

Sistema de suspensão rocker-bogie

Natanael Magalhães Cardoso
nUSP: 8914122

Relatório Final - Turma 03
PEF3208: Fundamentos em Mecânica das Estruturas
Prof. Osvaldo Shigueru Nakao

27 de junho de 2020

Resumo

Este projeto consiste na aplicação dos conceitos da disciplina PEF3208 para analisar uma estrutura real. A estrutura escolhida foi o sistema de suspensão rocker-bogie, projetado e usado pela NASA em diversas missões de exploração de Marte.

1 Introdução

O sistema de suspensão rocker-bogie foi projetado em 1988 por Donald B. Bickler para o uso da NASA no veículo espacial Sojourner. E, desde então, tornou-se o sistema de suspensão preferido da companhia para explorações espaciais, tendo sido reutilizado em outras missões como Mars 2003, Mars 2012 e Mars 2020 (figura 1).

A parte *rocker* (oscilante) da suspensão vem do aspecto oscilante da articulação maior montada no corpo em cada lado do veículo espacial. Esses balancins são conectados um ao outro e ao chassi do veículo através de um diferencial. Em relação ao chassi, os balancins girarão em direções opostas para manter um contato aproximadamente igual com a roda. O chassi mantém o ângulo de inclinação médio dos dois balancins. Uma extremidade de um balancim é equipada com uma roda motriz e a outra extremidade é articulada ao bogie.

A parte *bogie* da suspensão refere-se à ligação menor, que gira para o balancim no meio e que tem uma roda motriz em cada extremidade. Os bogies eram comumente usados como rodas de carga nos trilhos dos tanques do exército como roldanas que distribuíam a carga no terreno e também eram comumente usados em reboques de caminhões semi-reboques. Agora, tanques e semi-reboques preferem suspensões de braço à direita.

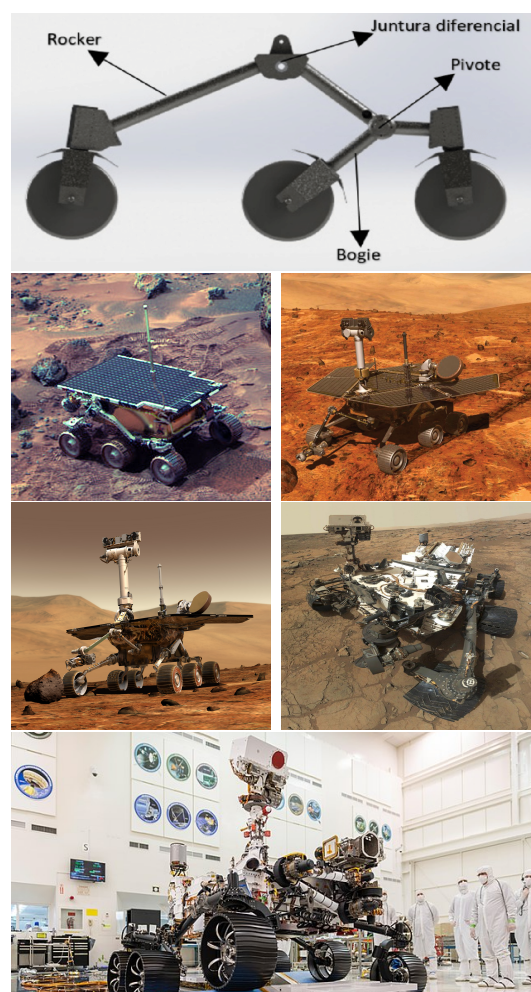


Figura 1: Sistema rocker-bogie, Sojourner (1996), Spirit (2003), Opportunity (2003), Curiosity (2011) e Perseverance (2020).

2 Definição da Estrutura

Uma possível representação do sistema rocker-bogie é pela estrutura da figura 2. Comparando-a com a figura 1, podemos identificar alguns componentes: o ponto E representa a junta diferencial é ele que recebe a carga do veículo; o ponto de refere-se ao pivot; o segmento AE representa a rocker e o segmento BD representa o bogie.

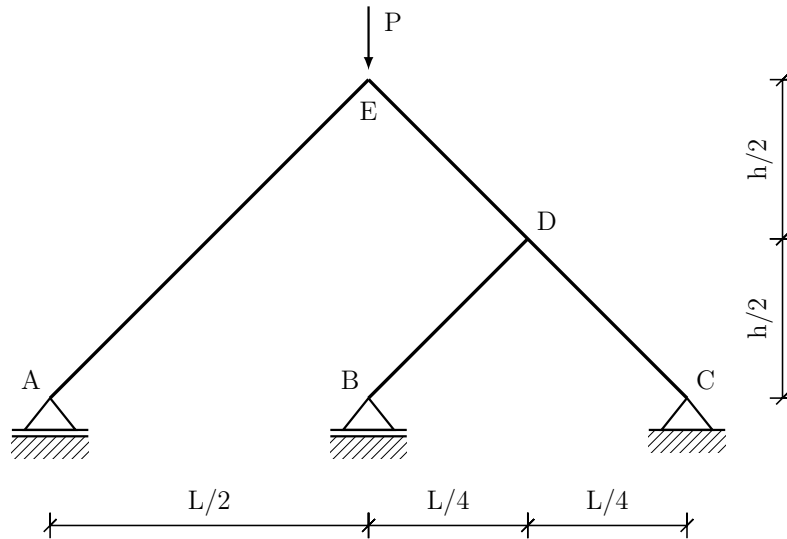


Figura 2: Estrutura representando uma suspensão rocker-bogie.

Mas, para resolver a estrutura, a simplificação da figura 3 foi adotada. Ela consiste na separação da estrutura em duas mais simples. Para tanto, foi considerado que no ponto D da figura ADE existe um apoio fixo e as reações deste apoio são transferidas como carga para o ponto D da estrutura BCD.

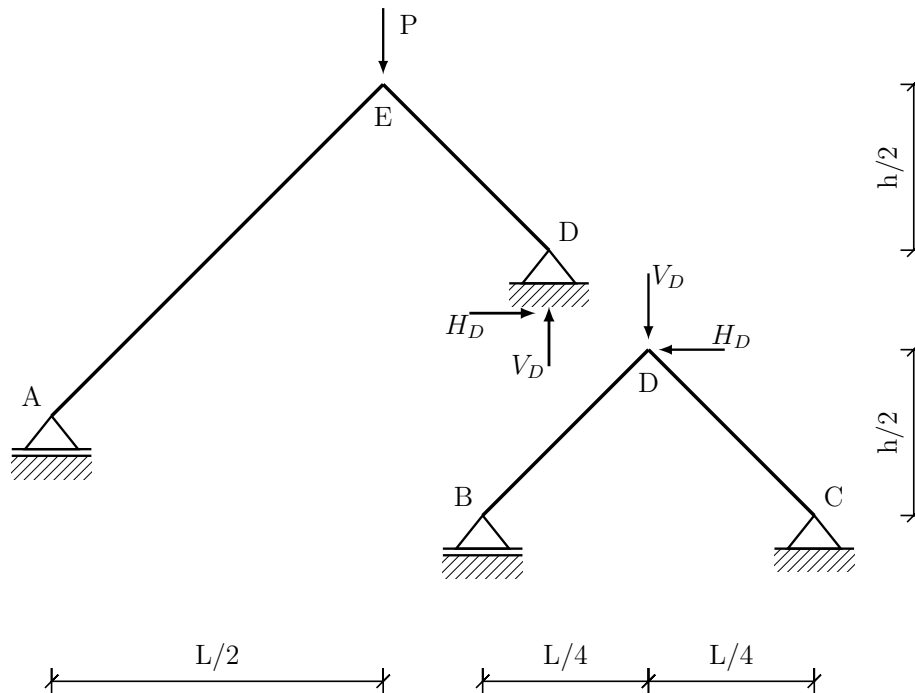


Figura 3: Redução da estrutura da figura 2 em duas estruturas mais simples.

3 Resolução da Estrutura

Para analisar os esforços internos do sistema de suspensão rocker-bogie, primeiro iremos calcular as reações nos apoios de cada estrutura, para, então, gerar as equações dos esforços solicitantes a partir do Teorema do Corte. Para todos os cálculos desta seção, será considerada a convenção da figura 4(a) para esforços solicitantes e a convenção de Grinter para o equilíbrio, figura 4(b).

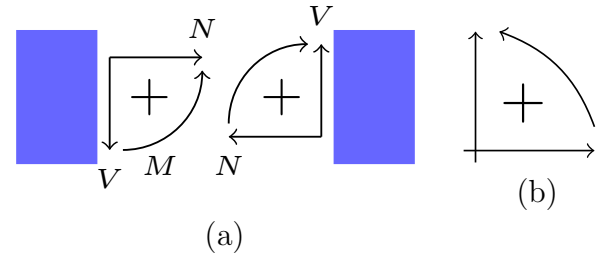


Figura 4: Convenções adotadas.

3.1 Reações nos apoios em ADE

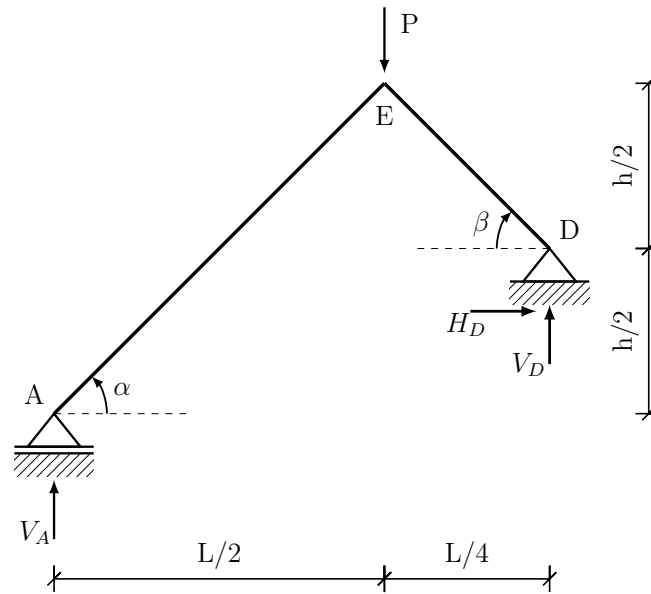


Figura 5: Estrutura AED.

$$\begin{cases} \sum F_H = 0 \Rightarrow H_D = 0 \\ \sum F_V = 0 \Rightarrow V_A + V_D - P = 0 \\ \sum M_A = 0 \Rightarrow \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{4}\right) V_D - \frac{L}{2} P - \frac{h}{2} H_D = 0 \\ \sum M_D = 0 \Rightarrow \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{4}\right) V_A + \frac{L}{4} P = 0 \end{cases}$$

$$\boxed{H_D = 0} \quad \boxed{V_A = \frac{P}{3}} \quad \boxed{V_D = \frac{2P}{3}}$$

3.2 Reações nos apoios em BCD

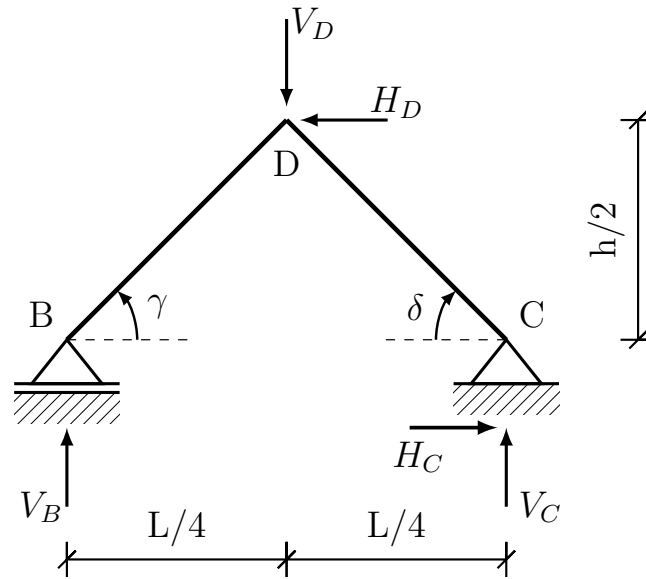


Figura 6: Estrutura BCD.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_H = 0 \Rightarrow -H_D + H_C = 0 \\ \sum F_V = 0 \Rightarrow V_B + V_C - V_D = 0 \\ \sum M_B = 0 \Rightarrow \frac{L}{2}V_C - \frac{L}{4}V_D = 0 \\ \sum M_C = 0 \Rightarrow -\frac{L}{2}V_B + \frac{L}{4}V_D = 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \boxed{V_B = \frac{P}{3}} \quad \boxed{V_C = \frac{P}{3}} \\ \boxed{H_C = 0} \end{array}$$

Os valores das reações nos apoios de ambas as estruturas serão dispostos na tabela seguinte para organizar a consulta na próxima etapa da análise.

ADE		BCD	
Variável	Valor (N)	Variável	Valor (N)
H_D	0	H_C	0
V_A	$\frac{P}{3}$	V_B	$\frac{P}{3}$
V_D	$\frac{2P}{3}$	V_C	$\frac{P}{3}$

Tabela 1: Valores das reações externas calculadas pelas equações de equilíbrio.

E, para prosseguir com a resolução da estrutura, os esforços internos serão calculados a seguir usando o Teorema do Corte.

3.3 Esforços solicitantes em AE

Escrevendo o vetor V_A em termos do eixo de coordenadas auxiliar $x'y'$, como indica a figura 9, e substituindo os valores das reações pelos valores da tabela 1, é possível calcular as expressões dos esforços solicitantes deste segmento e exibi-las na figura 8.

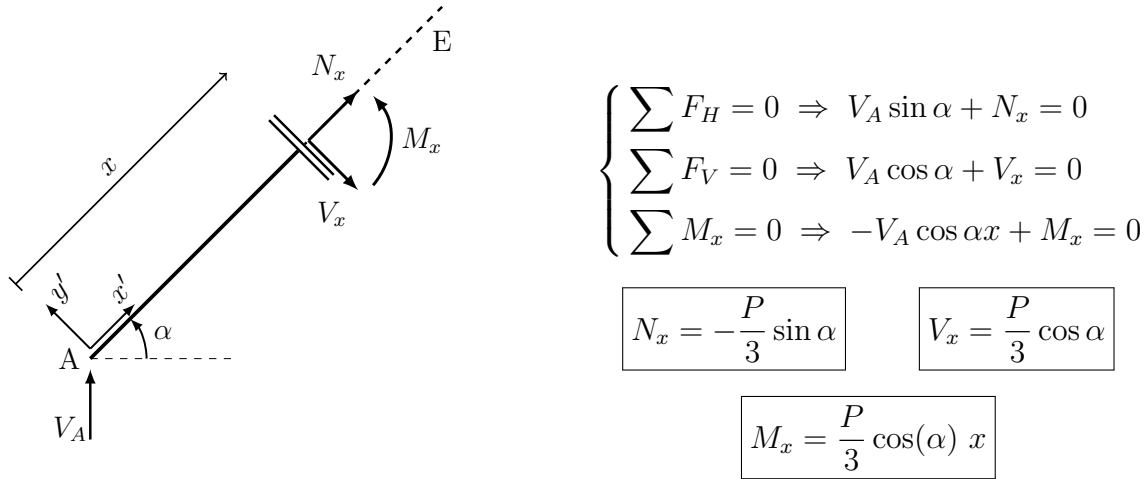


Figura 7: Diagrama de corpo livre do segmento AE.

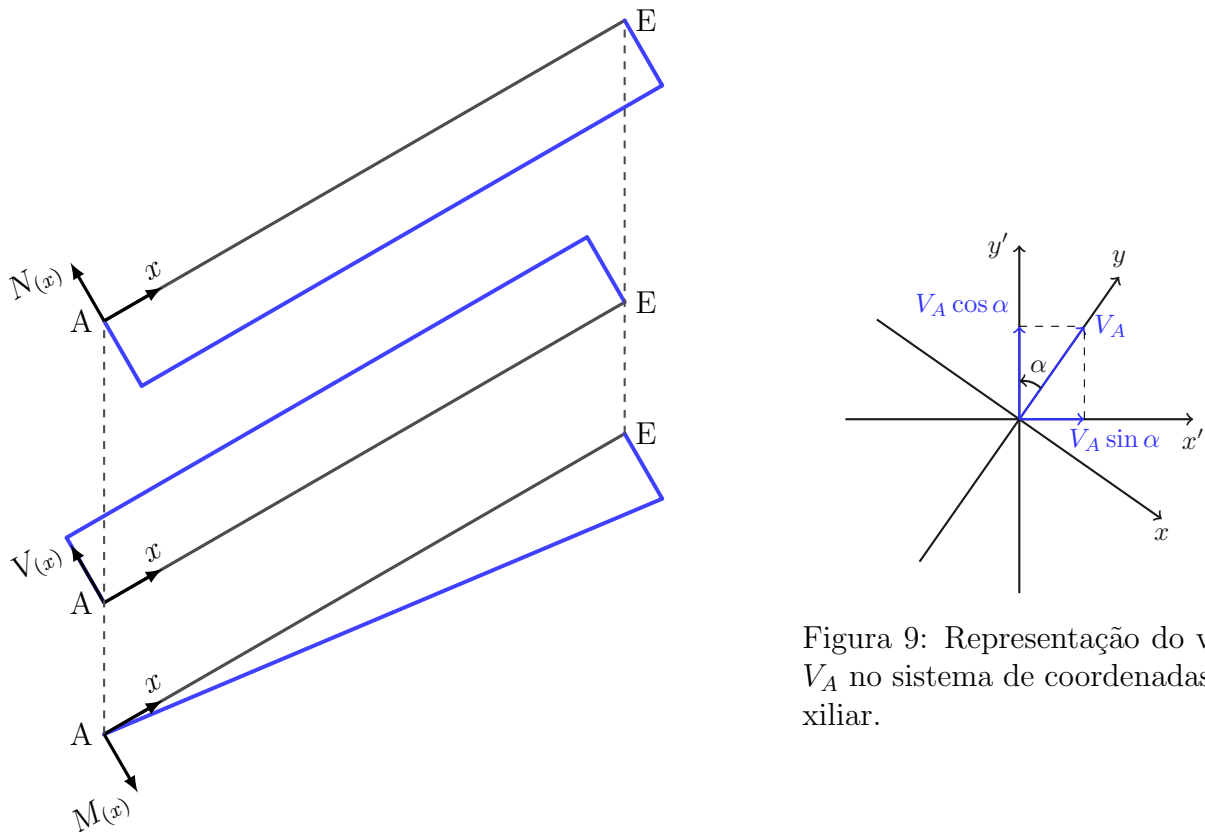


Figura 9: Representação do vetor V_A no sistema de coordenadas auxiliar.

Figura 8: Gráficos da força normal, cortante e momento fletor na barra AE.

3.4 Esforços solicitantes em DE

Analogamente ao procedimento anterior, podemos escrever os vetores V_D e H_D em termos do eixo de coordenadas auxiliar $x'y'$, como indicam as figuras 12 e 13, e substituindo os valores das reações pelos valores da tabela 1, é possível chegar às expressões dos esforços solicitantes do segmento DE e exibi-las na figura 11.

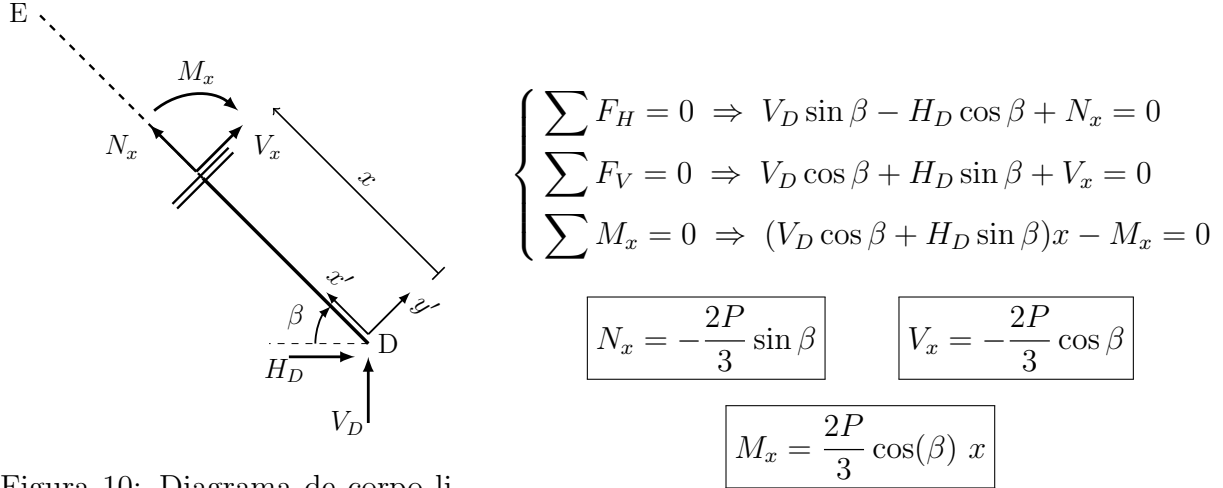


Figura 10: Diagrama de corpo livre do segmento DE.

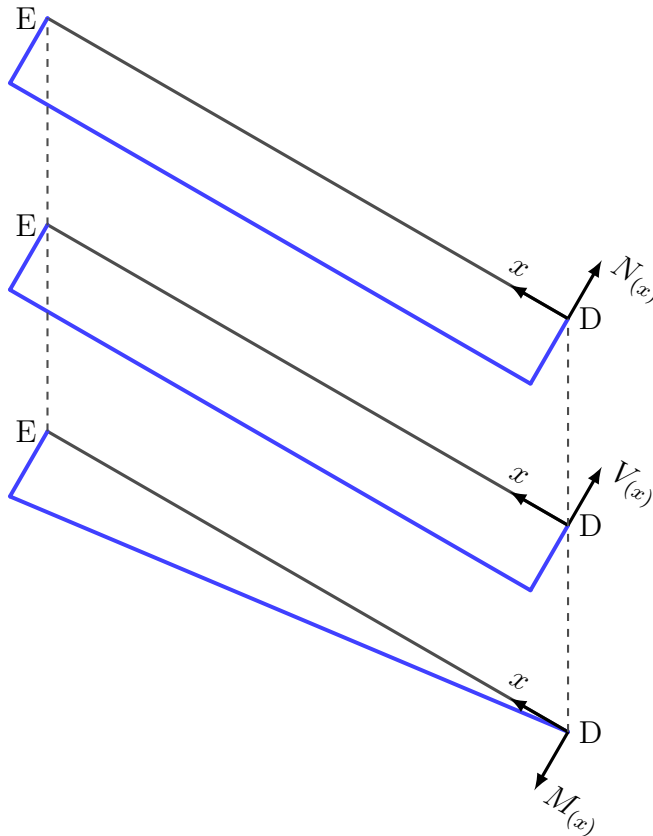


Figura 11: Gráficos da força normal, cortante e momento fletor na barra DE.

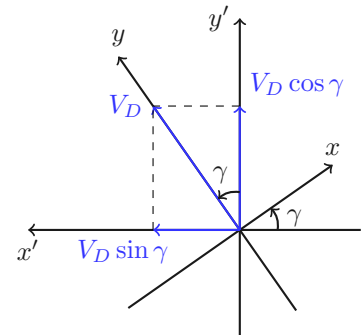


Figura 12: Representação do vetor V_D no sistema de coordenadas auxiliar.

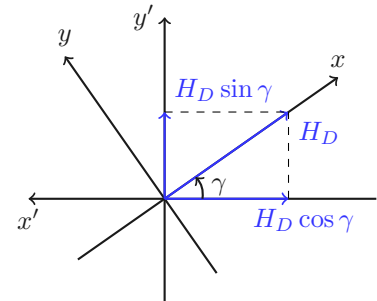


Figura 13: Representação do vetor H_D no sistema de coordenadas auxiliar.

3.5 Esforços solicitantes em BD

E, continuando a análise, escrevemos o vetor V_B em termos do eixo de coordenadas auxiliar $x'y'$, como indica a figura 16, e substituindo os valores das reações pelos valores da tabela 1, é possível calcular as expressões dos esforços solicitantes deste segmento e exibi-las na figura 15.

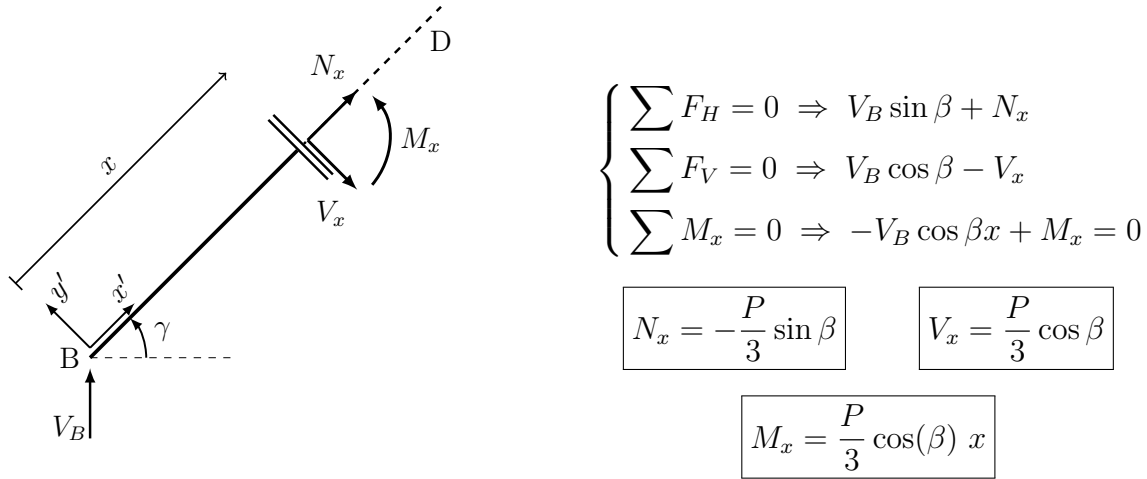


Figura 14: Diagrama de corpo livre do segmento BD.

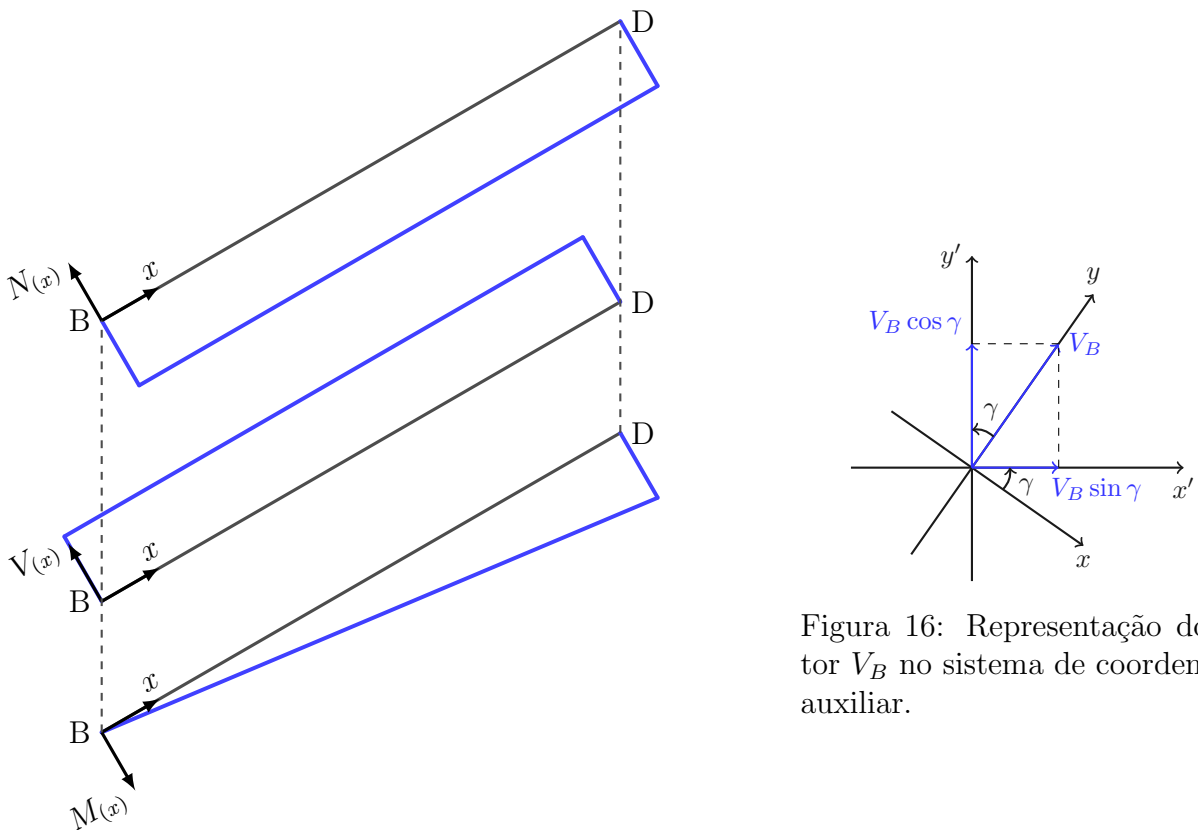


Figura 16: Representação do vetor V_B no sistema de coordenadas auxiliar.

Figura 15: Gráficos da força normal, cortante e momento fletor na barra BD.

3.6 Esforços solicitantes em CD

E, por fim, podemos escrever os vetores V_C e H_C em termos do eixo de coordenadas auxiliar $x'y'$, como indicam as figuras 19 e 20, e substituindo os valores das reações pelos valores da tabela 1, é possível chegar às expressões dos esforços solicitantes do segmento CD e exibi-las na figura 18.

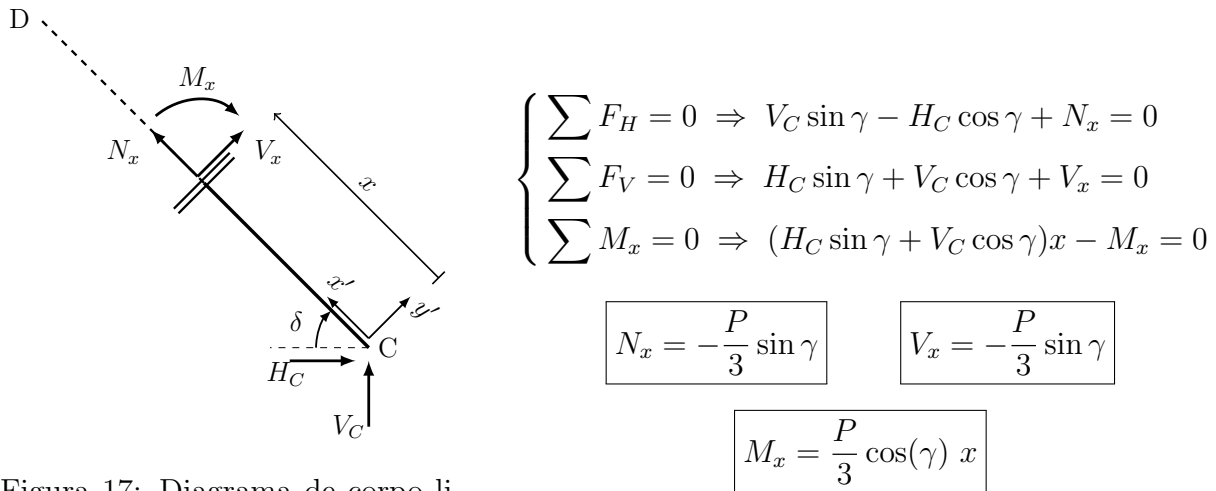


Figura 17: Diagrama de corpo livre do segmento CD.

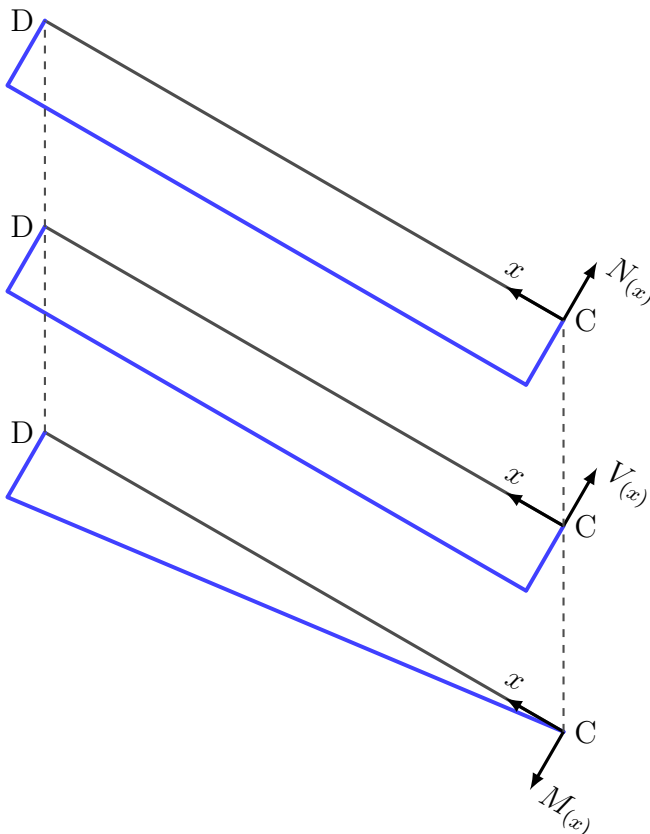


Figura 18: Gráficos da força normal, cortante e momento fletor na barra CD.

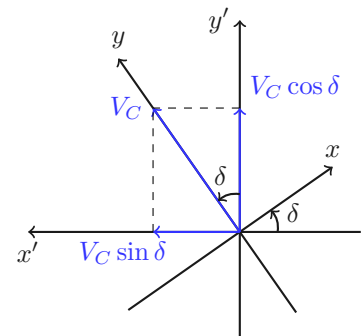


Figura 19: Representação do vetor V_C no sistema de coordenadas auxiliar.

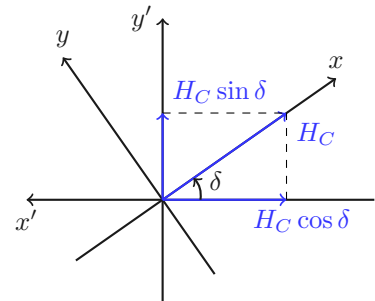


Figura 20: Representação do vetor H_C no sistema de coordenadas auxiliar.

4 Resultados

As figuras 21, 22 e 23 reúnem os gráficos da força normal, cortante e momento fletor para os esforços solicitantes da estrutura.

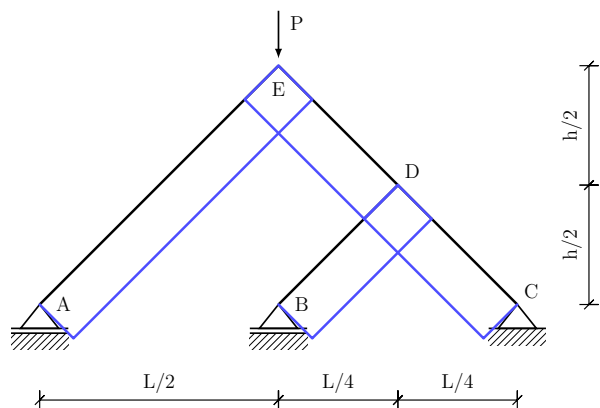


Figura 21: Força normal.

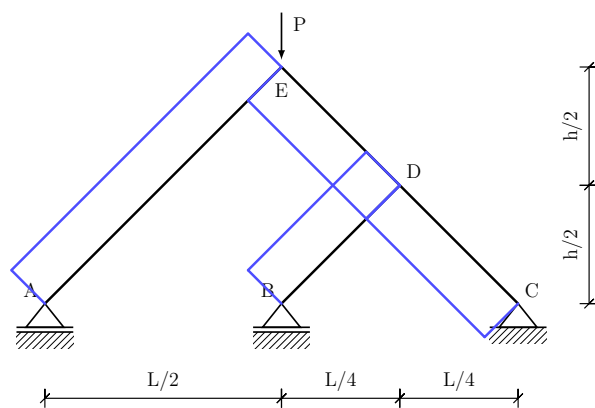


Figura 22: Força cortante.

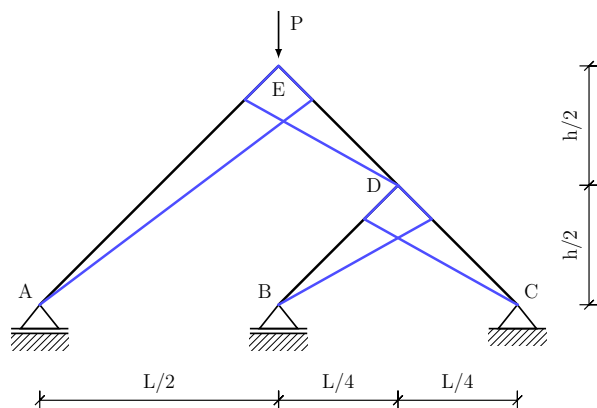


Figura 23: Momento fletor.