

SOFTWARE *ON-LINE* PARA DESENHO DE ESTRUTURA LINEAR TRIDIMENSIONAL

Pablo Kauan Batista Fernandes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Votuporanga),
Votuporanga, SP, Brasil

Gustavo Cabrelli Nirschl

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Votuporanga),
Votuporanga, SP, Brasil

Resumo: Existem inúmeros programas de computador que realizam cálculos de engenharia civil. Normalmente, os programas gratuitos mostram apenas os resultados finais ou alguns passos intermediários dos cálculos. Em contraste, um grupo de pesquisa cadastrado no CNPq desenvolve programas que demonstram, via relatório, todo o procedimento de cálculo e os disponibiliza *online*. Dentro da área de cálculo estrutural, surgiu a necessidade de um programa para o desenho de estruturas lineares tridimensionais, como pórticos espaciais, para, posteriormente, módulos poderem realizar a análise estrutural e o dimensionamento desses elementos. Assim, apresenta-se aqui um programa de computador, chamado CADlinear3D, que permite ao usuário inserir uma estrutura de elementos lineares em 3D. Esse programa tem como objetivo servir de base para futuros módulos que realizarão os cálculos e análises em estruturas espaciais de engenharia civil. Além de ser gratuito e disponível on-line, os módulos poderão gerar relatórios completos, sendo essas 3 características juntas o que confere caráter de destaque frente a muitos programas disponíveis.

Palavras-chave: Engenharia civil; Cálculos estruturais; Pórticos espaciais; Programas de engenharia; Educação em engenharia.

ONLINE SOFTWARE FOR DESIGNING OF THREE-DIMENSIONAL LINEAR STRUCTURES

Abstract: There are numerous computer programs that perform civil engineering calculations. Typically, free programs only show the final results or some intermediate steps of the calculations. In contrast, a research group registered with CNPq (Brazilian National Council for Scientific and Technological Development) develops programs that demonstrate, via reports, the entire calculation procedure and make them available online. Within the area of structural calculation, the need arose for a program to design three-dimensional linear structures, such as spatial frames, so that modules could later perform structural analysis and dimensioning of these elements. Thus, a computer program called CADlinear3D is presented here, which allows the user to insert a 3D linear element structure. This program aims to serve as a basis for future modules that will perform calculations and analyses on spatial structures in civil engineering. In addition to being free and available online, the modules will be able to generate complete reports; these three characteristics together give it a distinctive character compared to many available programs.

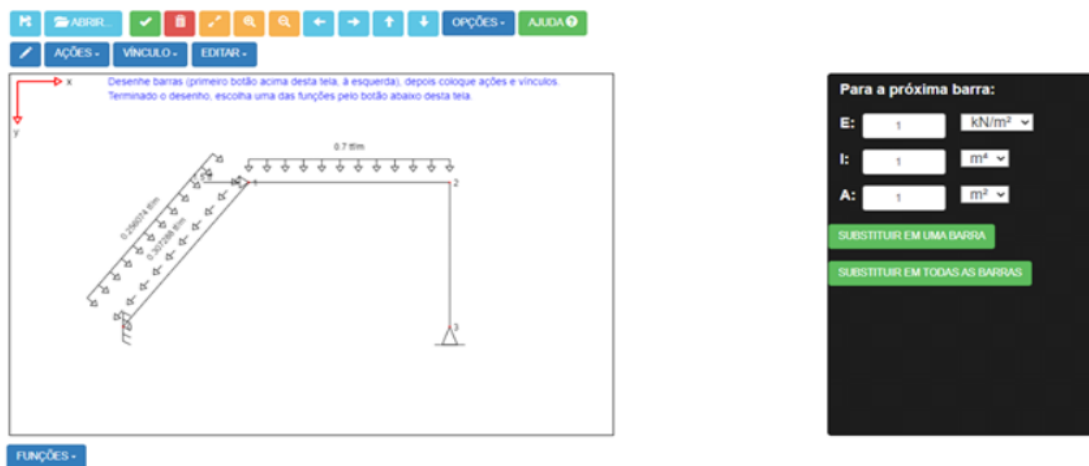
Keywords: *Civil Engineering; Structural calculations; Space frames; engineering programs; Engineering education.*

INTRODUÇÃO

Os programas de acesso gratuito da área de estruturas de engenharia civil, como o Ftool, desenvolvido por Martha (2017), normalmente apresentam apenas os resultados finais ou alguns passos intermediários para se chegar até eles. Procurando mostrar todos os cálculos em relatório, Santos Junior, Lopes e Nirschl (2016), dentro do grupo de pesquisa NEVE (Núcleo de Engenharia Virtual e Experimental), do qual este trabalho faz parte, desenvolveram o programa IFESTRUT, (Figura 1) disponível em <https://vtp.ifsp.edu.br/nev/lfestrut/lfestrut.html>, que permite o desenho de uma estrutura linear 2D e sua análise por vários métodos (módulos), disponibilizando relatórios completos de cálculos para estudantes, professores e até mesmo profissionais da área.

Na Figura 1, pelo botão FUNÇÕES, no canto inferior esquerdo, são acessados os módulos de cálculo para a estrutura desenhada. Dentro dos resultados de cada módulo, é possível gerar um relatório em pdf contendo todo o processo de cálculo.

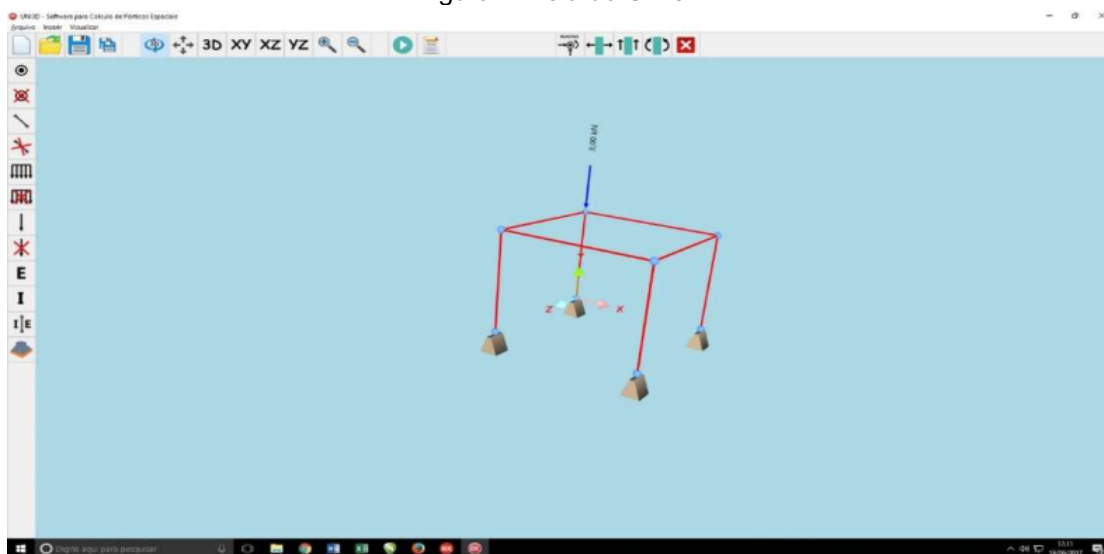
Figura 1: Parte da tela do IFESTRUT.



Fonte: O próprio autor utilizando o programa (2025)

Nesse contexto, Rosa e Godinho (2017) apresentaram um *software* para análise de pórticos espaciais pelo Método da Rigidez. Tal programa de computador, chamado UNI3D, não está disponível *on-line* e não foi encontrado para *download*, mas tem a característica de mostrar os cálculos internos realizados. Ele calcula deslocamentos e reações de apoio, mas não calcula os esforços nem realiza dimensionamento estrutural. A Figura 2 exibe a tela de entrada do referido programa.

Figura 2: Tela do UNI3D.



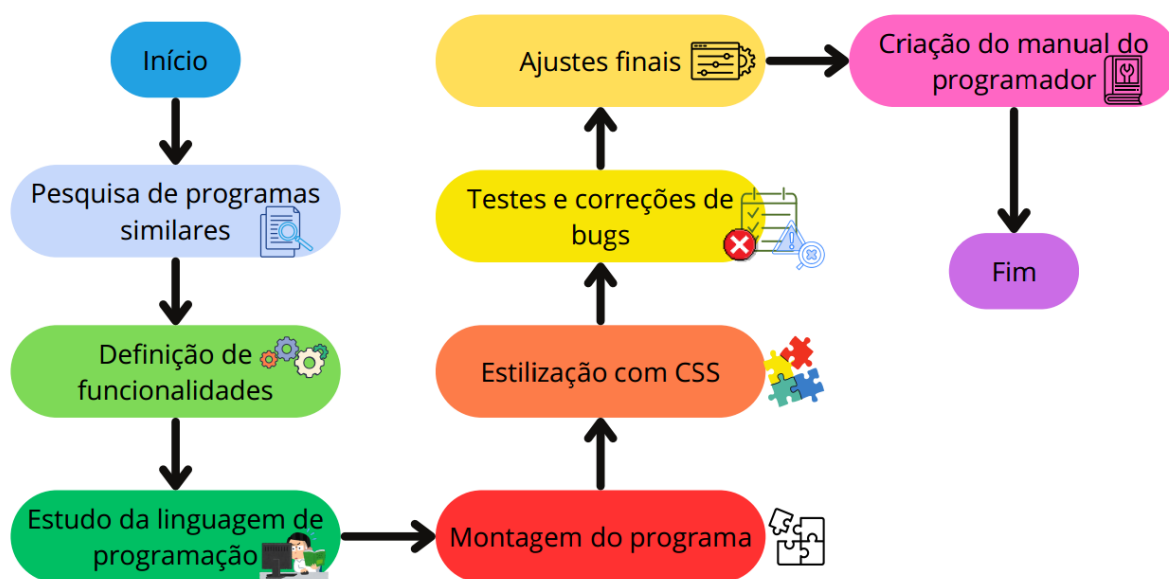
Fonte: Rosa e Godinho (2017).

Com o objetivo de ser gratuito, ser disponível on-line e possibilitar a geração de relatórios completos nos módulos futuros, ou seja, nos moldes do programa IFESTRUT, o programa CADlinear3D será apresentado neste artigo. Ele é uma base para futuros módulos de análise de estruturas lineares tridimensionais, sendo composto de um ambiente de desenho tridimensional que permite a adição de elementos estruturais, dimensões, características e forças externas.

METODOLOGIA

O programa CADlinear3D foi desenvolvido por meio da linguagem HTML/Javascript e CSS, que foi estudada em W3Schools (REFSNES DATA, 1998). A criação do *software* seguiu as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3: Fluxograma do processo de criação do programa CADlinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

De acordo com a figura 3, após a definição dos objetivos do trabalho, se iniciou a pesquisa de programas já existentes com objetivos semelhantes, buscando elementos em comum e conhecimento das funcionalidades como os modos de desenhar, os modos de inserir vinculações, cargas e os demais elementos. Uma vez definidas as funcionalidades essenciais do programa, iniciou-se o estudo necessário da linguagem de programação para colocá-las em prática. Dessa maneira, ocorreu o

processo de montagem e execução do programa, sendo por fim feitas melhorias visuais (estilizações) usando CSS. Durante o processo, testes e correções foram realizados. A finalização do programa se deu pela reorganização do layout, ajustes finais e o desenvolvimento do manual do programador para a criação dos futuros módulos.

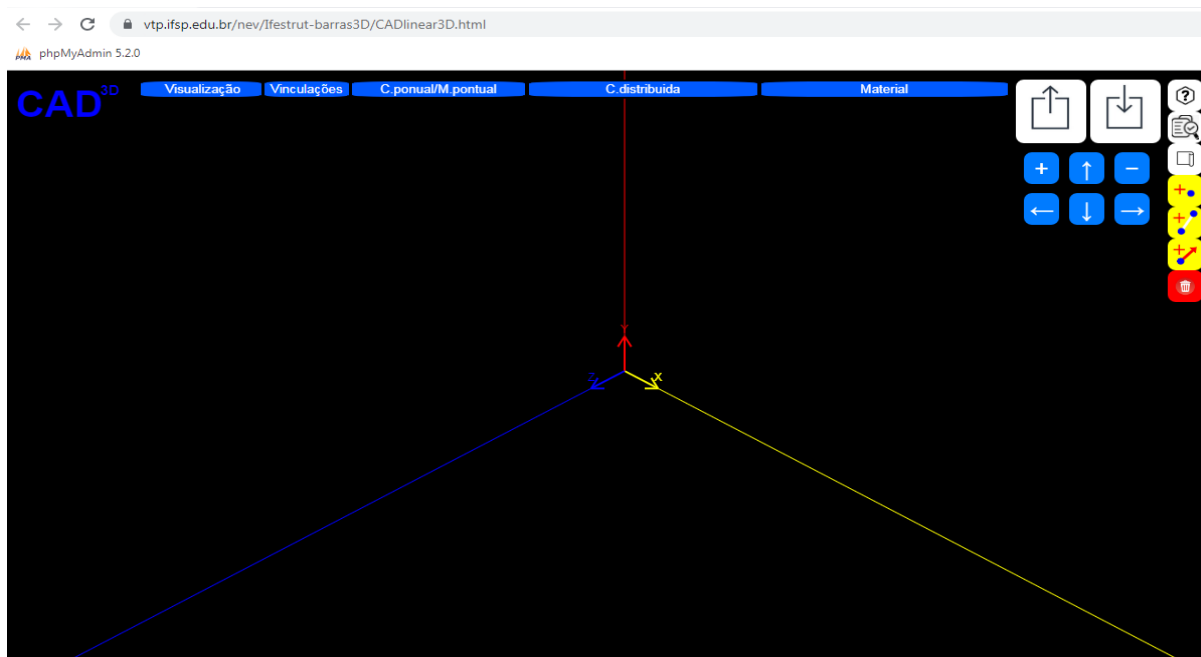
Tais módulos futuros poderão realizar análises em estruturas lineares tridimensionais, usando variados métodos como, por exemplo, o Método dos Elementos Finitos, para calcular esforços, deslocamentos e tensões. Poderão ainda ser incorporados métodos de dimensionamento das estruturas analisadas.

RESULTADOS

O programa CADLinear3D

O programa CADlinear3D é apresentado como uma tela inicial (Figura 4) que se encontra executável em qualquer navegador de internet. Tal sistema é incorporado à página do grupo de pesquisa NEVE (Núcleo de Engenharia Virtual e Experimental - <https://vtp.ifsp.edu.br/nev/lfestrut-barras3D/CADlinear3D.html>), do qual este trabalho faz parte.

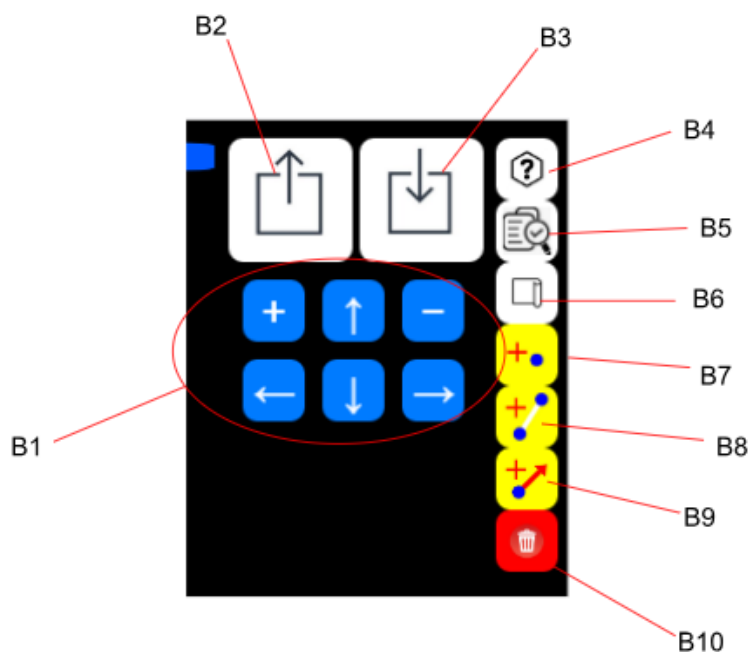
Figura 4: Tela inicial do programa CADLinear3



Fonte: O próprio autor (2025).

Na Figura 4, existem diversos elementos como abas de configuração, botões de movimentação, salvamento de projeto e ferramentas. O programa contém os eixos x,y e z na cor amarelo, vermelho e azul respectivamente.

Figura 5: Botões do programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

Na Figura 5 estão numerados um conjunto de botões, com as seguintes funcionalidades:

B1: Esse conjunto de botões serve para movimentar e aproximar ou afastar a câmera do observador.

B2 e B3: É possível abrir e salvar arquivos no programa, sendo o botão B2 para salvar e o botão B3 para abrir. O arquivo é salvo na extensão “.json” por padrão.

B4: O botão leva para um vídeo, gravado pelo próprio autor, de como usar o programa.

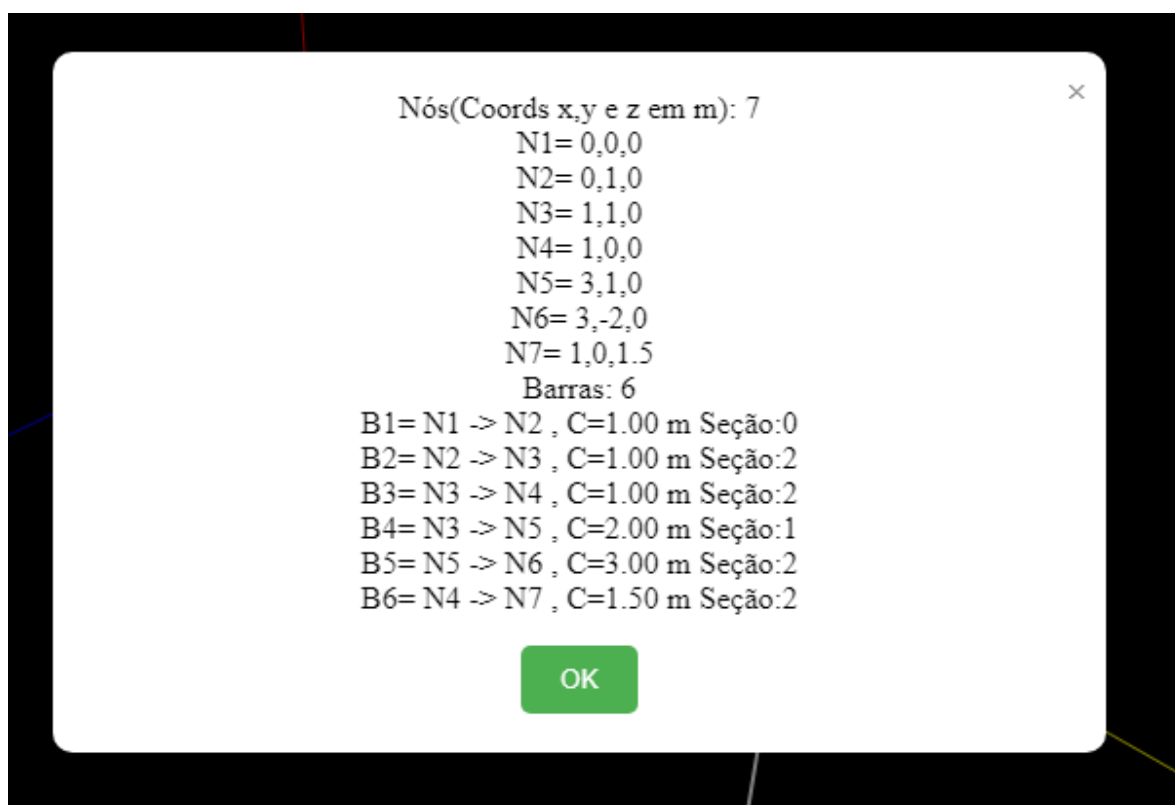
B5: O botão serve para visualizar dados gerais da estrutura atual como o exemplo mostrado na Figura 6. Nos dados, é possível identificar as coordenadas x, y e z dos nós, o nó inicial e final de cada barra, comprimento da barra e a configuração de rigidez atual da barra.

B6 e B10: Ambos os botões servem para apagar, porém o B10 serve para apagar apenas elementos individuais como nós e barras e o B6 serve para apagar toda a estrutura.

B7, B8 e B9: Os botões permitem que o usuário insira nós e barras. Os nós são criados digitando suas coordenadas x, y e z, após se clicar no botão B7, e dando ENTER após digitar cada coordenada. As barras podem ser criadas de três maneiras:

- 1) Selecionando 2 nós previamente criados após se clicar no botão B8;
- 2) partindo do ponto (0,0,0), apontando com o mouse a direção da barra e digitando seu comprimento após clicar no botão B9; e
- 3) clicando em um nó existente, apontando com o mouse a direção da barra e digitando seu comprimento após clicar no botão B9.

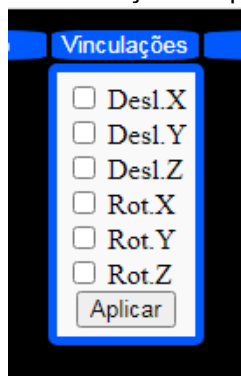
Figura 6: Exibição de dados gerais no programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

Após adicionar pelo menos os nós da estrutura, é possível escolher suas vinculações pela lista de opções do botão mostrado na Figura 7.

Figura 7: Configuração de vinculações no programa CADLinear3D.

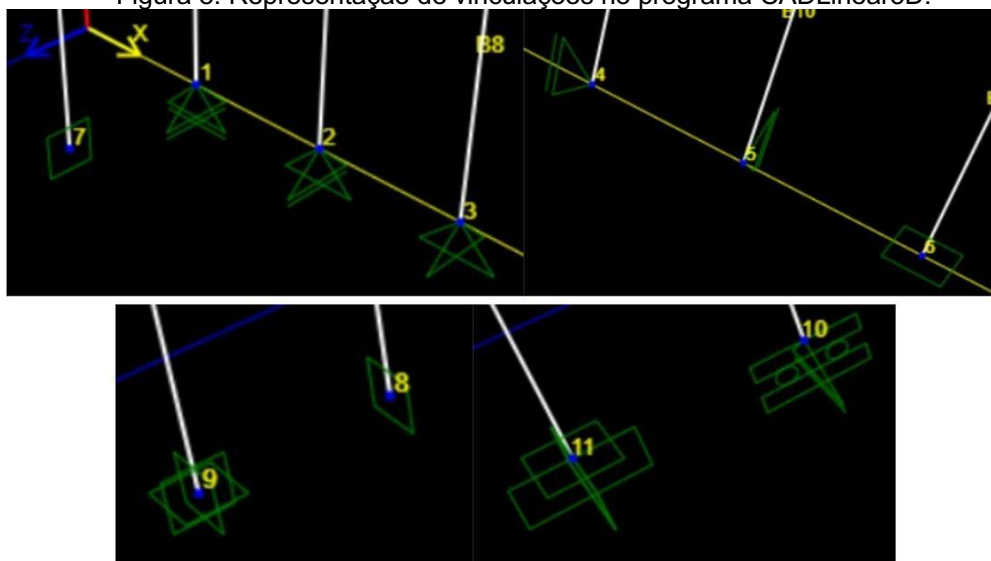


Fonte: O próprio autor (2025).

Selecionados o nó e os graus de liberdade e clicando-se no botão APLICAR (Figura 7), o nó receberá a representação gráfica correspondente ao seu vínculo. Na Figura 8, apresentam-se exemplos de nós e suas vinculações, sendo:

- Nó1) Deslocamento restringido apenas em y;
- Nó2) deslocamento restringido em y e x;
- Nó3) deslocamento restringido em y, x e z;
- Nó4) deslocamento restringido apenas em x;
- Nó5) deslocamento restringido apenas em z;
- Nó6) rotação restringida apenas em y;
- Nó7) rotação restringida apenas em x;
- Nó8) rotação restringida apenas em z;
- Nó9) rotação restringida em x, y e z;
- Nó10) rotação restringida em y e deslocamento restringido em x; e
- Nó11) todos os movimentos restringidos;

Figura 8: Representação de vinculações no programa CADLinear3D.

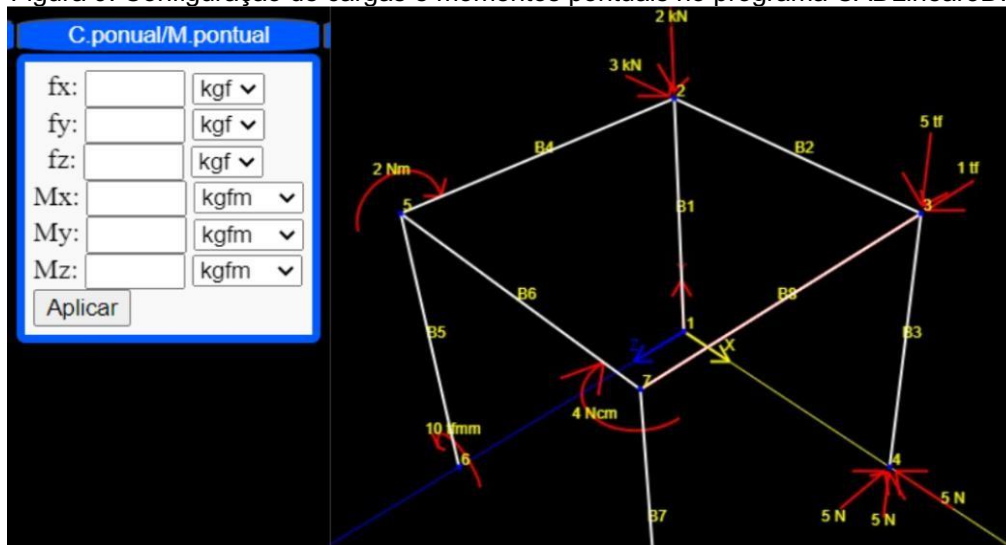


Fonte: O próprio autor (2025).

É possível adicionar uma força ou momento pontual nos nós pela lista de opções do botão mostrado na Figura 9. Pode-se escolher entre várias unidades dentro dos sistemas kgf, N, kN e tf e mm, cm e m. Exemplo de aplicação conforme a numeração dos nós da Figura 9.

- Nó2) Força concentrada de -2kN em y e 3kN em x;
- Nó3) força concentrada de -5tf em y e 1tf em x;
- Nó4) força concentrada de 5N em y, -5N em z e -5N em x;
- Nó5) momento concentrado de 2Nm em torno de x;
- Nó6) momento concentrado de 10tfmm em torno de z; e
- Nó7) momento concentrado de 4Ncm em torno de y.

Figura 9: Configuração de cargas e momentos pontuais no programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

No botão de material (Figura 10), o usuário pode adicionar os dados antes ou depois de adicionar as barras:

- 1) Criar um ou mais tipos (conjuntos) de dados pelo botão CRIAR da Figura 10 antes de iniciar o desenho; e
- 2) Selecionar um tipo pré-existente, depois atribuí-lo a uma (botão UM+ da Figura 10) ou todas (botão TUDO+ da Figura 10) as barras.

Para criar um tipo de material, é preciso fornecer dados relacionados à barra, sendo:

A = Área da seção transversal da barra, no sistema cm^2 , m^2 e mm^2 ;

E = Módulo de elasticidade longitudinal do material, no sistema GPa, MPa, kPa, Pa e $(\text{kgf}, \text{N}, \text{kN}, \text{tf})/(\text{m}^2, \text{cm}^2, \text{mm}^2)$;

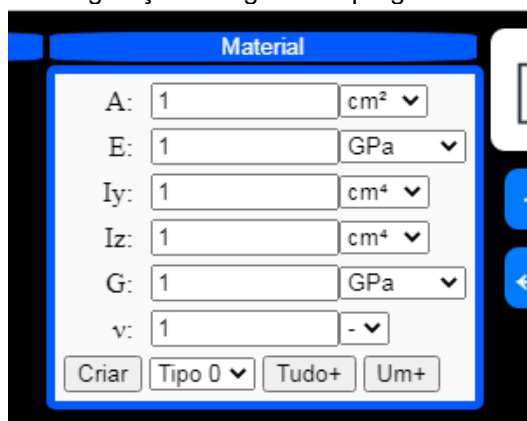
I_y = Momento de inércia em y da seção transversal, no sistema cm^4 , m^4 e mm^4 ;

I_z = Momento de inércia em z da seção transversal, no sistema cm^4 , m^4 e mm^4 ;

G = Módulo de torção do material, no sistema GPa, MPa, kPa, Pa e $(\text{kgf}, \text{N}, \text{kN}, \text{tf})/(\text{m}^2, \text{cm}^2, \text{mm}^2)$; e

ν = Coeficiente de Poisson do material, adimensional;

Figura 10: Configuração de rigidez no programa CADLinear3D.

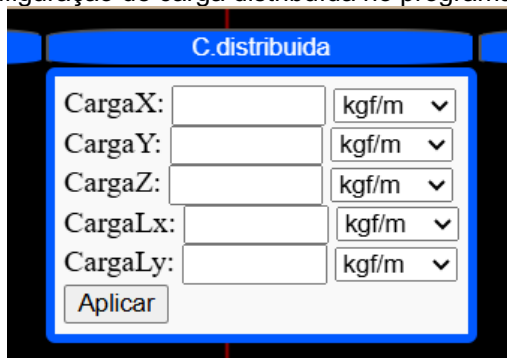


Fonte: O próprio autor (2025).

É possível adicionar carga distribuída perpendicular às barras por meio da aba mostrada na Figura 11. A carga distribuída pode ser adicionada no sistema (kgf, kN, N, tf)/(m, cm, mm). Em barras paralelas aos eixos x, y e z, podem ser utilizadas as três primeiras linhas de entrada (CargaX, CargaY e CargaZ). Em barras inclinadas em uma ou mais direções, utiliza-se o eixo local x, y da barra, sendo as duas últimas linhas de entrada (CargaLX e CargaLY). Exemplo de aplicação pelo número da barra da Figura 12:

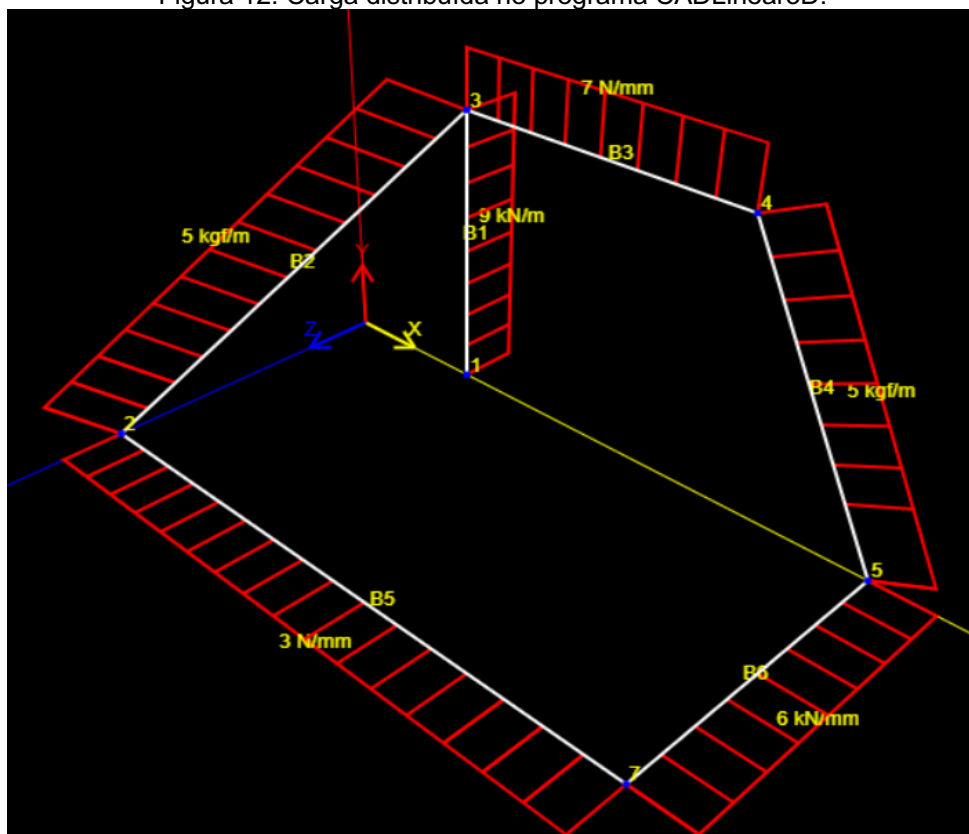
- B1) Carga distribuída de 9 kN/m em z;
- B2) Carga distribuída de 5 kgf/m em y local da barra;
- B3) Carga distribuída de -7N/mm em y;
- B4) Carga distribuída de 5 kgf/m em y local da barra;
- B5) Carga distribuída de -3N/mm em z; e
- B6) Carga distribuída de 6kN/mm em x.

Figura 11: Configuração de carga distribuída no programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

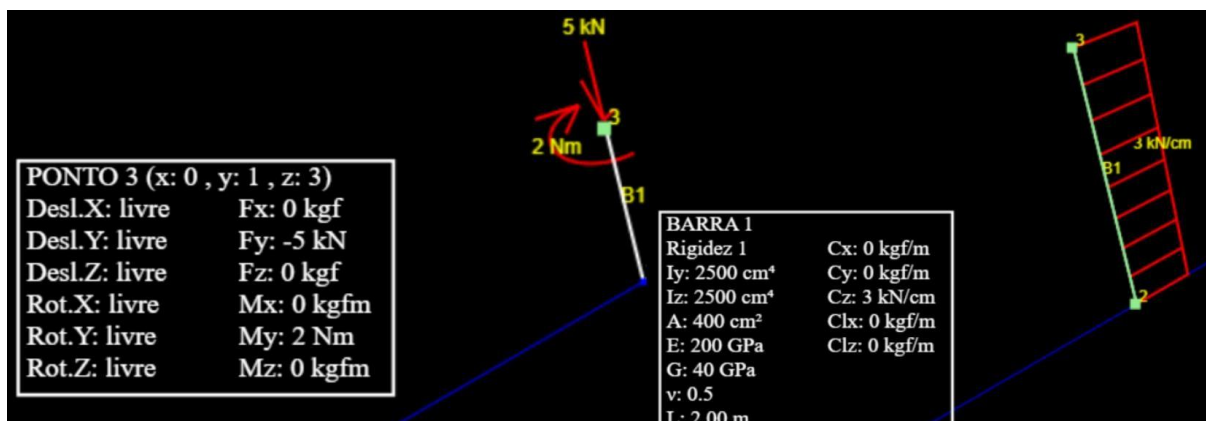
Figura 12: Carga distribuída no programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

Ao selecionar uma barra ou um nó, são exibidas suas informações, conforme exemplo na Figura 13. São exibidos número do nó, coordenadas x,y e z, vinculações e cargas, e para barras, dados de rigidez, comprimento e cargas.

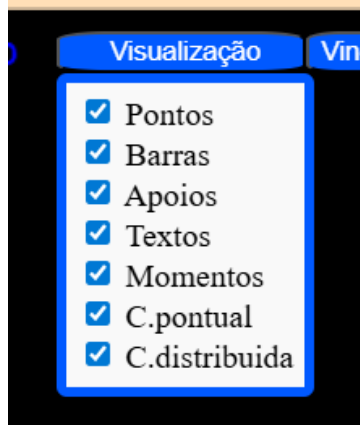
Figura 13: Exibição de informações dos elementos desenhados no programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

Caso haja muitas informações visuais, é possível ocultar elementos conforme o botão destacado na Figura 14.

Figura 14: Configuração de visualização de elementos no programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

Manual do programador

Aqui estão as informações para extrair os dados a partir do desenho a fim de utilizá-los nos futuros módulos de cálculo.

Variáveis:

PsalvoX[nó]

PsalvoY[nó]

PsalvoZ[nó]

São as coordenadas (x,y,z) de cada nó em metros, por exemplo: PsalvoY[5] = coordenada y do nó 5.

Variáveis:

Npontos

Nbarras

São o número de nós e o número de barras existentes no desenho, por exemplo, se tiver uma barra desenhada Npontos=2, Nbarras=1

Variáveis:

deslcx[nó] → Deslocamento em X

deslcy[nó] → Deslocamento em Y

deslcz[nó] → Deslocamento em Z

rotax[nó] → Rotação em torno de X

rotay[nó] → Rotação em torno de Y

rotaz[nó] → Rotação em torno de Z

Essas são as variáveis que definem as vinculações dos nós, podendo retornar valor 0 ou 1, no qual 0 = livre e 1 = fixo.

Exemplo: se $deslcx[5]=1$ significa que o deslocamento em X do nó 5 é fixo.

Variáveis:

fxponto[nó]

fy ponto[nó]

fz ponto[nó]

mx ponto[nó]

my ponto[nó]

mz ponto[nó]

Essas são as variáveis referentes à força e momento concentrado em um nó em x, y e z, por exemplo se eu tiver uma força concentrada de 5kN na direção x e um momento concentrado de 4kN*m em torno do eixo y, ambos no nó 3:

fxponto[3]→5

my ponto[3]→4

As possibilidades de unidades ficam dentro dos sistemas kgf, N, kN e tf e mm, cm e m.

Variáveis:

unifxponto[nó]

unify ponto[nó]

unifz ponto[nó]

unimxponto[nó]

unimy ponto[nó]

unimz ponto[nó]

As variáveis representam as unidades referentes às variáveis de força e momento, utilizando o exemplo anterior:

unifxponto[3] → kN

unimyponto[3] → kN*m

As possibilidades de unidades ficam dentro dos sistemas kgf, N, kN e tf e mm, cm e m.

Variáveis:

Nbarra1[barra]

Nbarra2[barra]

Essas variáveis retornam o número do nó inicial e final de uma barra, por exemplo, se a barra 2 começa no nó 3 e termina no nó 7:

Nbarra1[2] → 3

Nbarra2[2] → 7

Variáveis:

Nrigidez[barra]

As configurações de seção e material são guardadas numericamente como um tipo de rigidez criada pelo usuário. Cada barra vai possuir uma numeração para identificar sua rigidez, por exemplo, a barra 9 possui o tipo 3 de rigidez:

Nrigidez[9] → 3

Variáveis:

Nineria[tipo de rigidez] → Inércia em y

NineriaZ[tipo de rigidez] → Inércia em z

Narea[tipo de rigidez] → Área da seção

Nmodulo[tipo de rigidez] → Módulo de elasticidade longitudinal (E)

NmoduloG[tipo de rigidez] → Módulo de torção (G)

coefpoin[tipo de rigidez] → Coeficiente de Poisson, adimensional

E suas respectivas unidades:

uniNineria[tipo de rigidez]

uniNineriaZ[tipo de rigidez]

uniNarea[tipo de rigidez]

uniNarea[tipo de rigidez]

uniNmodulo[tipo de rigidez]

uniNmoduloG[tipo de rigidez]

As possibilidades de unidades ficam dentro dos sistemas kgf, N, kN e tf e mm, cm e m.

Essas são as variáveis referentes aos dados de material e seção de cada tipo de rigidez criada, por exemplo, se a área da seção transversal do tipo 5 é 400 cm²:

Narea[5] → 400

uniNarea[5] → cm²

Obviamente, é possível aninhar as variáveis matriciais:

Ninercia[Nrigidez[3]] → 800

uniNinercia[Nrigidez[3]] → cm⁴

Variáveis:

fdbarraX[barra]

fdbarraY[barra]

fdbarraZ[barra]

fdbarraLx[barra]

fdbarraLy[barra]

E suas respectivas unidades:

unifdbarraX[barra]

unifdbarraY[barra]

unifdbarraZ[barra]

unifdbarraLx[barra]

unifdbarraLy[barra]

Essas variáveis são referentes às cargas distribuídas nas barras. Quando a carga na barra é paralela aos eixos X, Y e Z, é armazenada nas variáveis fdbarraX, fdbarraY e fdbarraZ, porém, quando a barra possui uma ou mais inclinações, a carga é armazenada nas variáveis fdbarraLx e fdbarraLy.

Por exemplo, a barra 2, paralela ao eixo x, com carga distribuída paralela ao eixo y de 5 kN/m:

`fdbarraY[2] → 5`

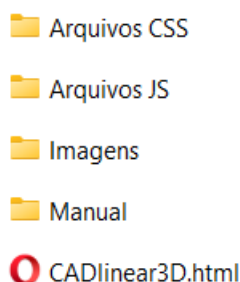
`unifdbarraY[2] → kN/m`

As possibilidades de unidades ficam dentro dos sistemas kgf, N, kN e tf e mm, cm e m.

Para facilitar o entendimento e experimentação de variáveis para uso dos futuros desenvolvedores dos módulos de cálculos, foi criado um arquivo especial chamado `Teste.js`. Esse arquivo, especificamente na função `"saidateste()"`, é exatamente o ponto de partida para um módulo de cálculos futuro, tendo ali toda a estrutura desenhada salva nas variáveis anteriormente explicadas. Segue o roteiro para acessar tal arquivo e fazer testes com as variáveis:

- 1) Acessar a pasta do programa (Figura 15).

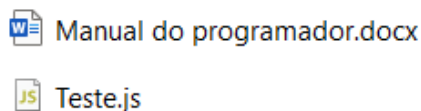
Figura 15: Arquivos principais do programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

- 2) Acessar a pasta Manual, onde está o arquivo `Teste.js` (Figura 16).

Figura 16: Pasta de arquivos onde se encontra o manual do programador do CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

- 3) Dentro do arquivo `"Teste.js"`, deve-se reativar o código comentado `"//fazerteste();" (Figura 17).`

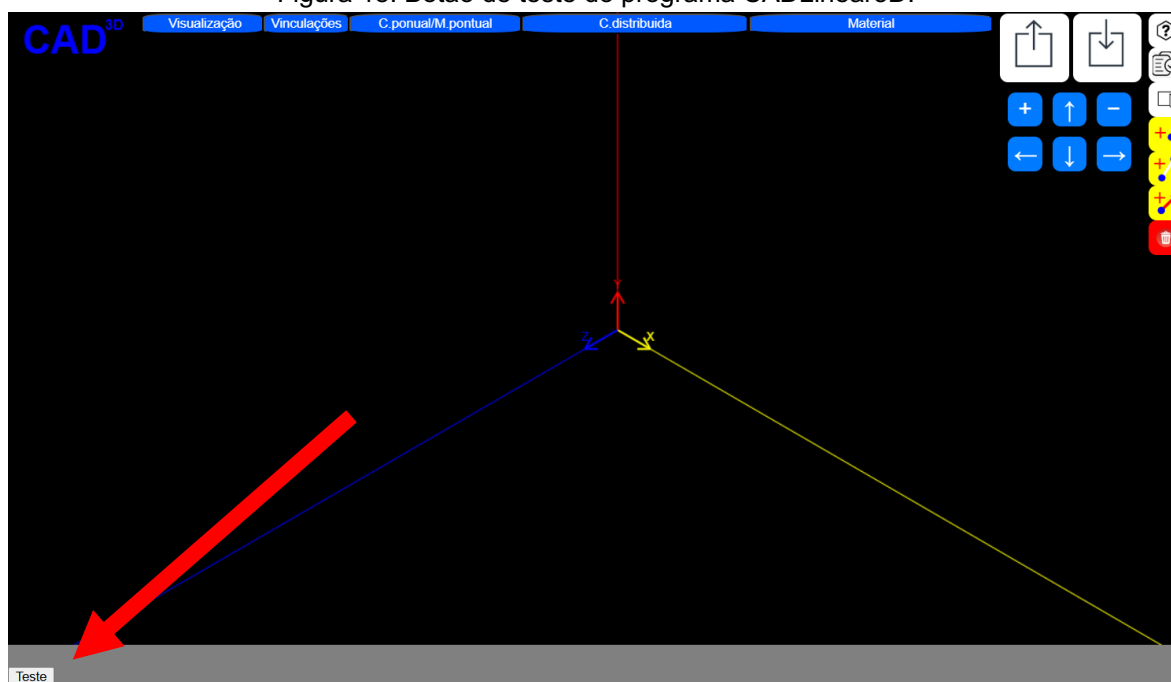
Figura 17: Trecho do arquivo Teste.js do programa CADLinear3D.

```
function saidateste(){  
    //fazerteste();  
}  
  
function fazerteste(){  
    bot19='<button onclick="testeV()">Teste</button>';  
    document.getElementById("dadoshtml19").innerHTML=bot19;  
}  
  
function testeV(){  
    alert(Ninerica[Nrigidez[3]]);  
}
```

Fonte: O próprio autor (2025).

- 4) Após salvar o arquivo e atualizar a página do programa, um novo botão aparecerá chamado “Teste” (Figura 18).

Figura 18: Botão de teste do programa CADLinear3D.

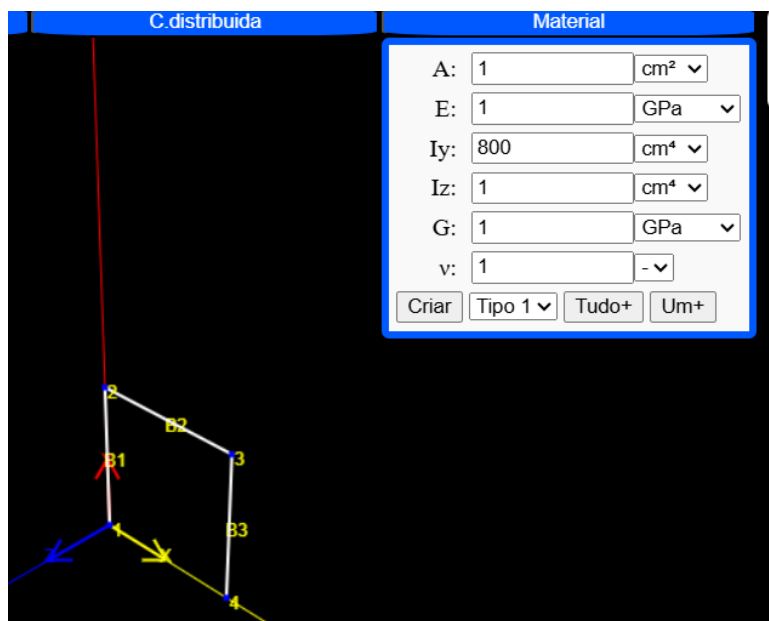


Fonte: O próprio autor (2025).

5) Para testar o valor de uma variável, colocá-la dentro do "alert" da função testeV() (Figura 17). Depois de salvar o arquivo, deve-se executar o programa, desenhar uma estrutura e clicar no botão "Teste".

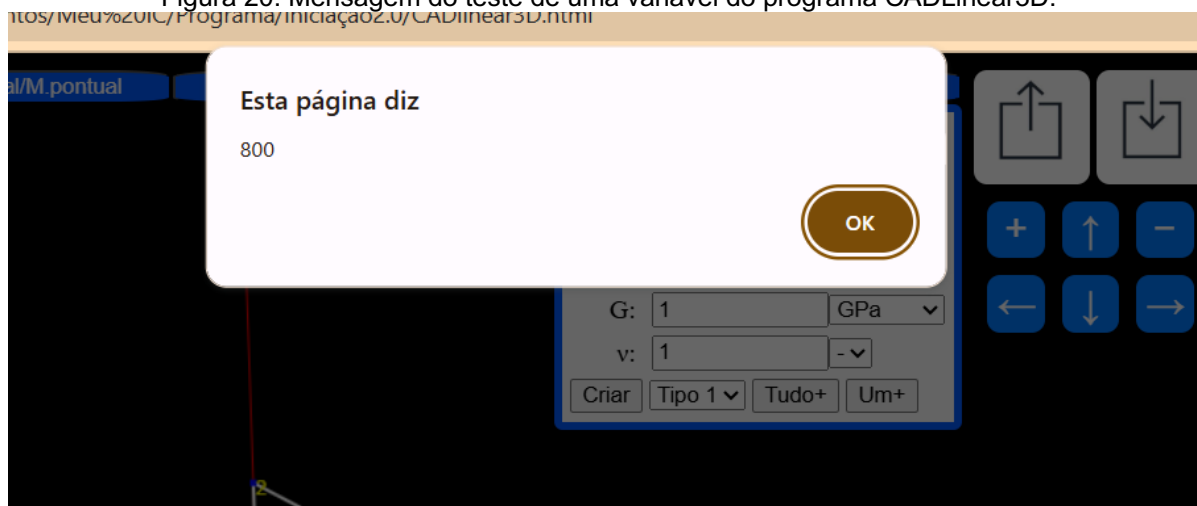
Como exemplo, tendo-se a estrutura da Figura 19, com I_y de 800 cm^4 atribuído à barra 3, a variável `Ninerica[Nrigidez[3]]` retorna 800. A mensagem do "alert" aparece como na Figura 20.

Figura 19: Exemplo de estrutura desenhada para teste de variáveis do programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

Figura 20: Mensagem do teste de uma variável do programa CADLinear3D.



Fonte: O próprio autor (2025).

CONCLUSÃO

A criação do ambiente para o desenho de estruturas tridimensionais, como pórticos espaciais, possibilitará a criação de futuros módulos para análises e dimensionamentos, que mostrarão relatórios de todos os cálculos, conforme premissa do grupo de pesquisa do qual este trabalho faz parte. Sua disponibilização *online* facilita o acesso para engenheiros, pesquisadores e estudantes, promovendo o avanço do conhecimento em engenharia civil. Além disso, o programa criado contribui na área de recursos educacionais abertos para o desenvolvimento de ferramentas mais eficientes e transparentes.

REFERÊNCIAS

MARTHA, Luiz Fernando. *Ftool: Two-dimensional Frame Analysis Tool. Versão básica 4.00.03*. Rio de Janeiro: Instituto Tecgraf/PUC-Rio, 2017. Ftool para Windows. Disponível em: <https://www.Ftool.com.br/Ftool/>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

REFSNES DATA (Noruega). *W3Schools: Site de desenvolvedores web, [S.l.]*, 1998. Disponível em <<http://www.w3schools.com/>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ROSA, Marcus Pizzetti; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. *DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE DE PÓRTICOS ESPACIAIS PELO MÉTODO DA RIGIDEZ COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Engenharia Civil. 2017*. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5581/1/MarcusPizzettiRosa.pdf> 23/08/2023. Acesso em: 05 mar. 2025.

SANTOS JUNIOR, L. J.; LOPES, A. J. F.; NIRSCHL, G. C. *Programa base CAD para a análise de estruturas lineares*. In: **CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSP, 7., 2016, Matão**. Anais[...]. Disponível em [//mto.ifsp.edu.br/images/CPI/Anais/IC/1720.pdf](http://mto.ifsp.edu.br/images/CPI/Anais/IC/1720.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2025.