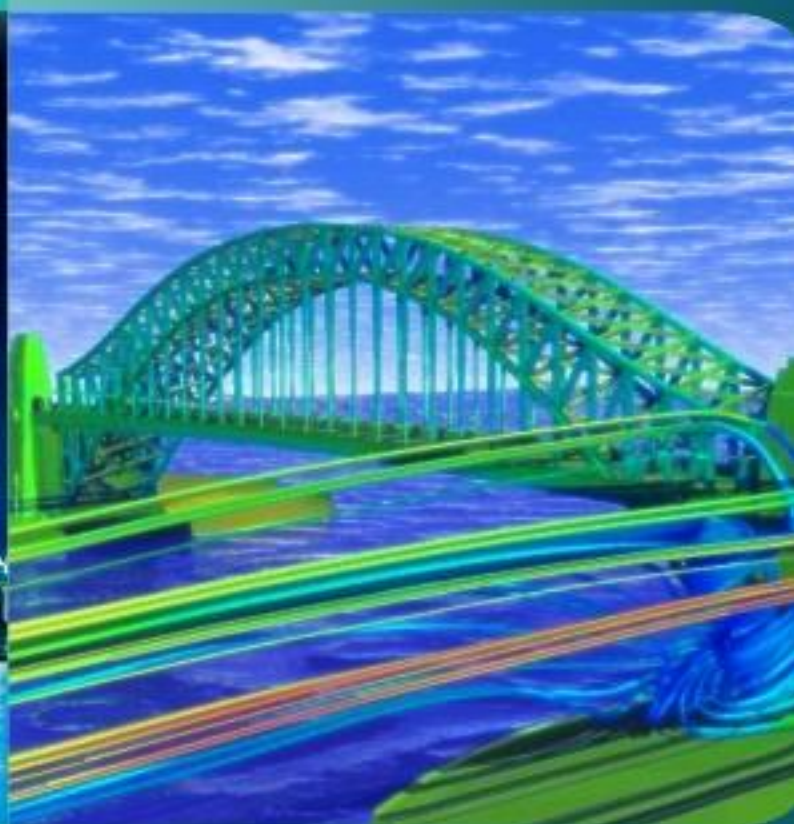




2010

Método dos Elementos Finitos Aplicados à Engenharia de Estruturas



Prof^a. Mildred B. Hecke
Universidade Federal do Paraná
Versão 1.0.0.0



TRELIÇA COMPOSTA POR 22 NÓS E 41 BARRAS – ERRO NO DIMENSIONAMENTO DE TRELIÇAS – COBERTURA DO GALPÃO DE CASCAVEL

TRELIÇA COMPOSTA POR 22 NÓS E 41 BARRAS – ERRO NO DIMENSIONAMENTO DE TRELIÇAS – COBERTURA DO GALPÃO DE CASCAVEL

INTRODUÇÃO

Pretende-se, neste exemplo, analisar a treliça da cobertura objeto da foto abaixo.



Foto 1 – Cobertura – Geometria da treliça a ser analisada.

Segundo o projeto, a cobertura deveria ser composta por 2 vãos cujas dimensões estão esquematizadas na figura 1. Algumas barras apresentam o fenômeno de flambagem. Houve erro de dimensionamento e execução, o que ocasionou o acidente acima.

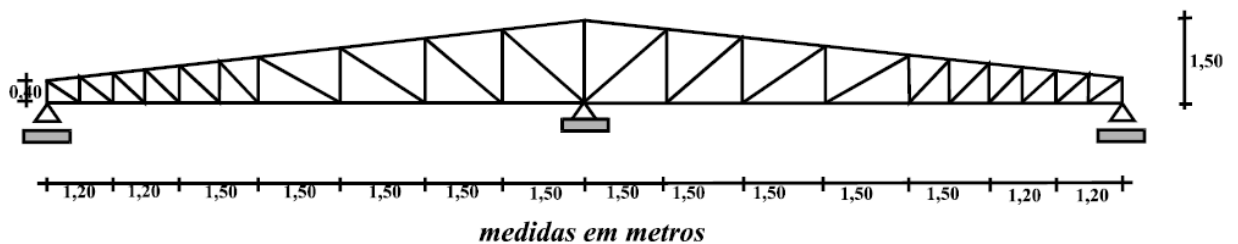


Figura 1 – Esquema da cobertura a ser analisada.

No presente exemplo, analisaremos duas situações, visando tentar compreender o erro de dimensionamento cometido pelo projetista. Inicialmente vamos supor que a cobertura é composta por um único vão, conforme esquematizado na figura 2.

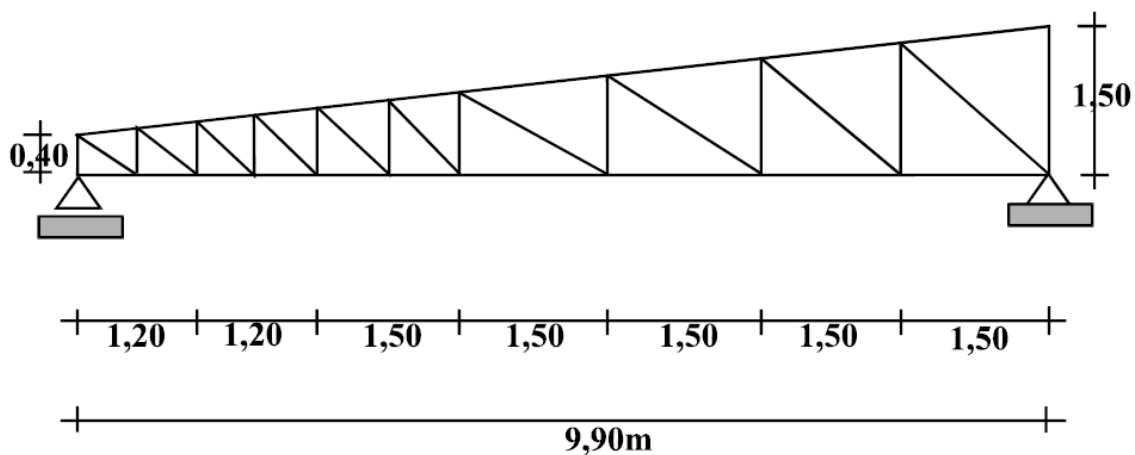


Figura 2 – Situação 1 – Cobertura com um único vão.

Em seguida, analisaremos a situação com dois vãos, como mostrado na figura 1. Levando-se em conta a simetria, substituiremos a estrutura simétrica pelo apoio adequado, conforme mostra a figura 3. Além disso, a carga e a área da seção de simetria serão devidamente consideradas.

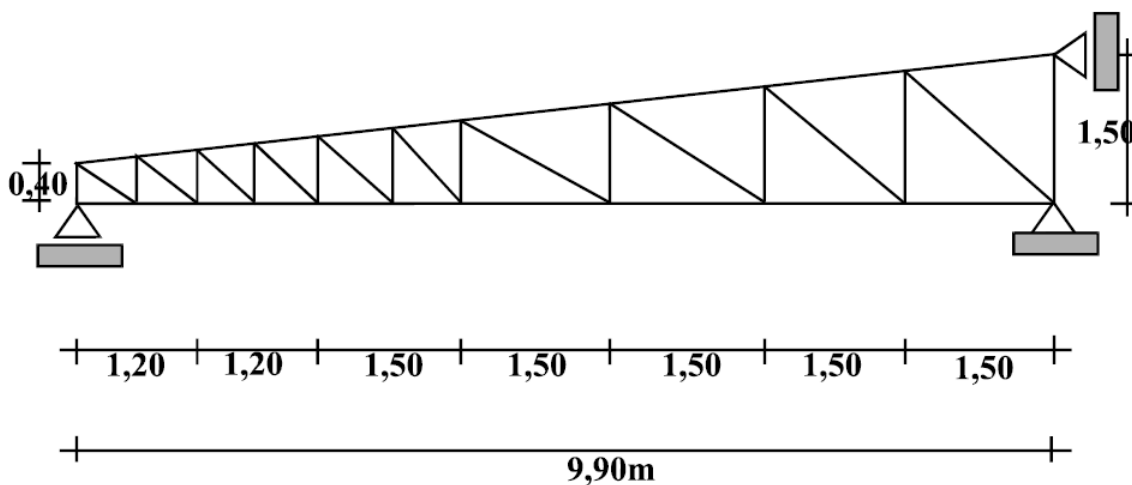


Figura 3 – Situação 2 – Estrutura simétrica com dois vãos.

A seguir, mostra-se nas figuras 4, 5 e 6, o esquema de carregamento e a malha de elementos finitos, com a numeração dos nós e elementos.

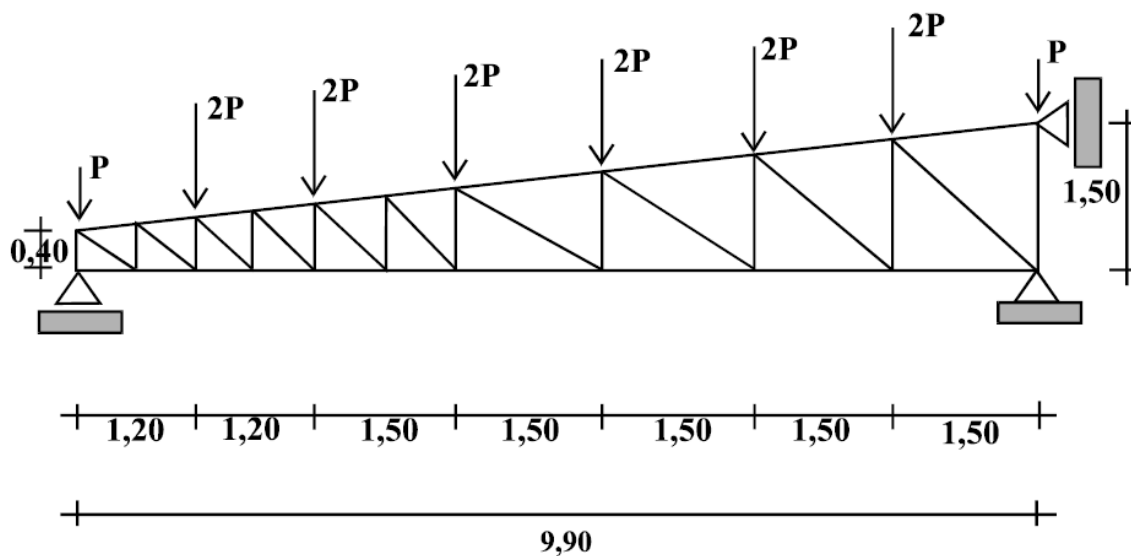


Figura 4 – Esquema de carregamento. $P = -108,66 \text{ Kgf}$.

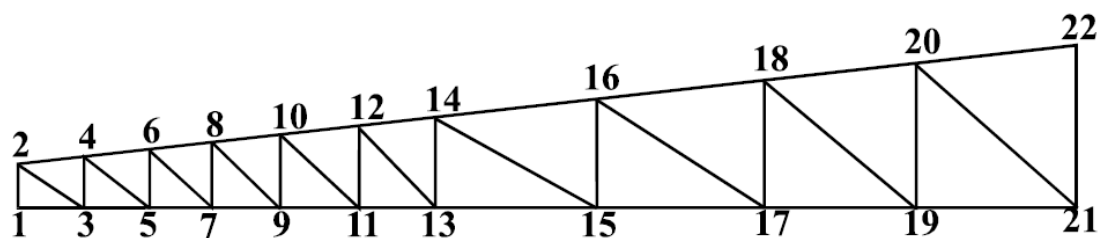


Figura 5 – Numeração dos nós.

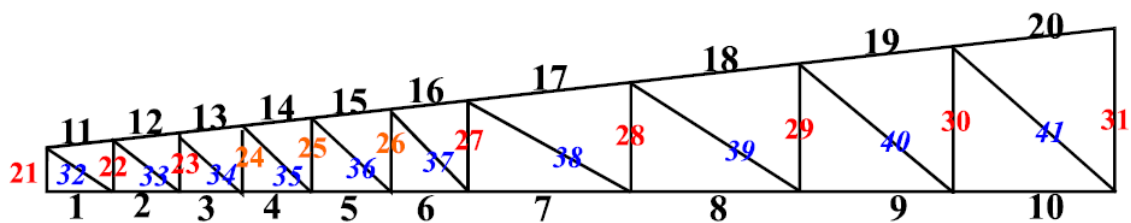


Figura 6 – Numeração dos elementos.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

- Área da seção transversal das barras que compõe o banzo inferior e o banzo superior: $6.78 \text{ cm}^2 = 0.000678 \text{ m}^2$.
- Área da seção transversal das barras inclinadas (montantes) (perfil $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 3/16$): $3.42 \text{ cm}^2 = 0.000342 \text{ m}^2$.

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

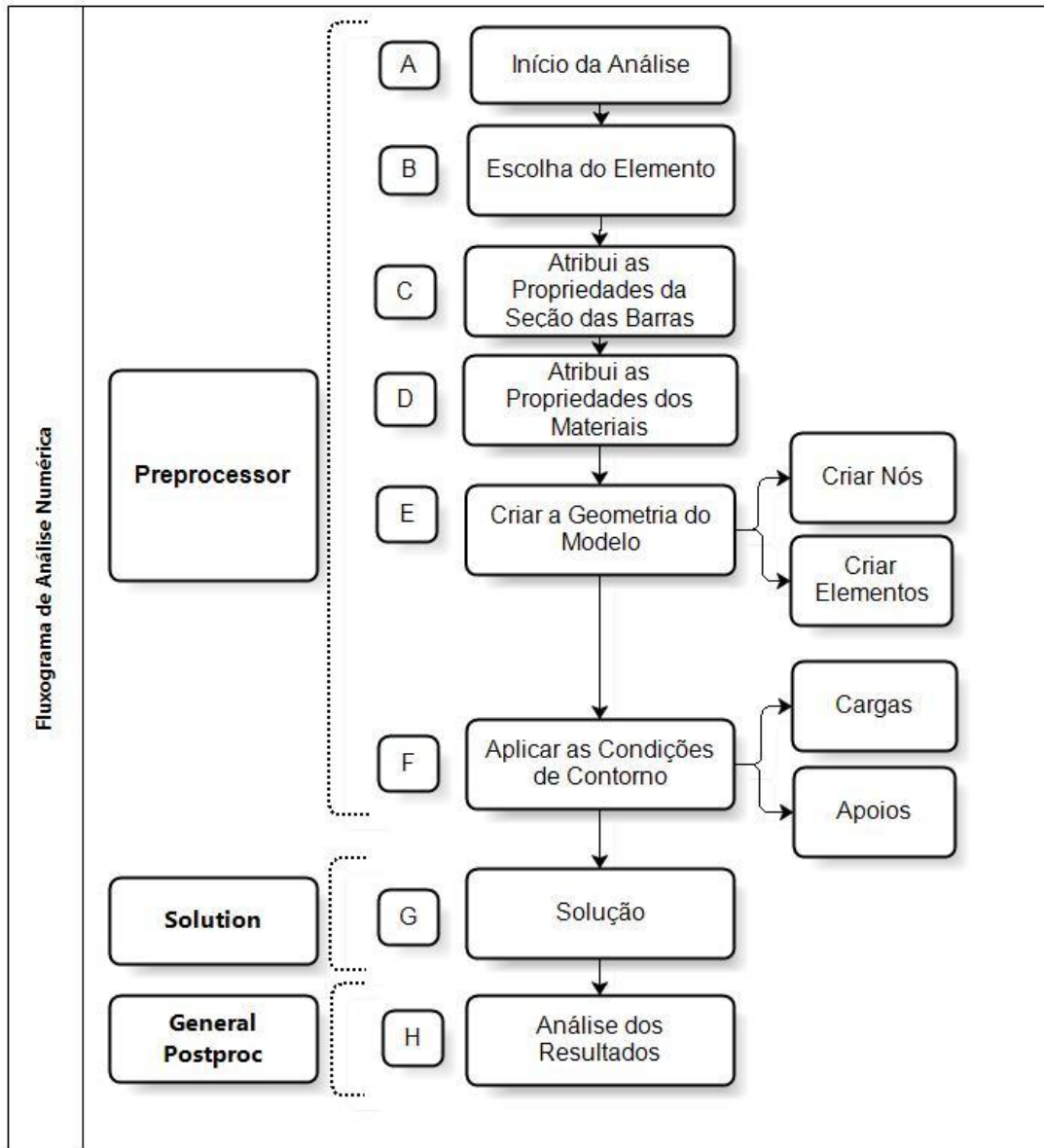
- Módulo de elasticidade do material das barras: $2.1\text{E}6 \text{ Kgf/cm}^2 = 2.1\text{E}10 \text{ Kgf/m}^2$.

CARGA

- Carga aplicada: $P = 108,66 \text{ Kgf}$

RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma:



A

1. INÍCIO DA ANÁLISE

1.1. *Introduz o título do problema a ser resolvido:*

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Title...”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, digitar novo título: “**Cobertura do acidente Cascavel**”;
- ✓ Clicar em OK.

1.2. *Altera o nome dos arquivos:*

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Jobname...”;
 - Na nova janela que aparecer, digitar novo nome do arquivo: “**Cascavel**”;
- ✓ Clicar em OK.

1.3. *Escolhe o tipo de análise que se pretende executar, visando filtrar comandos a serem apresentados na telas de entrada:*

- ✓ No ANSYS Main Menu clicar em “Preferences”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, em “Discipline for filtering GUI Topics”, selecionar a opção “Structural”;
- ✓ Clicar em OK.

2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor”.

B

2.1. *Escolhe o tipo de elemento finito que será usado:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Element Type”;
- ✓ Dentro do “Element Type”, selecionar “ Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento “Link”, “2D spar 1” e clicar em OK.

C

2.2. *Define as constantes geométricas da seção das barras que compõe o modelo:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar uma nova área de seção transversal;

- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 1
 - Cross-sectional Area AREA = **0.000678**
- ✓ Clicar em “Apply”.
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 2
 - Cross-sectional Area AREA = **0.000342**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Verificar na janela “Real Constants” se as duas constantes de seção geométrica, “Set 1” (referente as barras que compõe o banzo inferior e o banzo superior) e “Set 2” (referente as barras que compõe os montantes) foram criadas;
- ✓ Clicar em “CLOSE”.

D

2.3. *Define as propriedades do material que compõe as barras:*

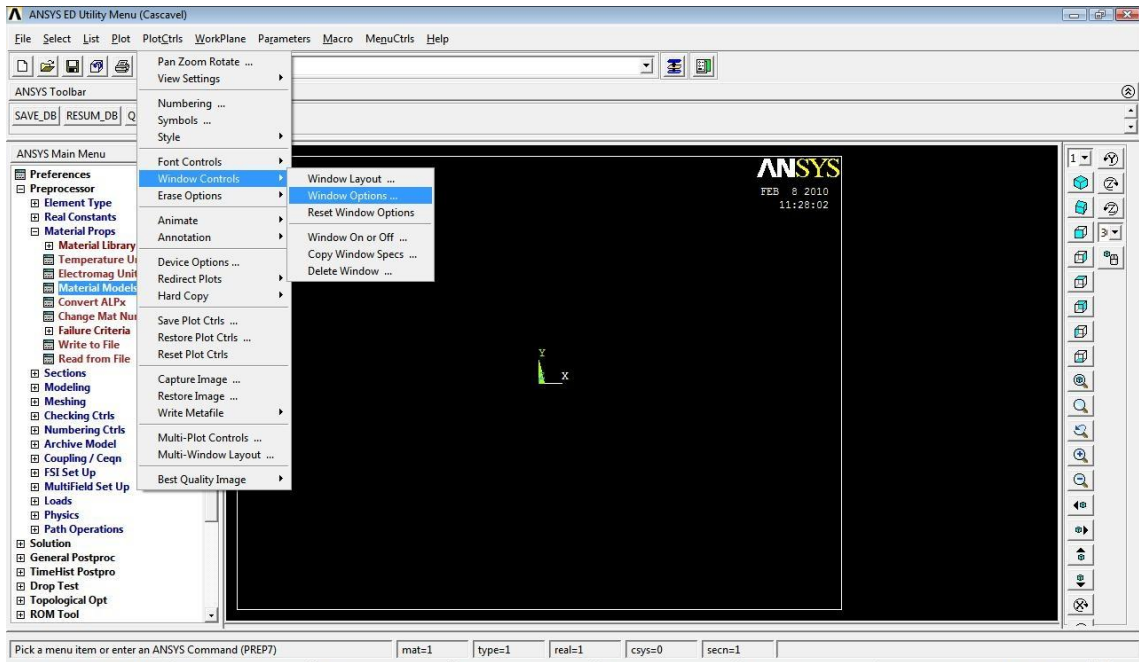
- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Material Props”;
- ✓ Dentro do “Material Props”, selecionar “Material Models”;
- ✓ Na nova janela que abrir, para o “Material Model Number 1”, no quadro “Material Models Available” selecionar:
“Structural>Linear>Elastic>Isotropic”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
- ✓ A janela “Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 ira abrir. Inserir na lacuna “EX” o valor referente ao Módulo de Elasticidade do material e clicar em “OK”:
 - EX = **2.1E10**;
- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.

E

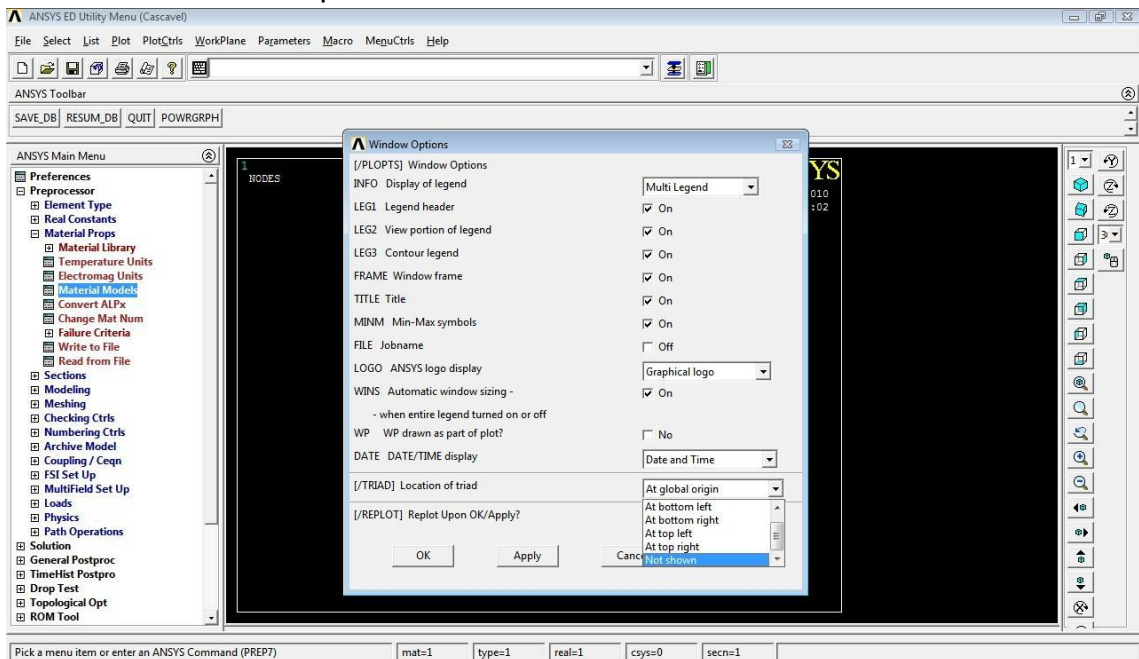
2.4. *Cria o modelo geométrico:*

2.4.1. *Numera nós e elementos:*

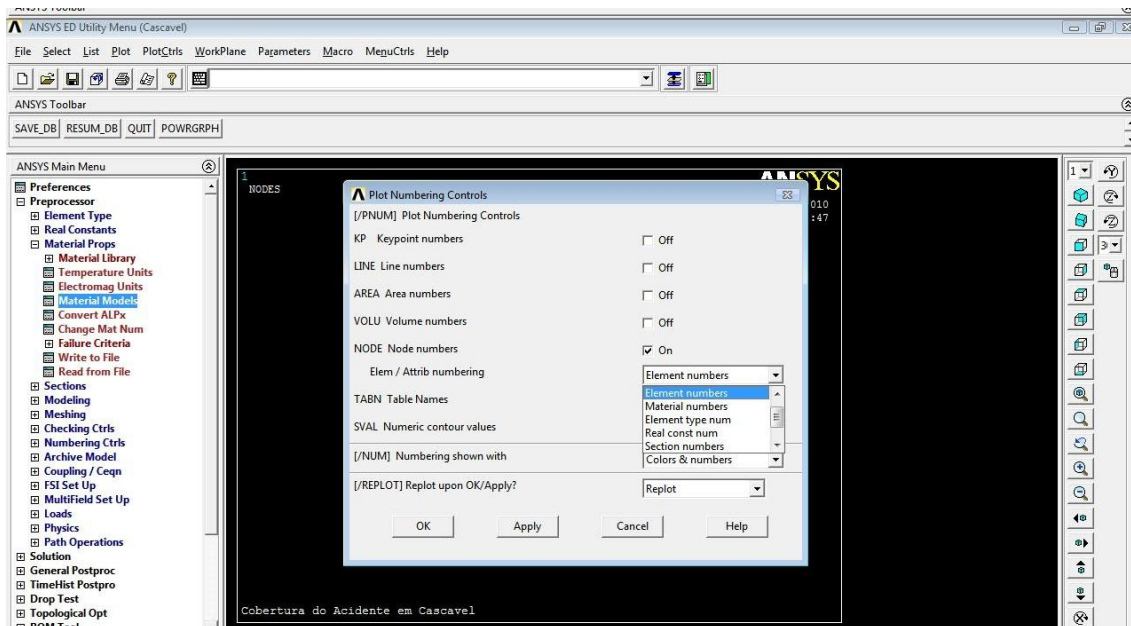
- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls”, “Windows Controls”, “Windows Options”;



- ✓ Na nova janela que aparecer selecionar em:
 - [/TRIAD] Location of triad : “Not shown;”
- ✓ Clicar em “OK” para confirmar.



- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls” e acessar a opção “Numbering”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, selecionar:
 - NODE Node Numbers ON
 - Elem-Attrib numbering Element Numbers
- ✓ Clicar em “OK”.

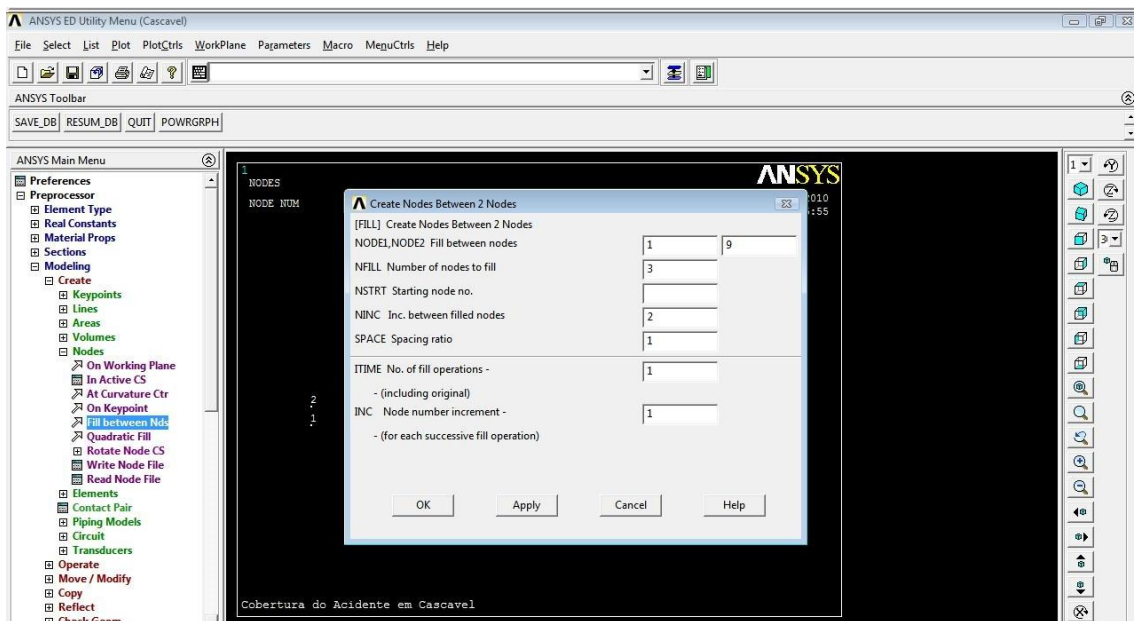


2.4.2. Cria os nós que compõe a malha de elementos finitos no sistema de coordenadas ativo:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Na nova janela que abrir, inserir um número para o nó que será criado em “NODE Node Number” e as coordenadas X,Y e Z (no caso de estar trabalhando com um modelo 2D, utiliza-se apenas as coordenadas X e Y);
- ✓ Para criar o primeiro nó:
 - NODE Node Number : **1;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0 Y = 0;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **9;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 2.4 Y = 0;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **12;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3.9 Y = 0;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **21;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 9.9 Y = 0;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **2;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0 Y = 0.4;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;

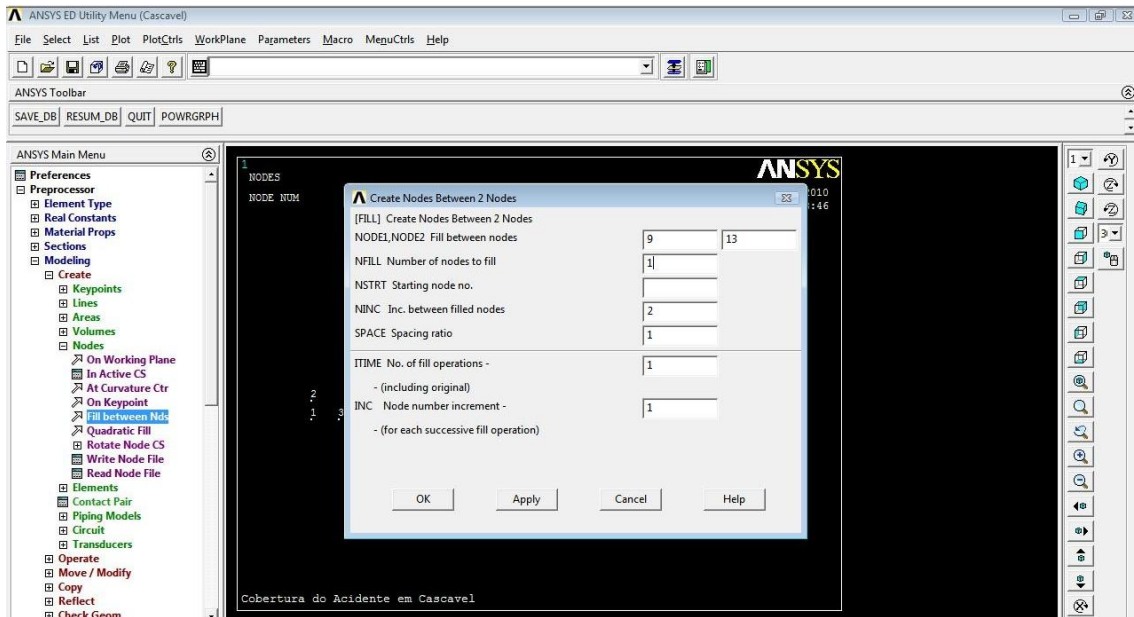
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **10;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 2.4 Y = 0.66666;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **14;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3.9 Y = 0.83333;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **22;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 9.9 Y = 1.5;**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 1 e 9 anteriormente criados, e clicar em “APPLY”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3;**
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2;**
- ✓ Clicar em “APPLY” e os nós 3, 5 e 7 serão criados entre os nós 1 e 9.



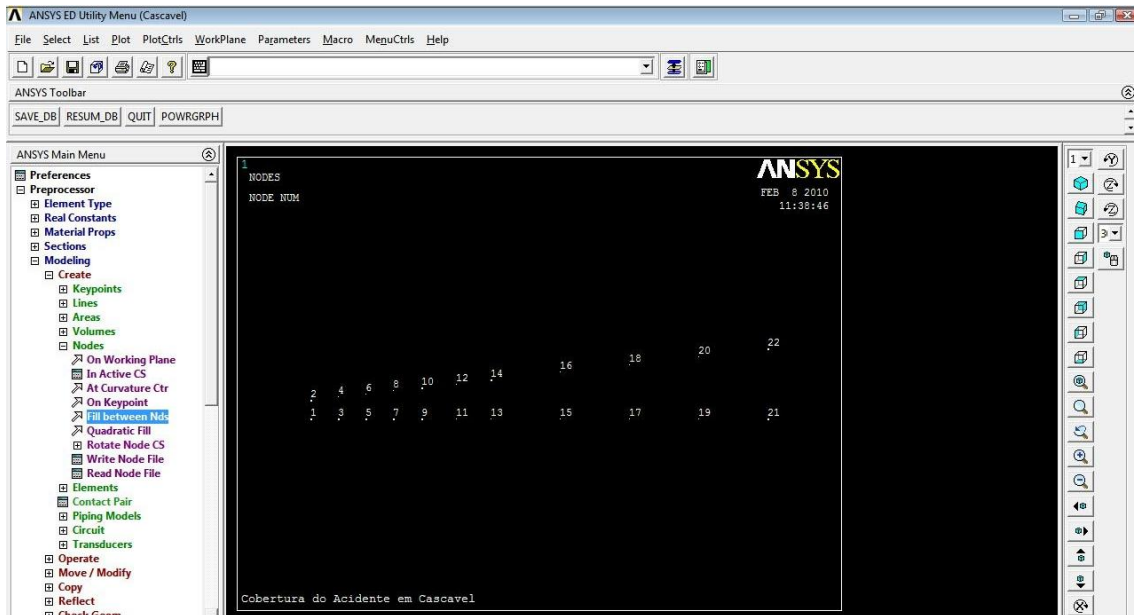
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 9 e 13 anteriormente criados, e clicar em “APPLY”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **1;**
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2;**

- ✓ Clicar em “APPLY” e o nó 11 será criado entre os nós 9 e 13.



- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 13 e 21 anteriormente criados, e clicar em “APPLY”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
- ✓ Clicar em “APPLY” e os nós 15, 17 e 19 serão criados entre os nós 13 e 21.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 2 e 10 anteriormente criados, e clicar em “APPLY”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
- ✓ Clicar em “APPLY” e os nós 4, 6 e 8 serão criados entre os nós 2 e 10.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 10 e 14 anteriormente criados, e clicar em “APPLY”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **1**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
- ✓ Clicar em “APPLY” e o nó 12 será criado entre os nós 10 e 14.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 14 e 22 anteriormente criados, e clicar em “OK”;

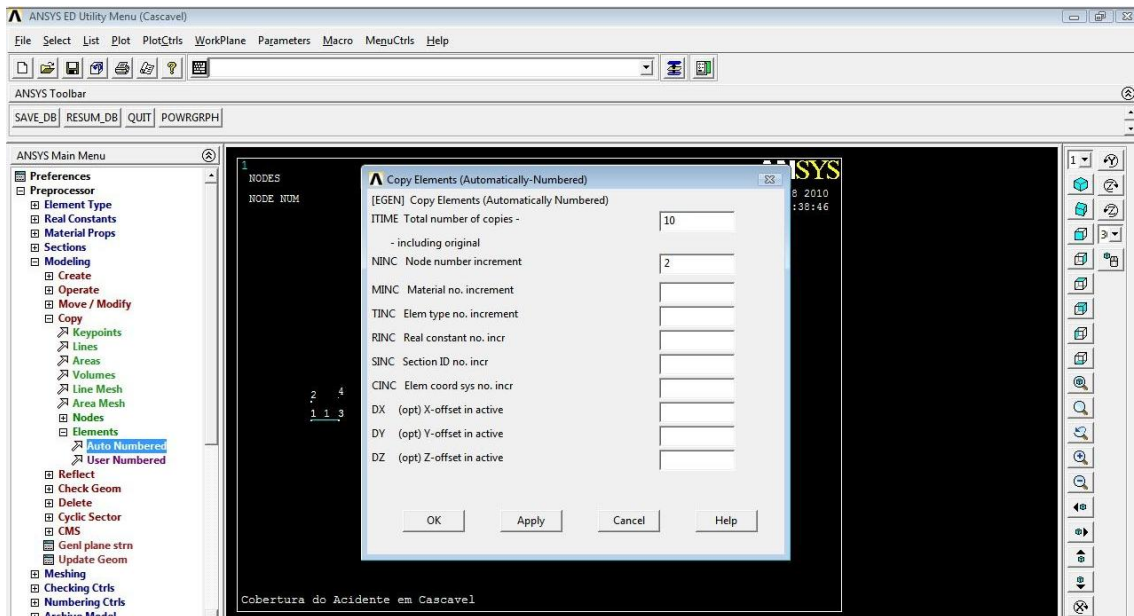
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
- ✓ Clicar em “OK” e os nós 16, 18 e 20 serão criados entre os nós 14 e 22.



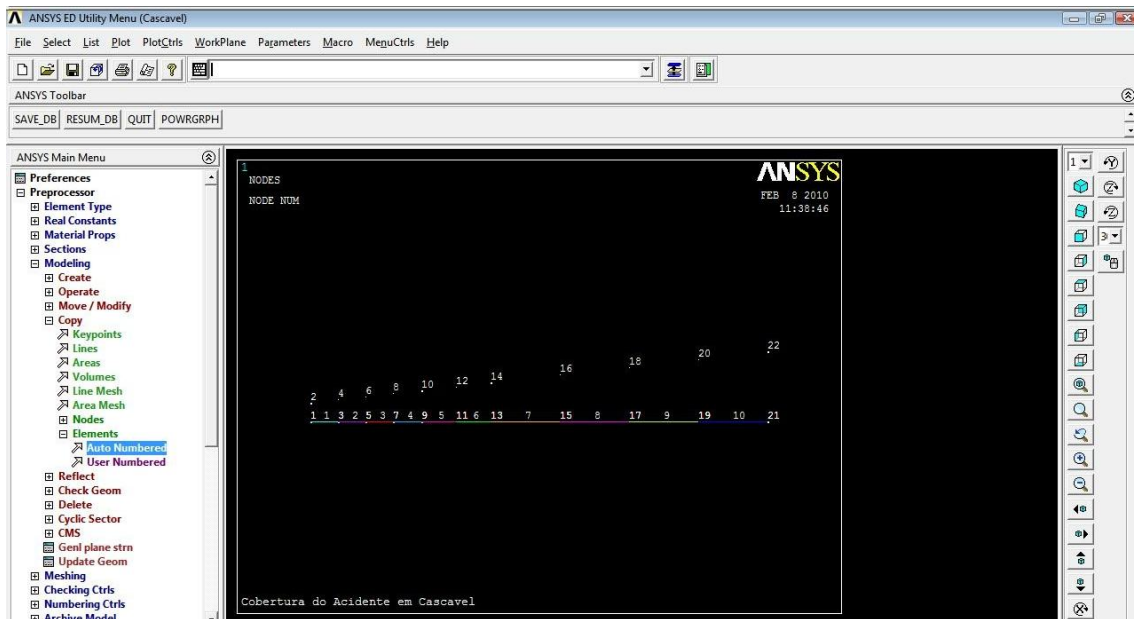
2.4.3. Cria os elementos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para selecionar qual dos atributos definidos serão introduzidos nos elementos a serem criados:
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **1**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos que compõe o banço inferior da treliça: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 1 e 3 e clicar em “APPLY” (então o elemento “1” será criado entre os nós 1 e 3);
- ✓ O próximo passo é gerar os elementos de 2 a 10 através do comando de geração;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Copy”, “Elements”, “Auto Numbered”;
- ✓ Na nova janela, clicar em “PICK ALL” (que seleciona todos os elementos preexistentes, ou no caso, apenas o elemento 1).

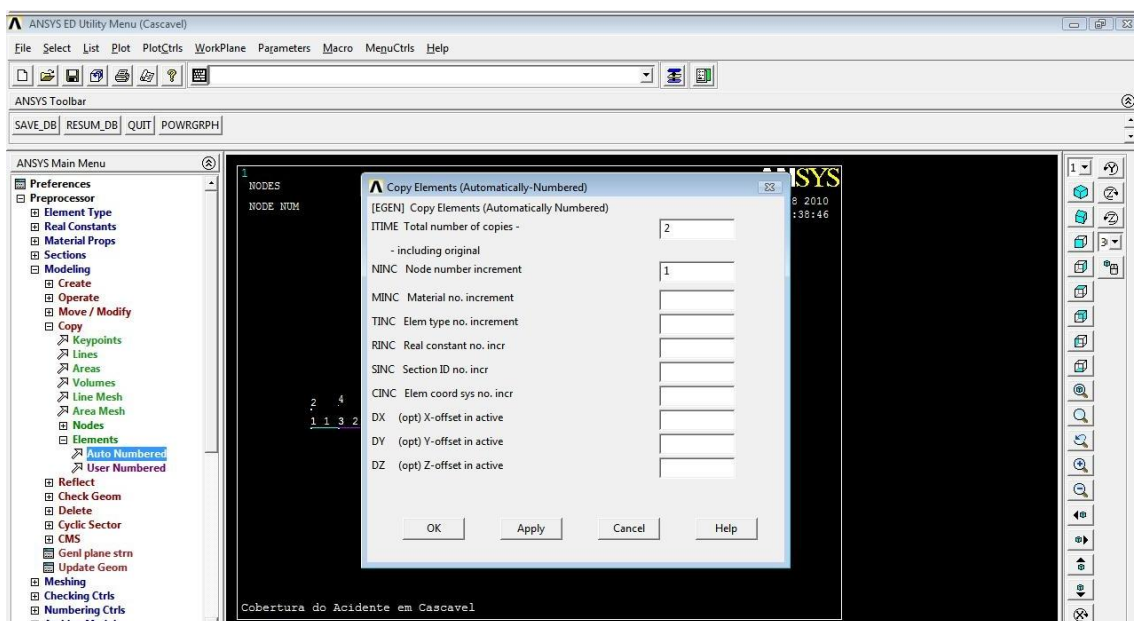
- ✓ Na nova janela [EGEN], que copia os elementos, numerando-os:
 - ITIME = **10** (número total de cópias, incluindo o modelos (elemento 1));
 - NINC = **2** (incremento no número do nó);



- ✓ Clicar em “OK”, o que gerará:
 - Elemento 2 entre os nós 3 e 5;
 - Elemento 3 entre os nós 5 e 7;
 - Elemento 4 entre os nós 7 e 9;
 - Elemento 5 entre os nós 9 e 11;
 - Elemento 6 entre os nós 11 e 13;
 - Elemento 7 entre os nós 13 e 15;
 - Elemento 8 entre os nós 15 e 17;
 - Elemento 9 entre os nós 17 e 19;
 - Elemento 10 entre os nós 19 e 21;

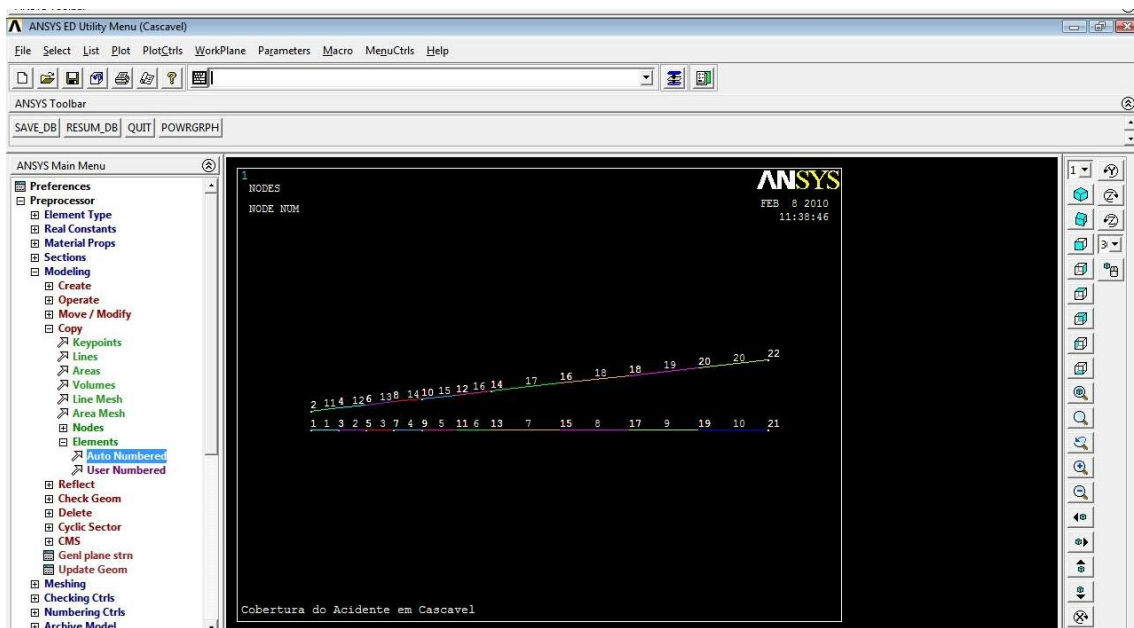


- ✓ O próximo passo é gerar os elementos de 11 a 20 (banzo superior da treliça) através do comando de geração;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Copy”, “Elements”, “Auto Numbered”;
- ✓ Na nova janela, clicar em “PICK ALL” (que seleciona todos os elementos preexistentes, ou no caso, os elemento 1 a 10).
- ✓ Na nova janela [EGEN], que copia os elementos, numerando-os:
 - $ITIME = 2$ (número total de cópias, incluindo o modelos (conjuntos “1 a 10” e “2 a 1”));
 - $NINC = 1$ (incremento no número do nó);



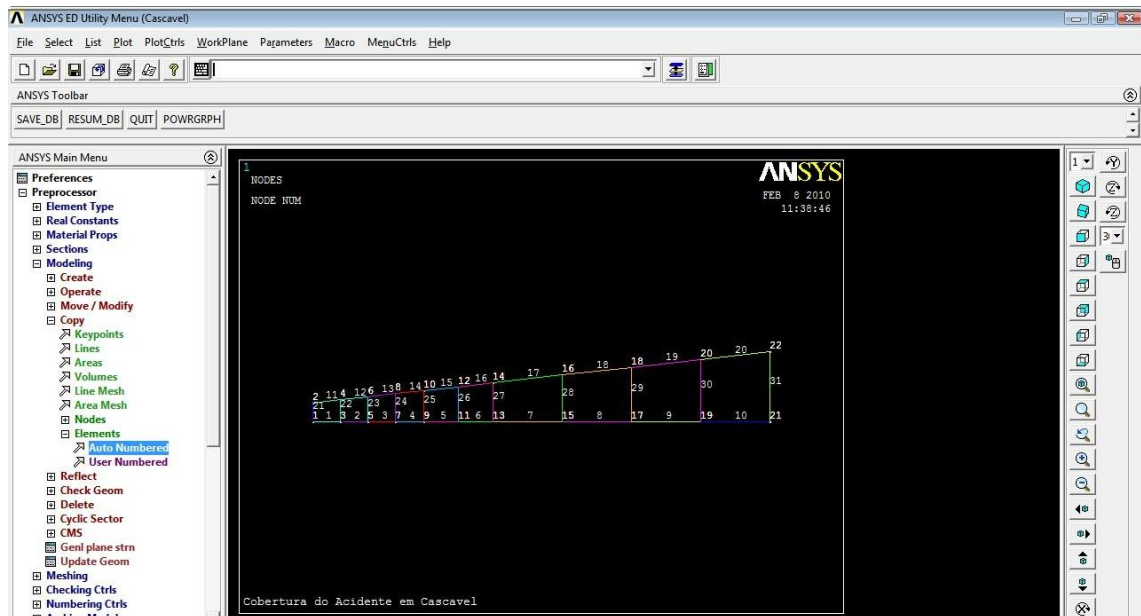
- ✓ Clicar em “OK”, o que gerará:

- Elemento 11 entre os nós 2 e 4;
- Elemento 12 entre os nós 4 e 6;
- Elemento 13 entre os nós 6 e 8;
- Elemento 14 entre os nós 8 e 10;
- Elemento 15 entre os nós 10 e 12;
- Elemento 16 entre os nós 12 e 14;
- Elemento 17 entre os nós 14 e 16;
- Elemento 18 entre os nós 18 e 18;
- Elemento 19 entre os nós 18 e 20;
- Elemento 20 entre os nós 20 e 22;

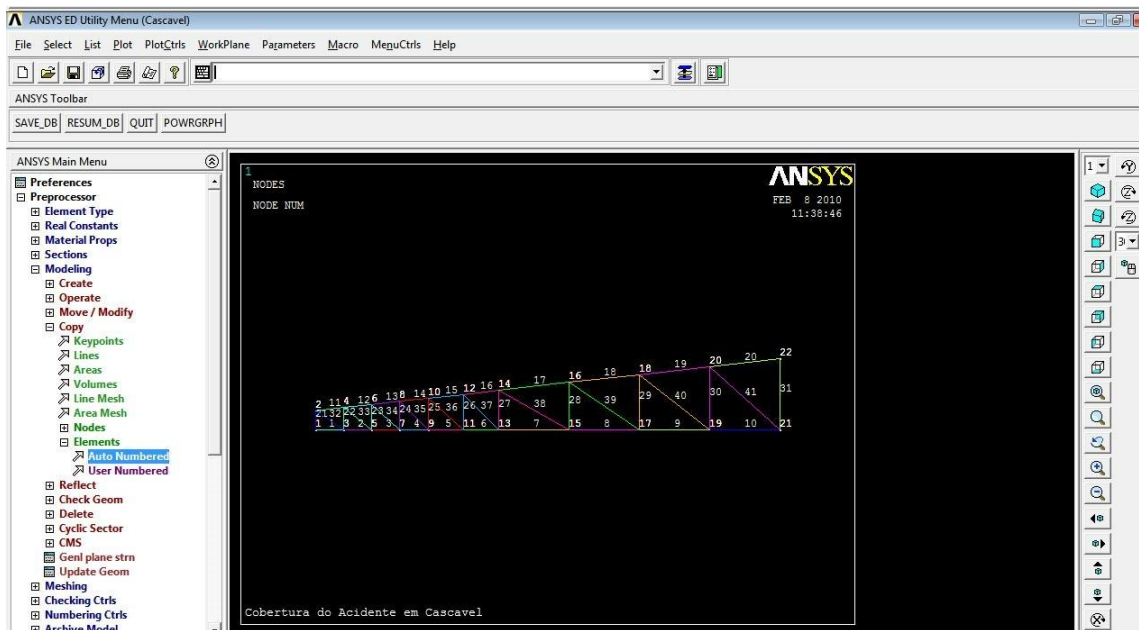


- ✓ Dessa forma, os elementos que compõe o banzo inferior e o banzo superior da treliça estarão prontos;
- ✓ Antes de criar os montantes, devem-se alterar as propriedades dos elementos, de acordo com propriedades definidas para os montantes;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes”;
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos que compõe os montantes da treliça: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Apontar os nós 1 e 2 e clicar em “OK”;

- ✓ O próximo passo é gerar os elementos de 22 a 31 (montantes) através do comando de geração;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Copy”, “Elements”, “Auto Numbered”;
- ✓ Na nova janela, apontar o elemento 21 e clicar em “OK”.
- ✓ Na nova janela [EGEN], que copia os elementos, numerando-os:
 - ITIME = **11** (número total de cópias, incluindo o modelos);
 - NINC = **2** (incremento no número do nó);
- ✓ Clicar em “OK”, criando-se assim os elementos 22 a 31.



- ✓ Apontar os nós 2 e 3 e clicar em “OK” para criar o elemento 32;
- ✓ Para gerar os elementos de 33 a 41 (montantes) através do comando de geração, clicar:
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Copy”, “Elements”, “Auto Numbered”;
- ✓ Na nova janela, apontar o elemento 32 e clicar em “OK”.
- ✓ Na nova janela [EGEN], que copia os elementos, numerando-os:
 - ITIME = **10** (número total de cópias, incluindo o modelos);
 - NINC = **2** (incremento no número do nó);
- ✓ Clicar em “OK”, criando-se assim os elementos 33 a 41.
- ✓ A geometria da treliça está pronta.



F

2.5. Aplicar as condições de contorno:

2.5.1. Aplicar apoios para o primeiro step de carga:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar o nó 1 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “UY” (irá restringir o movimento do nó 1 na direção de Y) e clicar em “APPLY”;
- ✓ Da mesma forma, apontar o nó 21 e clicar em “OK”;
- ✓ Na outra janela selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “ALL DOF” (irá restringir o movimento do nó 21 em todas as direções) e clicar em “OK”;

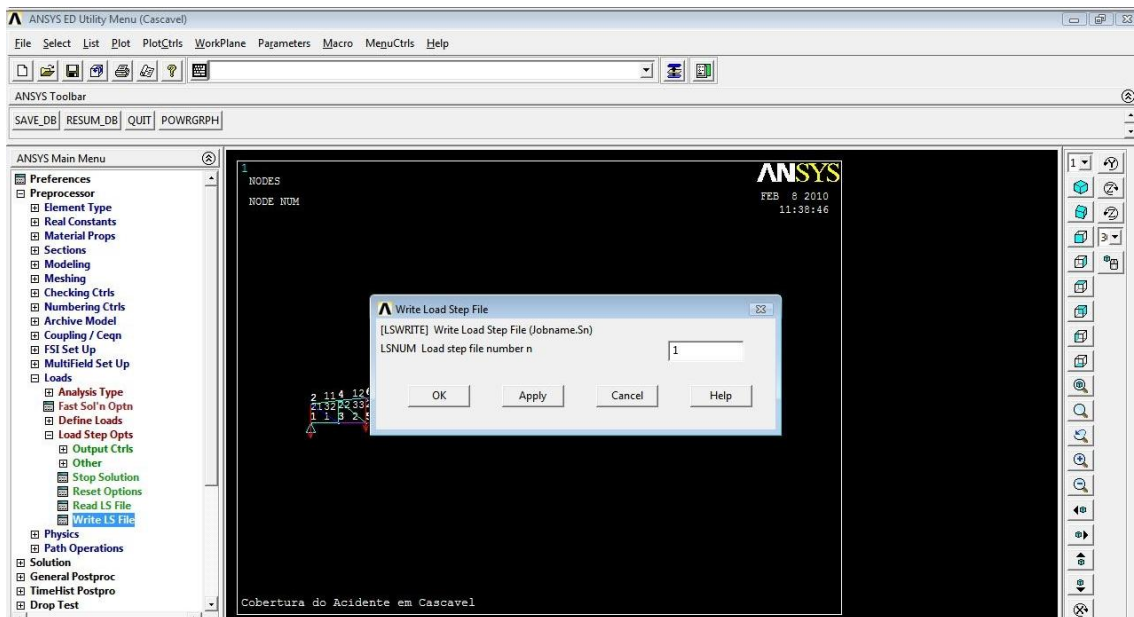
2.5.2. Aplicar as cargas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os nós 2 e 22 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-108.66**
- ✓ Clicar em “APPLY”.
- ✓ Apontar os nós 6, 10, 14, 16, 18 e 20 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-217.32**

- ✓ Clicar em “OK”.

2.5.3. Salvando o primeiro step de carga:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **1**
- ✓ Clicar em “OK” e terá salvo o primeiro step de carga;



2.5.4. Aplicar apoios para o segundo step de carga (as cargas continuam as mesmas do step anterior):

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar o nó 22 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “UX” (irá restringir o movimento do nó 22 na direção de X) e clicar em “OK”;

2.5.5. Salvando o segundo step de carga:

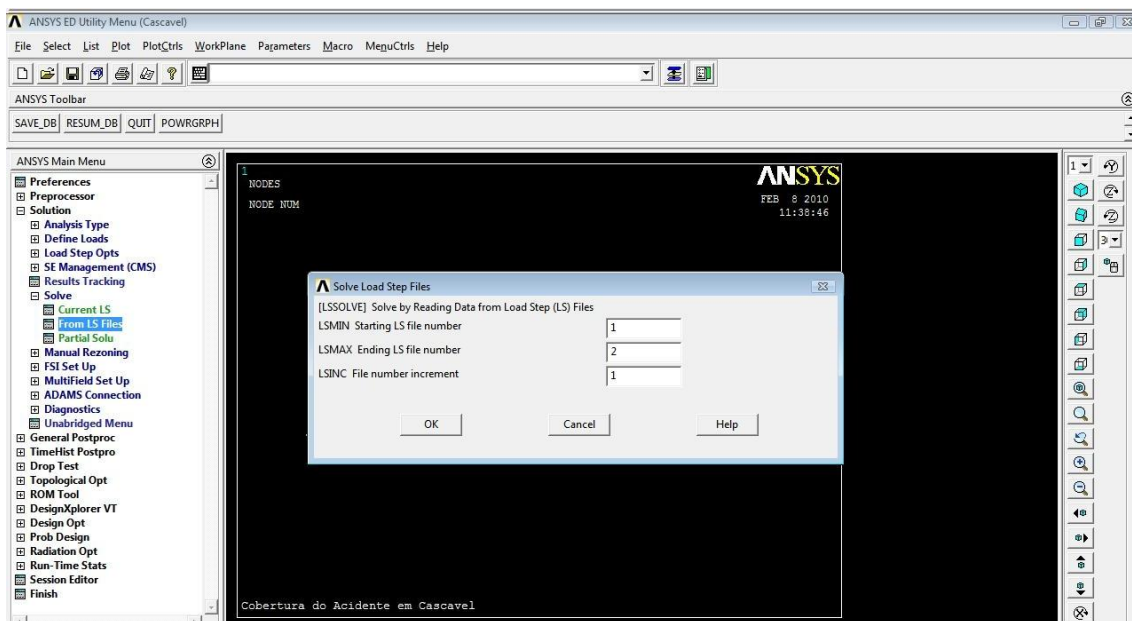
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o segundo STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **2**
- ✓ Clicar em “OK”;

2.5.6. Salvando dados no arquivo Cascavel.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

3. SOLUÇÃO

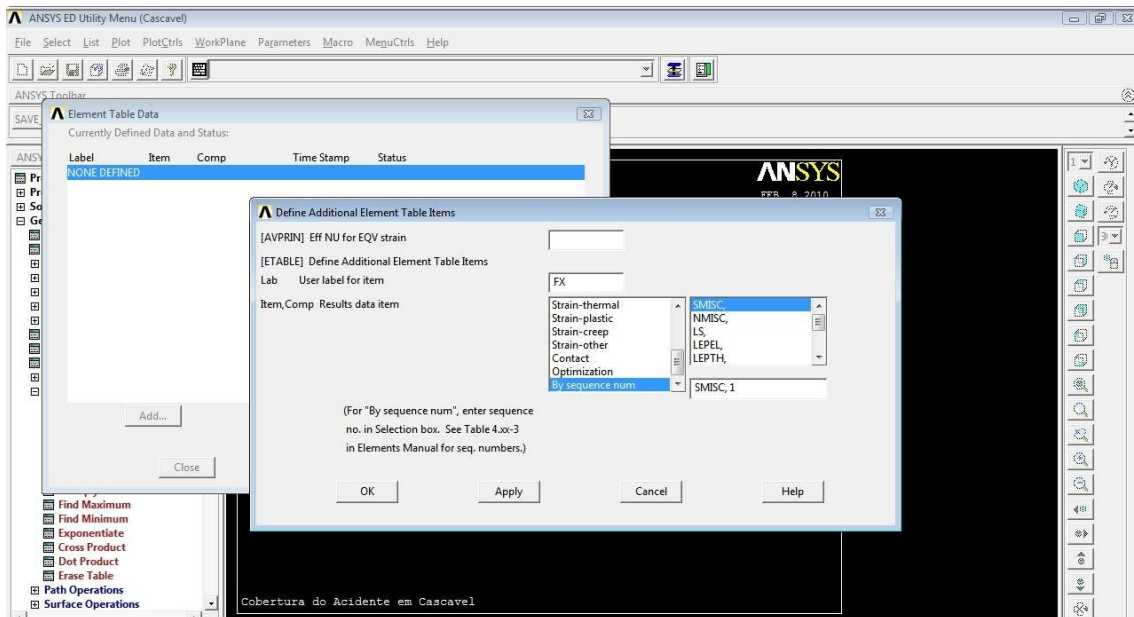
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “From LS Files” para resolver lendo os dados dos arquivos LS;
- ✓ Na janela “Solve Load Step Files” inserir:
 - LSMIN **1**
 - LSMAX **2**
 - LSINC **1**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.



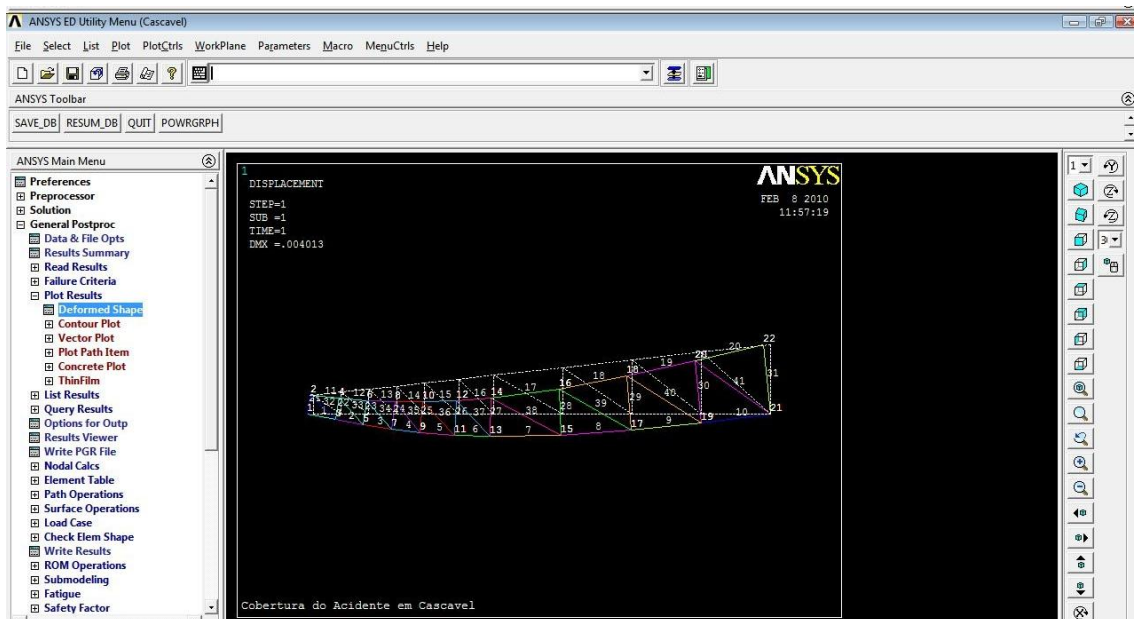
4. PÓS PROCESSAMENTO

4.1. Gera, lista e plota os resultados para o primeiro caso de carga:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para recuperar, plotar e listar os resultados para o primeiro STEP de carga;
- ✓ Então, ainda dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **FX**
 - Item, comp **By sequence number** **SMISC**
SMISC,1
- ✓ Clicar em “OK” (Define itens adicionais para a tabela de resultados).
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.

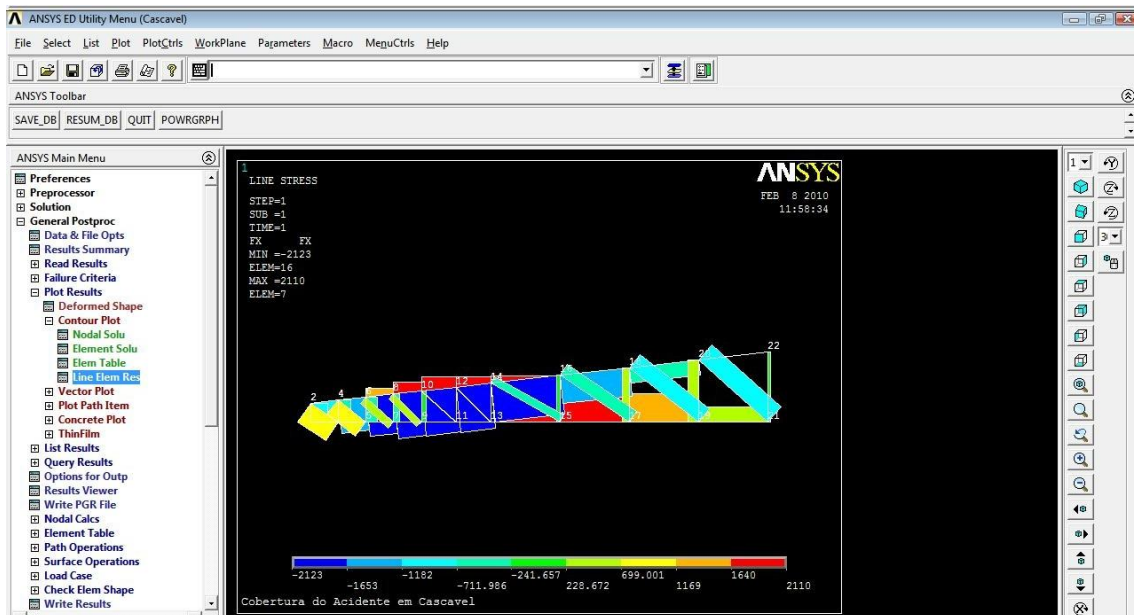


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results”, selecionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;

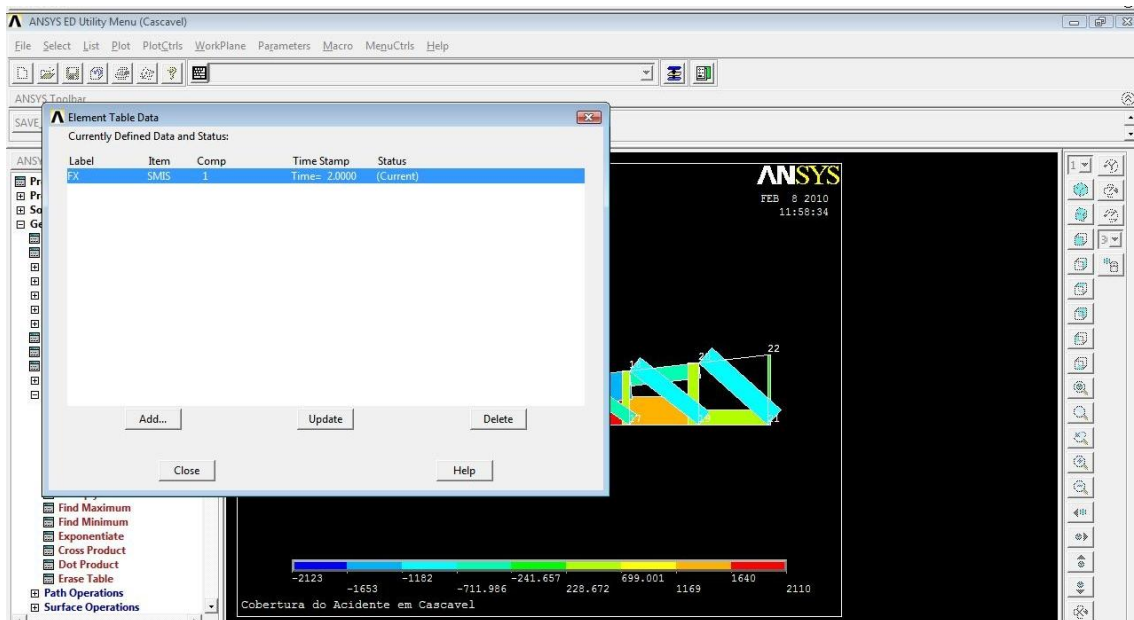


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp DOF solution All U's UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab All Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, seleccionar:
 - Lab 1-9 FX
- ✓ Clicar em “OK”.

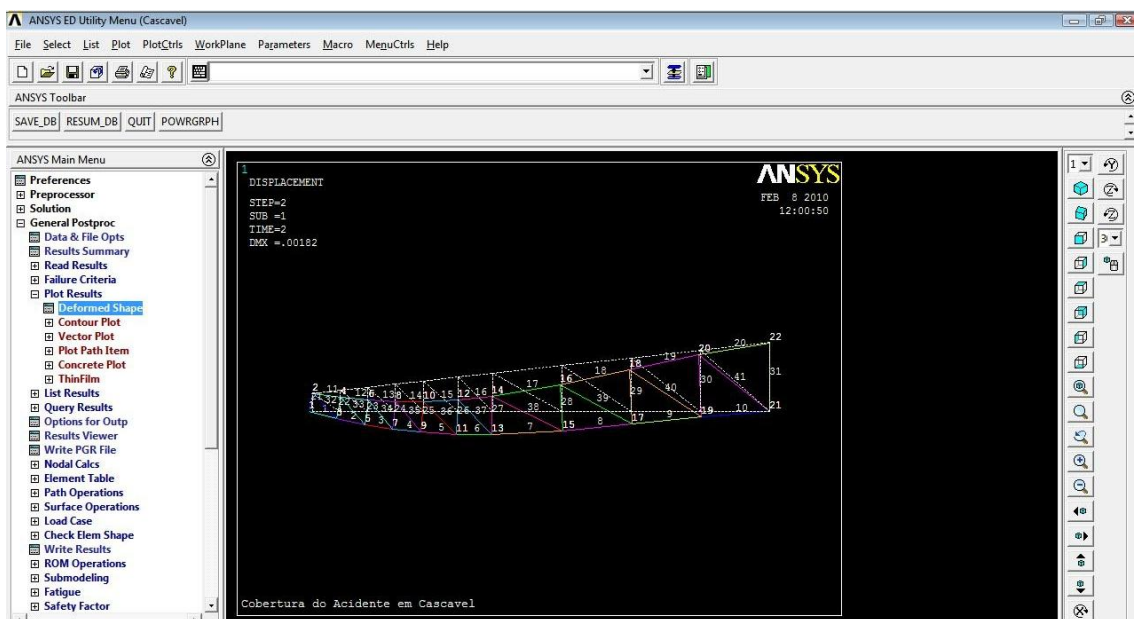
4.2. Gera, lista e plota os resultados para o segundo caso de carga:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para recuperar, plotar e listar os resultados para o segundo STEP de carga;

- ✓ Então, ainda dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Update” (atualizará a tabela para o segundo step de carga);
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.

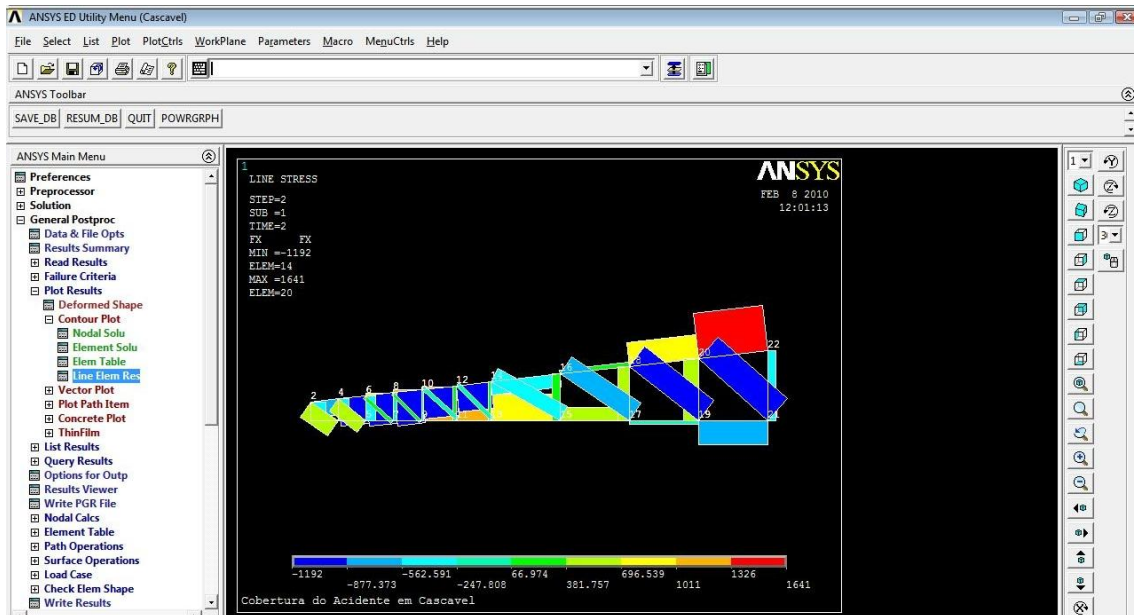


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;

- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results, selecionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp DOF solution All U's UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab All Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, selecionar:
 - Lab 1-9 **FX**
- ✓ Clicar em “OK”.

5.0 SALVANDO ARQUIVOS E SAINDO DO PROGRAMA:

- ✓ No ANSYS Tollbar, clicar em “SAVE_DB” para salvar no Data Base;
- ✓ Ainda no ANSYS Toolbar, clicar em “QUIT”;
- ✓ Na nova janela, selecionar a opção “Save everything” e clicar em “OK”.

RESULTADOS

Análise dos resultados para a segunda condição de carga:

- Reações de Apoio:
 - Apoio 1: FY = 551,07 Kgf
 - Apoio 21: FY = 970,17 Kgf
FX = -1600,4 Kgf
 - Apoio 22: FX = 1600, 4 Kgf

Procedendo-se a verificação das barras quanto a tração e considerando-se as tensões limite do aço ASTM A36 como:

- Tensão limite de escoamento: $\sigma_y = 2500 \text{ Kgf/cm}^2$
- Tensão limite de ruptura: $\sigma_y = 2500 \text{ Kgf/cm}^2$

Tração: neste caso, segundo a norma brasileira, teremos:

- Força máxima admissível = $(0.9 * \text{área do perfil} * 2500)$, onde verificamos que todas as barras mostraram forças aceitáveis para tração.

Compressão: na compressão é necessário diminuir a resistência em função da esbeltez:

- Força máxima admissível = $(0.9 * Q * \text{área bruta} * \text{FCR})$, onde:
- FCR = tensão de ruptura à compressão com flambagem (leva em consideração o índice de esbeltez da barra em questão) e foi obtido de tabelas extraídas da norma brasileira;
- Q = coeficiente minorador de resistência quando $b/t > 11$, e como neste caso $b/t = 8$, $Q = 1$;

Índice de esbeltez: $l_{max} = L_{fl} / i_{min}$, onde:

- i_{min} = raio de giração mínimo da seção (neste caso igual a) 0.73 para as barras verticais)
- L_{fl} = comprimento de flambagem (neste caso igual ao comprimento da barra);

Os resultados dos cálculos acima descritos estão analisados na tabela da página a seguir. Da análise de tais resultados, verifica-se que cinco barras (38, 39, 40, 41 e 31) possuem l_{max} superior ao permitido por norma (que é de 200) e calculando-se a carga máxima admissível por barra e constatar que as barras (39, 40 e 41) podem entrar em colapso por flambagem, por estarem submetidas a esforços superiores à sua resistência.

Barra	Área (cm ²)	R g mín	R g x	Comp	λ max	Força Normal	Nd (Kgf)
36	3,42	0,73	1,16	1,0035	137	-168,17	-2416,2
37	3,42	0,73	1,16	1,0607	145	-142,21	-2208,5
38	3,42	0,73	1,16	1,7159	235	-545,51	-769,5
39	3,42	0,73	1,16	1,8028	247	-745,18	-769,5
40	3,42	0,73	1,16	1,9003	260	-898,84	-769,5
41	3,42	0,73	1,16	2,0069	275	-1029,10	-769,5
21	3,42	0,73	1,16	0,4000	55	-551,07	-5971,3
22	3,42	0,73	1,16	0,4667	64	-379,20	-5478,8
23	3,42	0,73	1,16	0,5333	73	-331,80	-4978,7
24	3,42	0,73	1,16	0,6000	82	-101,76	-4517,0
25	3,42	0,73	1,16	0,6667	91	-91,58	-4047,6
31	3,42	0,73	1,16	1,5000	205	-286,48	-1238,9