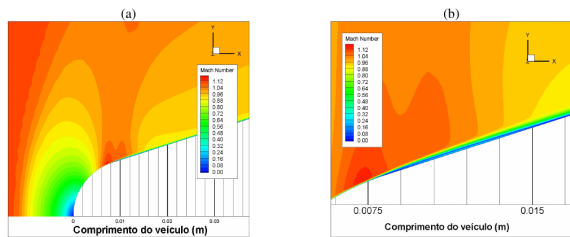
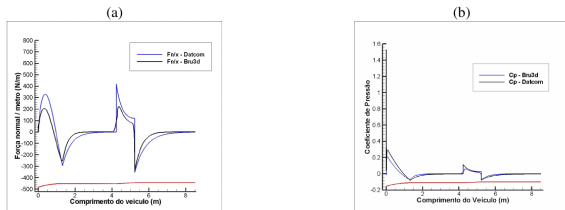


Figure 4. Flow over the payload compartment.

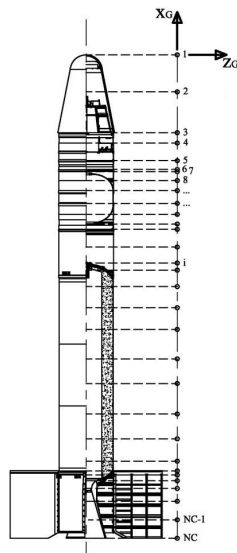


Pio et al., 2010

6. Exemplo de dados

Dados - modal

- Banco de dados
- Análise em EF
- Variar:
 - massa - concentrada, distribuída
 - elasticidade - A , I , E ,



modo a



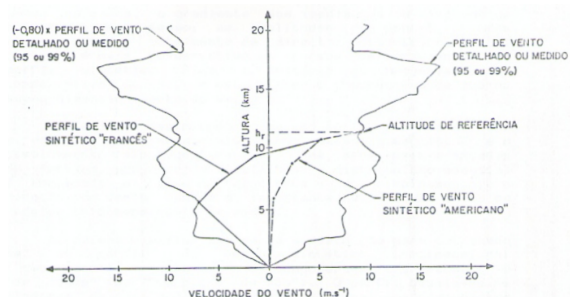
modo b



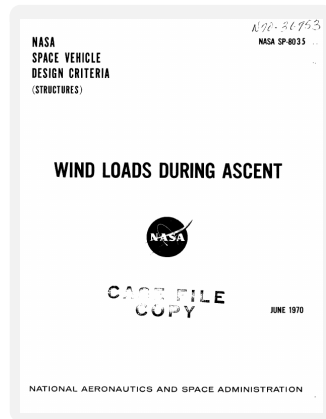
6. Exemplo de dados

Dados - ventos

- Determinação de perfis de vento
- Vento afeta diretamente o ângulo de ataque
- Envelope de perfil de vento estabelece condições para lançamento



Medeiros, 2012



- Código NASA
- <https://software.nasa.gov/software/MFS-27332-1>
- Planilha em Excel

NASA/TM—1998—208472



Preliminary In-Flight Loads Analysis of In-Line Launch Vehicles Using the VLOADS 1.4 Program

J.B. Graham and P.L. Luz
Marshall Space Flight Center, Marshall Space Flight Center, Alabama

VLOADS 1.4.1 Beta (5-26-98)

Launch Vehicle Loads Analysis for Preliminary Design.
by Bart Graham and Paul L. Luz of NASA MSFC.

Copyright ©1997 National Aeronautics and Space Administration. No copyright claimed in USA under Title 17, U.S. Code. All other rights reserved.

Project = **EXAMPLE LAUNCH VEHICLE**
(NASA/TM-1998-208472, <http://ntrs.nasa.gov/ntrs/98/tm208472.pdf>)

Load set = **Maximum Dynamic Pressure (Max Q)**
at time = **unspecified**

Analyst = **Bart Graham and Paul Luz**
Date = **Dec. 1997**

Input Aero Data & Edit Performance **Input Mass Properties** **Input Ascent Propellants**

Input Geometry **Edit Safety Factors** **RUN "VLOADS"**

VLOADS is a Visual BASIC program that calculates launch vehicle structural loads for preliminary design. Aerodynamic, mass, propellant, propulsion, and performance data are compiled and analyzed to produce distributed shear loads, bending moments, axial forces, and vehicle line loads as a function of X-station. Translational accelerations and interface loads, if any, are also computed.

A VLOADS User's Manual was published as a NASA Technical Memorandum: "Preliminary In-Flight Loads Analysis of In-Line Launch Vehicles using the VLOADS 1.4 Program", NASA/TM-1998-208472, June 1998.
(<http://ntrs.nasa.gov/ntrs/98/tm208472.pdf>)

ASSUMPTIONS for Preliminary Design

- * X coordinate positive from aft to nosecone.
- * Two-dimensional frame of reference.
- * Masses distributed along vehicle centerline.
- * Loads act in only one plane at a time.
- * Rigid body.
- * The number of boosters = 0.2, 4.6, etc. and the boosters' drag and axial thrust will react along the core vehicle's centerline, thus negating their contributions to the pitch moment Myy.
- * Rotational acceleration = 0. Thus, the pitch moment Myy = 0.
- * The gimbal point of the boosters, if any, is the same X-station as the core vehicle gimbal point.
- * Angle of attack is small.
- * Vibrational effects are not considered.
- * The Method of Sections is employed to determine loads at a predetermined X-station "node".

2D Simplifications

Fy = 0.
Roll moment Mxx = 0.
Yaw moment Mzz = 0.

START / Default.DAT / Aero.DAT / Geometry.DAT / Mass.DAT / Propellant.DAT / Data.SORT / Log /

CARV: aplicação IAE/ASE

Foi criada uma série de códigos que formam um pacote voltado ao código de cargas em voo:

- ▶ **CARV** - código em c++, rodado por linha de comando.
- ▶ **IGCarv** - código em c++, criado com o c++ Builder.
- ▶ **conversão de dados** - códigos auxiliares para preparar o banco de dados necessário para o cálculo de cargas pelo CARV.
 - ▶ Massa
 - ▶ Trajetória
 - ▶ Expansão de Massa (Matlab)
 - ▶ Aerodinâmica (Missile DATCOM)
- ▶ ...

CARV - c++

CARV - versão do VLS3D - de Pascal para c++. Alguns pontos a destacar:

- ▶ c++ permite alocação dinâmica de memória,
- ▶ (mais) independente da configuração do veículo,
- ▶ uso de estruturas de dados,
- ▶ retirada do módulo de controle (parâmetros e ganhos errados),
- ▶ praticamente não há mais limitações de memória.

CARV - c++

CARV - versão do VLS3D - de Pascal para c++. Alguns pontos a destacar:

- ▶ c++ permite alocação dinâmica de memória,
- ▶ (mais) independente da configuração do veículo,
- ▶ uso de estruturas de dados,
- ▶ retirada do módulo de controle (parâmetros e ganhos errados),
- ▶ praticamente não há mais limitações de memória.

CARV - c++

CARV - versão do VLS3D - de Pascal para c++. Alguns pontos a destacar:

- ▶ c++ permite alocação dinâmica de memória,
- ▶ (mais) independente da configuração do veículo,
- ▶ uso de estruturas de dados,
- ▶ retirada do módulo de controle (parâmetros e ganhos errados),
- ▶ praticamente não há mais limitações de memória.

CARV - c++

CARV - versão do VLS3D - de Pascal para c++. Alguns pontos a destacar:

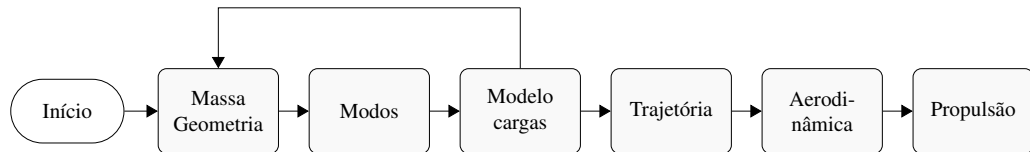
- ▶ c++ permite alocação dinâmica de memória,
- ▶ (mais) independente da configuração do veículo,
- ▶ uso de estruturas de dados,
- ▶ retirada do módulo de controle (parâmetros e ganhos errados),
- ▶ praticamente não há mais limitações de memória.

CARV - c++

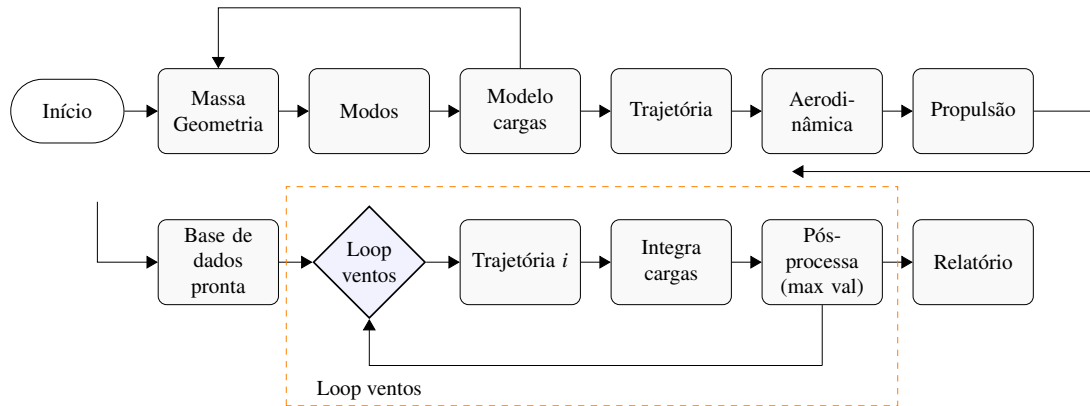
CARV - versão do VLS3D - de Pascal para c++. Alguns pontos a destacar:

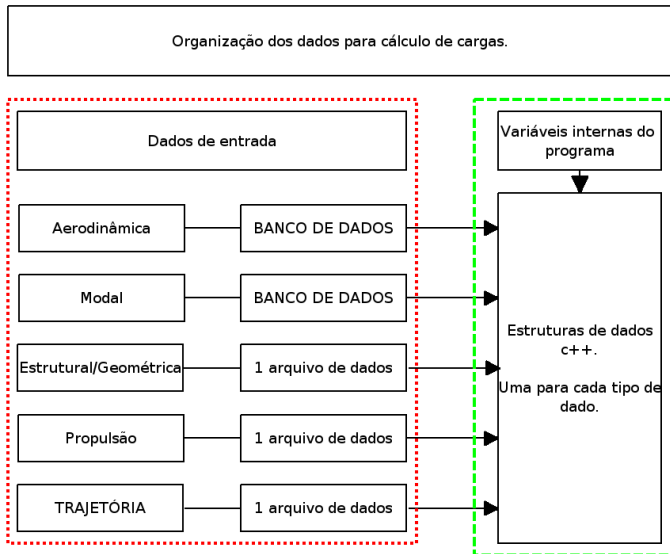
- ▶ c++ permite alocação dinâmica de memória,
- ▶ (mais) independente da configuração do veículo,
- ▶ uso de estruturas de dados,
- ▶ retirada do módulo de controle (parâmetros e ganhos errados),
- ▶ praticamente não há mais limitações de memória.

Fluxograma de cálculo



Fluxograma de cálculo





- Interface facilita processo
- Visualização dos dados de entrada
- Geração de gráficos no formato de relatório - relatórios de engenharia

Interface Gráfica para o Cálculo de Cargas em Vão - carv

Arquivo Editar Ajuda

Arquivo: C:\carlos\PROJETOS\carvas\dd\WLS-1_XVT01_R1\WLS-1_XVT01_R1.dat

Abrir Salvar Fechar Executa Sair

---- D A D O S ---- ... R E S U L T A D O S ---- Conversão de Dados

Controle Análise e geometria Trajetória Propulsão Aerodinâmica Base Modal

Esta página contém os dados do arquivo de controle da análise (.dat)

Atualiza dados

Descrição da análise

voo WLS-1 XVT 01 - versao R1 voo primeiro estagio. I

Dados Gerais

Elasticidade ☐

ch_nBst ☒

nBst 4

NumDOF 6

nBases 1

nModos 1

Geometria

Dados Gerais de Geometria PG0 PG1 PG2 PG3 PG4

Aqui estão os dados referentes à geometria do modelo.
Em cada página estão as propriedades relativas a cada um dos corpos do modelo.

Incluem:

localização dos nós, massas concentradas, momentos de inércia.
PG0 = corpo central PG1 = booster 1 PGk = booster k

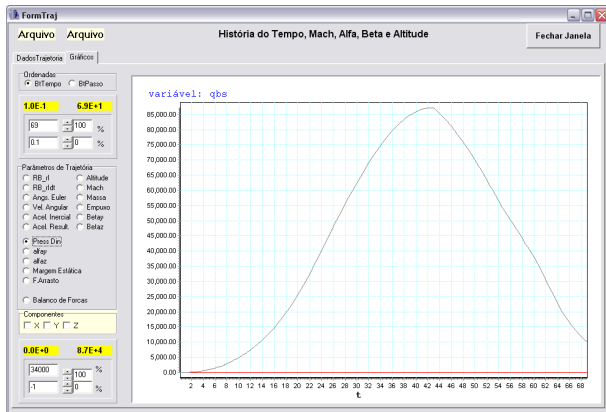
	Cip 0	Cip 1	Cip 2	Cip 3	Cip 4	Totais 5
NumNos	62	24	24	24	24	158
MassaEst	8352.5000	1227.5200	1248.4800	1248.4800	1227.5200	13304.5000
MassaPip	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MassaT0	8352.5000	1227.5200	1248.4800	1248.4800	1227.5200	13304.5000
NLsup	45	111	211	311	411	
NLinfl	57	122	222	322	422	
CompCip	-19.4574	-8.9106	-8.9106	-8.9106	-8.9106	

Ainda falta implementar:

- gráficos
- dados para caso com boosters

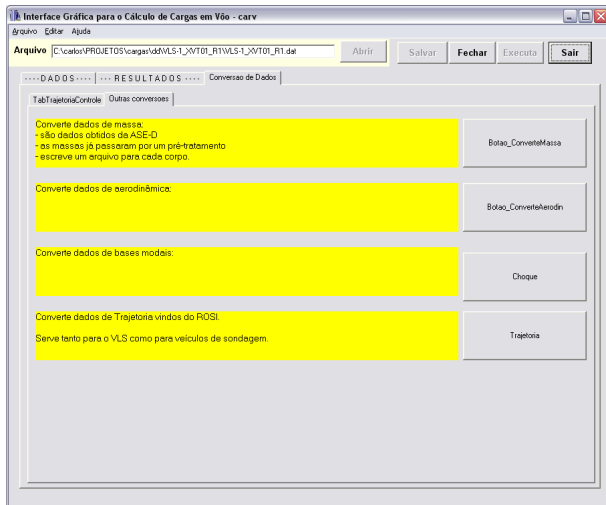
[pyPropBody]

- ▶ Interface facilita processo
- ▶ Visualização dos dados de entrada
- ▶ Geração de gráficos no formato de relatório - relatórios de engenharia



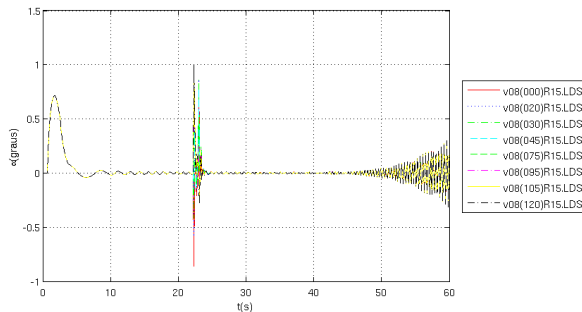
Conversão de dados

- Facilita a preparação do banco de dados
- Informação vinda de diferentes fontes deve ser convertida para permitir seu emprego
- Códigos adaptados conforme disponibilidade



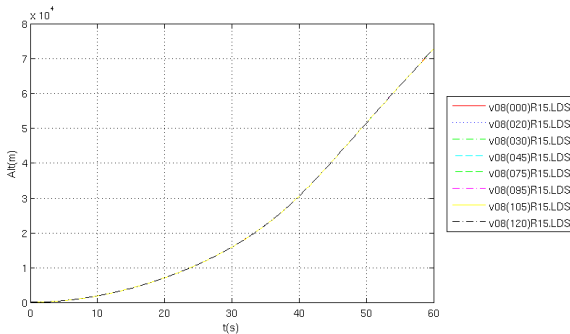
Múltiplas Trajetórias

- ▶ É importante avaliar múltiplas condições de vento de forma automática
- ▶ Diferentes simulações de trajetórias resultantes
- ▶ Múltiplos casos de cargas em voo



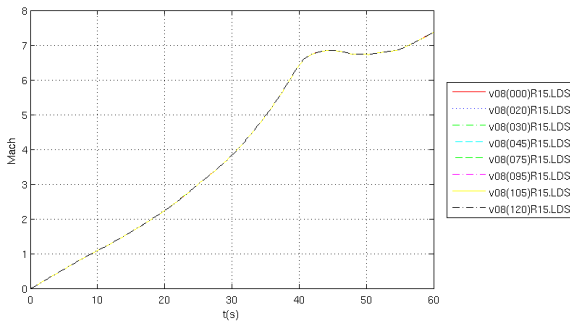
Múltiplas Trajetórias

- ▶ É importante avaliar múltiplas condições de vento de forma automática
- ▶ Diferentes simulações de trajetórias resultantes
- ▶ Múltiplos casos de cargas em voo



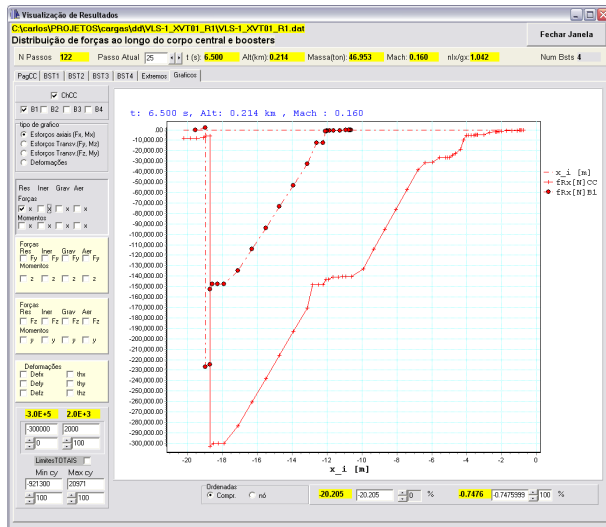
Múltiplas Trajetórias

- ▶ É importante avaliar múltiplas condições de vento de forma automática
- ▶ Diferentes simulações de trajetórias resultantes
- ▶ Múltiplos casos de cargas em voo



Resultados detalhados

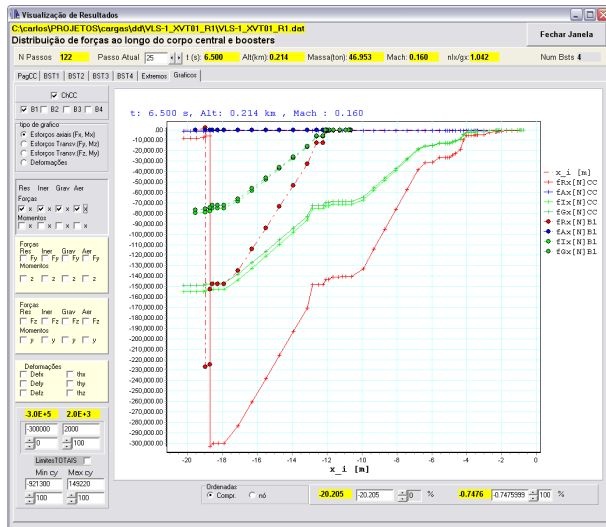
- Dados detalhados
- Gráficos compreensíveis
- Comparação entre trajetórias



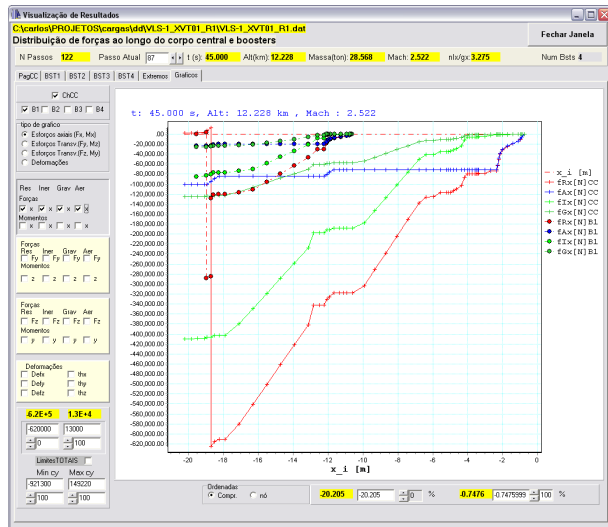
- ▶ Dados detalhados
- ▶ Gráficos compreensíveis
- ▶ Comparação entre trajetórias



- Dados detalhados
- Gráficos compreensíveis
- Comparação entre trajetórias

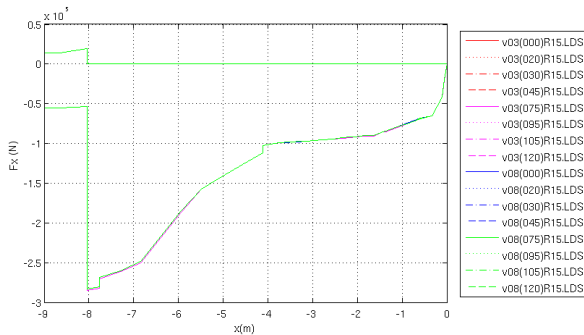


- Dados detalhados
- Gráficos compreensíveis
- Comparação entre trajetórias



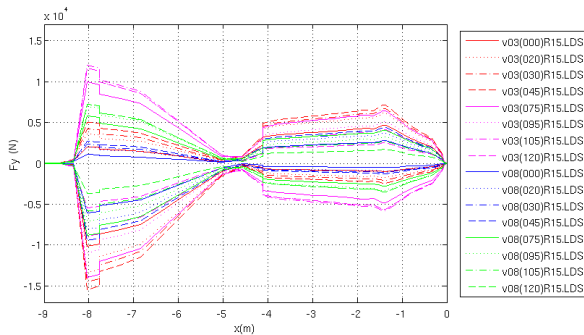
Envelope de esforços

- Valores mínimos e máximos encontrados em cada ponto do modelo



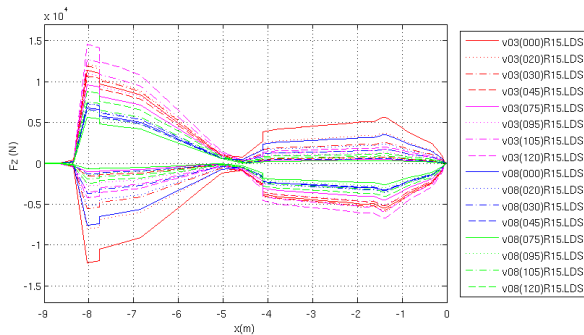
Envelope de esforços

- Valores mínimos e máximos encontrados em cada ponto do modelo



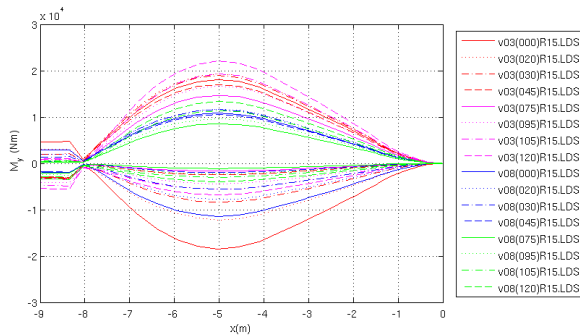
Envelope de esforços

- Valores mínimos e máximos encontrados em cada ponto do modelo



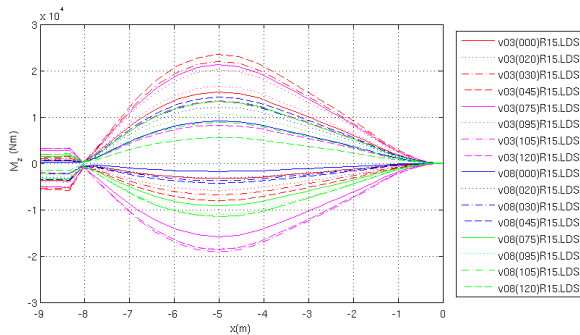
Envelope de esforços

- Valores mínimos e máximos encontrados em cada ponto do modelo



Envelope de esforços

- Valores mínimos e máximos encontrados em cada ponto do modelo



Part III

Conclusões

Considerações gerais

Avaliação do ambiente de cargas mecânicas

- ▶ Processo multidisciplinar (não é apenas aerodinâmica)
- ▶ Devem ser considerados diversos pontos críticos
- ▶ Necessidade de monitoramento contínuo de dados de projeto (interfaces - gerenciamento)
- ▶ Necessidade de registro de dados e resultados de cálculo
- ▶ Monitoramento de condições reais através de sensores (transporte, voo)
- ▶ Trabalho inacabado: conversão para python (linguagem independente de SO). PySide (Qt)

Avaliação do ambiente de cargas mecânicas em veículos de sondagem

C. E. de Souza, Dr. Eng.
carlos.souza@ufsm.br



- Duarte, G. F. R. (2007). *Análise de Sensibilidade de Cargas Aerodinâmicas em Relação à Variação de Parâmetros Geométricos em Veículos de Sondagem*. Trabalho de Graduação. Trabalho de Graduação. São José dos Campos, SP, Brasil.
- Fleming, E. R. (1994). "Flight-vehicle materials, structures, and dynamics - Assessment and future directions. Vol. 1 - New and projected aeronautical and space designs, design concepts, and loads". In: (A95-24401 05-31). New York, NY: American Society of Mechanical Engineers. Chap. Spacecraft and Launch Vehicle Loads, p. 530–541.
- Houbolt, J. C. (May 1972). *Combining Ascent Loads, Space Vehicle Design Criteria (Structures)*. Tech. rep. NASA SP-8099. NASA.
- Medeiros, R. R. de (2012). *Cálculo de cargas em voo em veículos de sondagem: abordagem com dois conjuntos de empenas*. Trabalho de conclusão de curso.

- Ostrem, F. (Sept. 1971). *Transportation and Handling Loads, NASA Space Vehicle Design Criteria (Structures)*. Tech. rep. NASA/SP-8077. pp. 48, Format(s): PDF 3035k. NASA Langley Research Center (Hampton, VA, United States).
- Pio, D. M., Basso, E., Souza, C. E. de, Azevedo, J., and Silva, R. G. A. (2010). "Numerical Simulations of the Aerodynamic Load Distributions over the VS-30 Sounding Rocket". In: *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas - ENCIT 2010*. Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, Rio de Janeiro. Uberlândia, MG.