



**FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA
ENGENHARIA CIVIL**

**RAILSON RODRIGUES DA SILVA NASCIMENTO
LUCAS CARVALHO RABELO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA ANÁLISE ESTRUTURAL DE
PÓRTICOS PLANOS.**

**PORTO NACIONAL - TO
2016**

RAILSON RODRIGUES DA SILVA NASCIMENTO
LUCAS CARVALHO RABELO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA ANÁLISE ESTRUTURAL DE
PÓRTICOS PLANOS.**

Projeto de Pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Me. Adauto Cezar Rosa do Nascimento.

PORTO NACIONAL - TO
2017

RAILSON RODRIGUES DA SILVA NASCIMENTO
LUCAS CARVALHO RABELO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA ANÁLISE ESTRUTURAL DE
PÓRTICOS PLANOS.**

Monografia submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Monografia apresentada e defendida em ____/____/____ pela Banca examinadora constituída pelos professores:

Orientador: Prof. Me Adauto Cezar Rosa Nascimento

Prof. Ana Meires Jorge de Sousa

Prof. Me Mauro Alexandre Paula de Sousa

PORTO NACIONAL - TO
2017

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo, o estudo do método da rigidez direta que se deriva do método dos deslocamentos, para a análise estrutural de pórticos planos, formados apenas por barras e nós. A motivação para este estudo fundamenta-se na hipótese de que, se descubra todos os deslocamentos possíveis que uma estrutura apórticada possa vir a sofrer devido a esforços, tanto oriundos de peso próprio, quanto a cargas acidentais, visto que deslocamentos excessivos possam resultar em desconforto de ocupantes além de depreciação excessiva do imóvel e ainda será obtido uma otimização no seu custo em razão ao conhecimento dos deslocamentos máximos. Para realização desse trabalho, foi utilizado como técnica numérica o método da rigidez direta, descobrindo assim as matrizes necessárias para deslocamentos isolados de barras e nós. A formulação adotada neste projeto de pesquisa teve como base duas teorias clássicas de vigas, a de Timoshenko e a de Euler – Bernoulli. Através da teoria do método da rigidez direta, chegaremos a todas as matrizes de deslocamento, detalhando sempre os respectivos procedimentos, essas matrizes levariam dias para serem calculadas manualmente, sabendo disso, vai ser feito uma programação na ferramenta MatLab, pois é uma ferramenta que permite grande facilidade de manuseio além de oferecer cálculos e operações simplificados de matrizes.

Palavras Chave: Rigidez direta; Pórtico plano; Deslocamentos.

ABSTRACT

This paper aims at the study of the method of direct stiffness that is derived from the displacement method for the displacement analysis of plane frames, formed by only bars and us. The motivation for this study is based on the assumption that if we find all possible shifts a frames structure may suffer due to efforts both come from own weight, as accidental and variable charge, as excessive movements may result discomfort of occupants as well as excessive depreciation of property and still obtain an optimization in cost due to the knowledge of the maximum displacement. To carry out this work was used as a numerical technique the method of direct stiffness, discovering the matrix necessary for isolated dislocations bars and us. The formulation used in this research project was based on two classical theories of beams, the Timoshenko and Euler - Bernoulli. Through the theory of the method of direct stiffness, come to all arrays of displacement, always detailing their procedures, these arrays would take days to be calculated manually, knowing this, a schedule will be done in MATLAB tool as it is a tool that allows ease of handling while offering simplified calculations and matrix operations.

Keywords: Direct Stiffness; plane frame; displacements.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Flexão pura.....	12
FIGURA 2 - Flexão simples.....	13
FIGURA 3 - Graus de liberdade de uma barra arbitraria de	18
FIGURA 4 - Grau de liberdade de uma barra arbitraria de.....	19
FIGURA 5 - Barra de pórtico plano, desenhada com	20
FIGURA 6 - Determinação dos esforços internos em uma.....	21
FIGURA 7 - Barra bi engastada sujeita a cargas uniformemente distribuídas.	22
FIGURA 8 – Determinação dos esforços internos em uma seção S da barra, pelo lado esquerdo e pelo lado direito, considerando a presença de cargas distribuídas.	23
FIGURA 9 – Componentes de um vetor em relação a	24
FIGURA 10 – Determinação dos esforços internos em uma seção S da barra, pelo lado esquerdo e pelo lado direito, considerando a presença de cargas distribuídas.	29
FIGURA 11 – Tabela de dados de entrada	30
FIGURA 12 – Representação das coordenadas x e y.....	31
FIGURA 13 – Numeração dos nós das barras	32
FIGURA 14 – Carga no eixo local de coordenadas.....	33
FIGURA 15 – Carga no eixo global de coordenadas	33
FIGURA 16 – Carga projetáveis em uma estrutura.....	34
FIGURA 17 – Rodar a rotina em plataforma MATLAB	34
FIGURA 18 – Matriz de esforços	35
FIGURA 19 – Disposição dos esforços obtidos.....	36
FIGURA 20 – Disposição dos deslocamentos no portico.	36
FIGURA 21 – Portico plano 1 em aço a ser analisado nas três ferramentas	37
FIGURA 22 – Diagrama de esforço normal obtido no ftool	38
FIGURA 23 – Diagrama de esforço cortante obtido no ftool	39
FIGURA 24 – Diagrama de momento fletor obtido no ftool	39
FIGURA 25 – Diagrama de esforço normal obtido no SAP2000.....	40
FIGURA 26 – Diagrama de esforço cortante obtido no SAP2000.....	40
FIGURA 27 – Portico em madeira acionalizada.....	41
FIGURA 28 – Diagrama de esforço normal obtido no ftool	42
FIGURA 29 – Diagrama de esforço cortante obtido no ftool	42
FIGURA 30 – Diagrama de momento fletor obtido no ftool	42
FIGURA 31 – Diagrama de esforço normal obtido no SAP200	43
FIGURA 33 – grafico comparativo do esforço normal obtidos atraves da rotina criada, Ftool e SAP2000.....	45
FIGURA 34 – grafico comparativo do deslocamento obtidos atraves da rotina criada, Ftool e SAP2000.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição
θ	Desslocamento entre eixo e viga deformada
u	Desslocamento entre viga deformada e eixo
σ	Tensão normal
M_y	Momento fletor no eixo y
I	Momento de inercia
V	Esforço cortante
G_x	Grau de liberdade no eixo X
G_y	Grau de liberdade no eixo Y
G_z	Grau de liberdade no eixo Z
N_x	Esforço pontual
Q_x	Esforço uniforme
M_x	Momento fletor no eixo y
P	Força atuante no nó
C_{te}	Variavel constante
L	Comprimento da viga
q	(Souza) Esforço normal
X^1	Comprimento variavel ao longo da viga
S	Seção de corte da viga
U_x^g	Vetor U decomposto no plano gx
U_y^g	Vetor U decomposto no plano gy
U_x^l	Vetor U decomposto no plano lx
U_y^l	Vetor U decomposto no sistema ly
$\mathbf{r}$	Matriz de rotação
R	Matriz de rotação das barras de uma treliça
D_x	deslocamento nodais no eixo x
D_y	deslocamento nodais no eixo y
R_z	deslocamento nodais no eixo z

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	TIPOS DE ESTRUTURAS APORTICADAS	10
2.1.1	Viga simples ou continua	10
2.1.2	Pórticos planos.....	10
2.1.3	Treliça plana.....	11
2.2	TEORIA DAS VIGAS	11
2.2.1	Euler-Bernoulli.....	11
2.2.2	Teoria da viga de timoshenko	12
2.3	TIPOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL.....	13
2.3.1	Classificação da análise estrutural quanto à variação do tempo.....	13
2.3.2	Classificação da análise estrutural quanto à linearidade.....	14
2.3.3	Classificação da análise estrutural estática linear de estruturas aporticadas.	15
2.4	MÉTODO DA RIGIDEZ DIRETA PARA PORTICOS PLANOS	15
2.4.1	Graus de liberdade da estrutura.....	17
2.4.2	Graus de liberdade da barra referentes ao sistema global de coordenadas	17
2.4.3	Graus de liberdade da barra referentes ao sistema local de coordenadas ..	18
2.4.4	Determinação do comprimento e orientação das barras.....	19
2.4.5	Relação entre os vetores de força e deslocamento da barra referente ao sistema local de coordenadas	20
2.4.6	Determinação dos esforços internos ao longo da barra	20
2.4.7	Reações de engastamento perfeito	22
2.4.8	Determinação dos esforços internos ao longo da barra considerando carregamento uniforme	22
2.4.9	Transformação entre vetores que se referem aos sistemas local e global...	24
2.4.10	Transformação entre vetores referentes aos sistemas local e global de estruturas aporticadas planas.	25
3	OBJETIVOS	27
3.1	OBJETIVO GERAL.....	27
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4	METODOLOGIA.....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6	CONCLUSÃO.....	45
7	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	47

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade vive-se a expectativa de cada dia surgir uma nova tecnologia ou um aperfeiçoamento das já existentes. Diariamente ocorre em computadores a redução de seu tamanho físico e o aumento de sua capacidade de armazenamento e processamento, com isso tem-se a necessidade de evoluir junto com tais máquinas, pois cada vez mais o trabalho humano é simplificado, graças a estes computadores e programas nele existentes, que são os chamados softwares.

No campo da engenharia civil não é diferente de outros setores, o mercado é extremamente competitivo e conquistará o cliente aquele que oferecer o menor custo sem interferir em sua qualidade final, contudo, cada vez mais profissionais desta área recorrem a programas computacionais para garantirem essas condições aos clientes. Um dos motivos para que isso ocorra é a economia gerada em tempo para a consolidação de projeto que consequentemente vai gerar uma maior renda para o projetista e na mesma proporção economia em materiais sem a perda de segurança para o cliente.

Tais softwares precisam ser atualizados e revisados periodicamente, pois existem diversos fatores que mudam com o passar do tempo, como novos materiais, novas maneiras construtivas, tecnologias construtivas, novas teorias, métodos de cálculos e etc. sendo assim é de suma importância à criação de programas computacionais e atualização dos mesmos a fim de obter resultados cada vez mais próximos aos reais.

Dessa forma, o uso de programas vem proporcionando uma enorme diferença tanto para as empresas quanto para os profissionais envolvidos, a automatização de processos traz vantagens e gera uma grande competitividade para o mercado, e tem sido um componente preponderante no campo da engenharia civil, gerando efeitos favoráveis, como menos desperdício de tempo, sendo assim torna-se quase impossível trabalhar sem o auxílio de tais programas.

Visando melhoria para as estruturas aporticadas abordaremos e acataremos o projeto de criação de um software capaz de obter os valores de esforços e deslocamentos de porticos planos simples, para isso será utilizado o método da rigidez direta aplicado a porticos planos, de esforços e deslocamento de pórticos planos simples, para isso utilizaremos o método da rigidez direta aplicado a pórticos planos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TIPOS DE ESTRUTURAS APORTICADAS

Estruturas aporticadas são de grande utilidade na engenharia civil seja elas empregadas em casas, edifícios, pontes etc. O sistema de estruturas aporticadas é usualmente, de grande interesse, dado a enorme variedade de estruturas que podem ser representadas por este sistema. Por esta razão, este texto é direcionado para este tipo de sistema estrutural (SOUZA, 2012).

2.1.1 Viga simples ou continua

Como cita Dias (1997), Vigas são corpos estruturais podendo ser de alma cheia, alveolares, treliças, vierendeel e mistas, elementos estruturais submetidos a esforços de flexão, são estruturas muito uteis para vencer vãos no sentido horizontal, e geralmente seu uso é devido sua capacidade de suportar grandes solicitações, sua principal função é redistribuir os esforços verticais para os pilares.

Este sistema é formado por elementos de barras dispostos ao longo de um único eixo. Usualmente, cada elemento de barra representa um vão. Geralmente, se considera o carregamento atuando no próprio plano da estrutura, e neste caso, os esforços internos que ocorrem nas seções da viga são o esforço normal, o esforço cortante e o momento fletor. É comum na análise de vigas não se considerar os carregamentos paralelos ao eixo da viga, os quais dão origem ao esforço normal (SOUZA, 2012).

2.1.2 Pórticos planos

Conforme Martha (2010), pórtico plano é um quadro plano, ou seja, é um modelo estrutural plano de uma estrutura tridimensional, ou seja, esse modelo corresponde a uma parte da estrutura, ou ainda pode retratar uma facilitação do padrão tridimensional, pórticos planos estão contidos apenas em um plano, plano adotado x e y , sendo assim isso inclui esforços com componentes nas direções dos eixos x e y e momentos em torno do eixo z .

Souza (2012), afirma que os esforços atuam no próprio pórtico plano da estrutura, e neste caso, os esforços gerados internamente que ocorrem nas seções das barras são o esforço normal, o esforço cortante e o momento fletor. E esses esforços que são impostos a estrutura devem ser estimados de algum modo para que não levem a estrutura ao colapso.

2.1.3 Treliza plana

Segundo Margarido (2001), treliças são elementos estruturais compostas por barras ligadas e articuladas nas extremidades, às forças são aplicadas nos nós, a estrutura reticulada de barras é um elemento estável e acaba deformando devido aos esforços axiais, podendo ser esforços de compressão ou tração, os esforços são aplicados nas articulações, sendo aplicadas sempre obrigatoriamente no sentido das barras.

Treliças planas segundo McCormac (2009) podem ter inúmeras barras desde que sejam ligadas por nós, sendo assim as treliças podem ter formas diferentes de um triângulo, mais também nesse caso é necessário estar ciente de que existe uma probabilidade considerável de ela ser instável.

2.2 TEORIA DAS VIGAS

2.2.1 Euler-Bernoulli

Soriano (2009) descreve a teoria de viga de Bernoulli-Euler, que também é conhecida como teoria clássica de viga, de modo que cada seção transversal permaneça plana e normal ao eixo geométrico deformado da viga, desta forma o deslocamento transversal ocorrente, Tal hipótese faz-se necessário a consideração de flexão pura para a qual se tem a distribuição de tensão normal, demonstrada na figura 1.

$$\left[\theta = u_{,x} \right] \quad \left[\sigma = M_y / I \right]$$

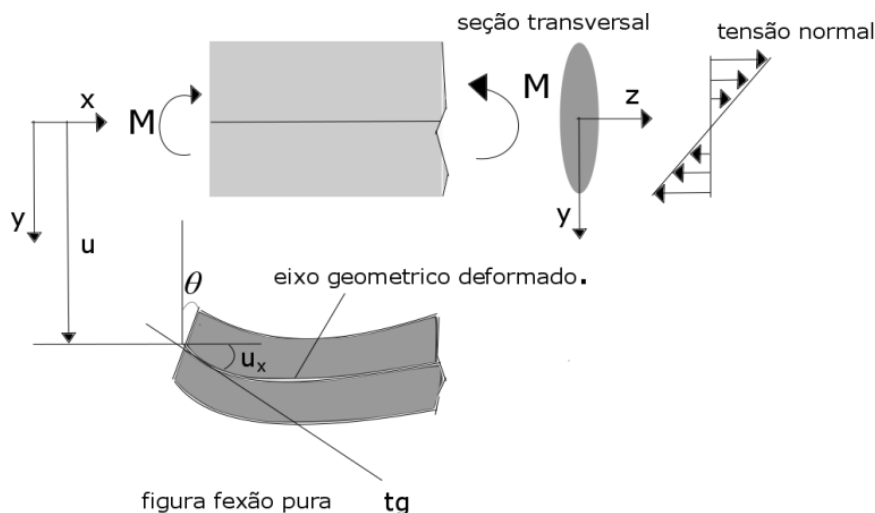


Figura 1 - Flexão pura.

Fonte: Modificado de Soriano (2009).

Para Souza (2012) a teoria das vigas de Euler - Bernoulli é utilizada para análise de estruturas aporticadas, no qual a teoria se baseia na hipótese simplificada de que as seções de uma barra de uma viga permanecem planas e perpendiculares ao eixo da estrutura, após a ação das forças externas.

2.2.2 Teoria da viga de timoshenko

SORIANO (2009) Explica que a teoria de Timoshenko é a mais utilizada na atualidade, pois ela leva em consideração a deformação do esforço cortante, e é adequada a vigas moderadamente altas sob valores elevados desse esforço, ou seja, cada elemento finito que esteja sob o estado de cisalhamento, sofre uma distorção em y, o que provoca o encurtamento da seção transversal, assim é correto supor que cada seção transversal permaneça plana, mais por outro lado a seção não está mais perpendicular ao eixo geométrico como é ilustrado na figura 2.

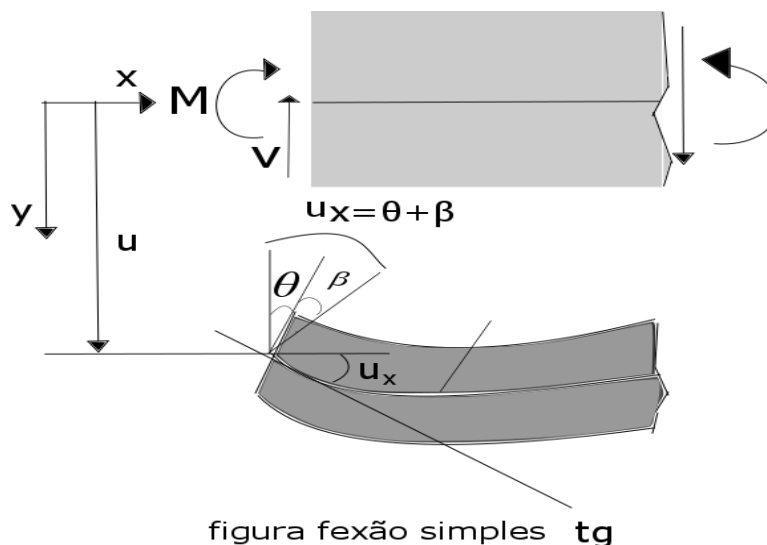


figura flexão simples tg
 Figura 2 - Flexão simples
 Fonte: Modificado de Soriano (2009)

2.3 TIPOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

2.3.1 Classificação da análise estrutural quanto à variação do tempo

Conforme Soriano (2009), a análise estática é compreendida estática quando não é imposta a forças de inércia, a análise estática é dividida em duas análises, estática propriamente dita e em quase estática, na segunda designação está se referindo a análise onde a variável tempo adentra na definição dos componentes do material. Quando a análise estática não é linear, se deve a não linearidade do material, o que é conhecido como não linearidade física, ou pode ser dita como a variação do equilíbrio na configuração deformada o que é reconhecida como não linearidade geométrica e que leva em conta os chamados efeitos de segunda ordem.

Em conformidade com Souza (2012), nas análises dinâmicas leva-se em conta que as ações diferenciam-se no tempo, ou seja, o carregamento dinâmico acaba variando ao passar do tempo, (como exemplo podemos citar os terremotos, ventos, tráfego de veículos, explosões próximas à estrutura) as reações que vem como respostas também mudam ao longo do tempo. No caso, o deslocamento de um ponto qualquer da estrutura não é constante ao decorrer do tempo e neste caso, deve-se levar em consideração os efeitos inerciais da estrutura, pois as respectivas velocidades e acelerações do ponto não são nulas.

Segundo Souza (2012) Análise Pseudo-Estática ou Quase-Estática é uma análise que considera que as ações variam no tempo de modo mais demorado, por isso é possível desconsiderar os efeitos inerciais da estrutura, logo, também é possível produzir varias análises estáticas em sequência, sendo possível realizar uma análise para cada configuração do carregamento. Este tipo de análise se aplica mais no estudo de pontes, onde se considera que a carga esteja sempre se movimentando, assim como seria um veículo sobre a ponte, desse modo analisando o deslocamento do carregamento passando lentamente sobre a estrutura, podendo analisar o carregamento em cada ponto da estrutura. O deslocamento de qualquer ponto da estrutura é variável no tempo, porém a sua mudança é tão demorada que se pode adotar que a velocidade e a aceleração destes pontos são nulas.

2.3.2 Classificação da análise estrutural quanto à linearidade

De acordo com Queiroz, (2010), a análise linear, é considerada e levada em conta por ter certa proporcionalidade entre deslocamentos e forças que atuam na estrutura. Nessa análise também é proposto e considera que os materiais se encontram no regime linear elástico e também a variação das ações e efeitos em decorrência do tempo.

Souza (2012) descreve que na análise linear existe certa proporcionalidade em meio às ações externas e em atribuição as respostas da estrutura. Para que possa haver essa proporcionalidade é de suma importância a atenção a dois parâmetros, nos quais se definem que: O primeiro é que o material, da qual a estrutura é composta, tenha um comportamento linear elástico de forma que se assuma que as tensões sejam proporcionais as deformações (a grosso modo, se diz que o material deve possuir um diagrama tensão-deformação representado por uma “reta”). O segundo requisito é que as deformações e deslocamentos da estrutura sejam pequenos (infinitesimais).

Em conformidade com Souza (2012) nessa análise não linear, é nula ou não existe uma proporcionalidade em meio às causas (ações externas) e efeito. A não proporcionalidade normalmente tem duas origens, o primeiro motivo é que o conteúdo apresenta um diagrama de tensão deformação demonstrado em uma curva (ou poligonal) por esse motivo afirma-se que houve uma não linearidade do material, já no segundo é ligado a ocorrência de deformações grandes ou movimentação na

estrutura, ou seja, pode ser dito que ocorre a não linearidade geométrica. É de suma importância ressaltar que, para que exista uma perfeita consideração da ação de flambagem (localizada ou global) do elemento estrutural, é necessário que seja feita uma análise não linear ou ainda realizar pelo menos uma análise de carga crítica de flambagem, pois a análise de carga crítica de flambagem fornece resultados para a determinação de um coeficiente que condiz ao valor máximo por qual o carregamento que age sobre a estrutura seja multiplicado afim que possa ocorrer a flambagem. Através da análise de carga crítica também é possível identificar o modo de flambagem do elemento estrutural.

2.3.3 Classificação da análise estrutural estática linear de estruturas aporticadas.

Queiroz (2012) afirma que são muitos os métodos de análise estrutural, em destaque quando se leva em conta as possibilidades dos tipos de estruturas existentes (aporticadas com face volumétrica e diversa) e também os diferentes modelos de análise (dinâmica, estática, de carga crítica, modal, etc.) Em uma forma mais geral podem-se classificar as grandezas de maior interesse na análise estrutural em dois membros.

O primeiro grupo conforme Souza (2012) é o das variáveis cinemáticas, este grupo diz a respeito ao deslocamento da estrutura e também liga os deslocamentos, grandezas, suas derivadas no tempo (aceleração e velocidade), giros, curvaturas, distorções, deformações, distorções, alongamentos, etc. Em um formato muito geral, pode-se chamar esse grupo pelo nome de “deslocamentos”. O segundo grupo como variáveis estáticas, ou seja, esse grupo refere-se aos carregamentos que ocorrem na estrutura, e abraçam as grandezas forças, tensões, trações, esforços internos, etc. de uma forma muito generalizada, é adotado o nome de “forças” para representar este grupo.

2.4 MÉTODO DA RIGIDEZ DIRETA PARA PORTICOS PLANOS

Conforme Martha (2010) o método da rigidez direta para pórticos planos um método básico voltado para realizar análises de estruturas e verificação do

campo de deslocamento e do campo de tensões presentes no domínio geométrico da estrutura, também buscar estabelecer parâmetros que divulguem o comportamento do modelo estrutural, os métodos básicos permitem a mudança do modelo estrutural contínuo para um modelo que por sua vez pode ser resolvido manualmente ou aplicada e resolvida computacionalmente.

Martha (2010) explica que o desafio que é considerado um problema em estruturas na situação estática (sem efeito dinâmico de vibração) é um problema de valor de contorno, composto por um conjunto de equações diferenciais que deveram ser satisfeitas nos pontos contínuos no meio sólido, assim considerando as condições de contorno obedecendo às regras de deslocamentos forças atuantes na superfície.

Martha (2010) afirma que na idealização de um modelo estrutural analítico o nível de simplificação que é incluído pode ser muito distinto, mesmo sendo em um modelo de barras. Nesses casos nos modelos de primeira ordem é considerado que o deslocamento dos pontos da estrutura são minúsculo se comparados às dimensões geométricas da sua seções transversais, após essa constatação fica possível adotar a hipótese de estabelecer condições de conformidade entre a geometria original e a geometria indeformada da estrutura.

Queiroz (2012) afirma que utilizando o método da rigidez direta para análise em pórticos planos é considerado que os nós são usualmente rígidos sendo assim é necessário considera em sua análise que as rotações nodais e cargas momentos são atuantes nos nós. Devido à rigidez do nó a rotação, as barras em pórticos planos ficam sujeitas também a esforços cortante e momento fletor, além de solicitações axiais.

2.4.1 Matriz de rigidez para a teoria de viga de Timoshenko

SORIANO (2009) Explica que a teoria de Timoshenko é a mais utilizada na atualidade, pois ela leva em consideração a deformação do esforço cortante, sendo assim utilizando o método da rigidez para pórticos planos será possível obter como resultado os esforços atuantes na barra, logo será obtido uma matriz denominada matriz de rigidez da barra, para a determinação dessa matriz, são relacionados vetor de carregamento da barra, matriz de rigidez da barra referente ao sistema de coordenadas local, o vetor de deslocamento da barra referente ao sistema local, por

fim a diferença entre a matriz de rigidez para Timoshenko comparada a de Bernoulli é que a de Timoshenko leva em consideração um parâmetro a mais.

2.4.2 Graus de liberdade da estrutura

Souza (2012) explica que pórticos planos possuem três graus de liberdade para cada nó, graus de liberdade são os possíveis deslocamentos ocorrentes em estruturas com ligações nodais podendo ocorrer (duas translações nas direções g_x e g_y , e uma rotação em torno do eixo g_z). A quantidade de graus de liberdade depende dos números de nós da estrutura, exemplo se a estrutura tiver quatro nós então ela terá 12 graus de liberdade, e que para melhor a compreensão é útil numerar as barras. Do mesmo modo é útil numerar os graus de liberdade. Cabe ainda deixar claro, que dentro do contexto do método da rigidez, tanto as forças atuantes nos nós e as cargas momentos são considerados esforços nodais em um sentido mais complexo.

2.4.3 Graus de liberdade da barra referentes ao sistema global de coordenadas

De acordo com Souza (2012) em uma barra arbitrária de um pórtico plano que possui dois nós, pode existir até seis graus de liberdade, ou seja, possuir de 1 a 6 deslocamentos nodais igualmente a forças nodais que também são de 1 a 6, que devem agir nas extremidades da barra. Os esforços e os deslocamentos possuem a mesma direção das forças e deslocamentos nodais da estrutura vai ocorrer um deslocamento e uma força em cada eixo em cada extremidade da barra. A figura 3 demonstra os seis deslocamentos e as seis forças como são consideradas nesse método.

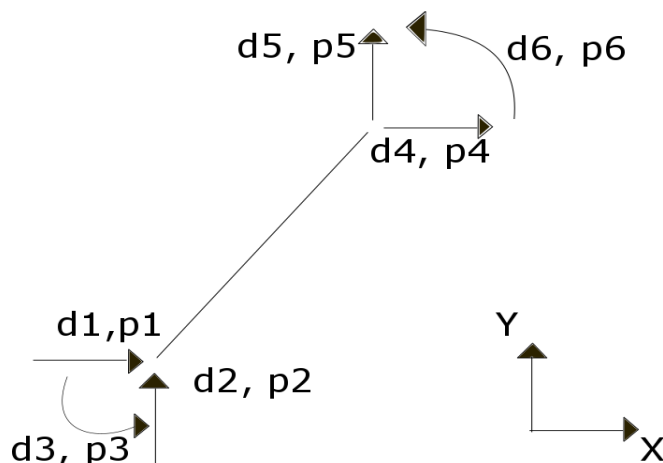


Figura 3 - Graus de liberdade de uma barra arbitrária de pórtico plano em relação ao sistema global de coordenadas
 Fonte: Modificada de Souza (2012)

2.4.4 Graus de liberdade da barra referentes ao sistema local de coordenadas

Martha (2009) afirma que para a aplicação do método da rigidez no caso dos graus de liberdade de um pórtico para uma barra arbitrária e conveniente que use o sistema de coordenadas como é demonstrado na imagem abaixo, sendo assim os graus de liberdade da barra relacionando ao sistema local podem devem ser numeradas de forma a serem referente ao grau de liberdade que seja análogo ao sistema global nesse caso primeira mente, numera-se os graus de liberdade referentes a o primeiro nó da barra depois se numera o segundo nó da barra tendo em vista a sequencia dos deslocamentos para cada eixo, os deslocamentos para cada eixo podem ser nomeados com as letras D_x , D_y , R_z .

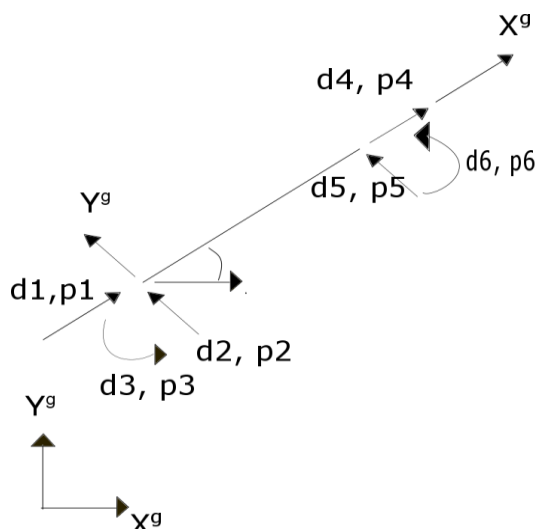


FIGURA 4 - Grau de liberdade de uma barra arbitrária de Pórtico plano em relação ao sistema local de coordenadas.
Fonte: Modificada de Souza (2012)

As forças atuantes nos nós da barra são respectivamente $p_1, p_2, \dots, p_6$, e os deslocamentos possíveis são $d_1, d_2, \dots, d_6$, esses são representados e agrupados em vetores.

$$d^g = \begin{bmatrix} d_g^1 \\ d_g^2 \\ d_g^3 \\ d_g^4 \\ d_g^5 \\ d_g^6 \end{bmatrix} \quad p^g = \begin{bmatrix} p_g^1 \\ p_g^2 \\ p_g^3 \\ p_g^4 \\ p_g^5 \\ p_g^6 \end{bmatrix}$$

De acordo com Queiroz (2010) vetores são chamados também de vetor de deslocamentos globais de uma barra, ou seja são respectivamente forças globais da barra. Os deslocamentos na barra de um pórtico plano possui 6 deslocamentos e que embora os deslocamentos possam assumir valores independentes entre si, as forças nodais devem e necessitam respeitar o equilíbrio, sendo assim elas não são independentes entre si.

2.4.5 Determinação do comprimento e orientação das barras

Como cita Martha (2009) a orientação e o comprimento da barra se dá através da numeração das barras e das coordenadas de cada eixo x , y e z , sua

numeração é importante para a determinação das coordenadas a serem seguidas para a aplicação correta do método.

2.4.6 Relação entre os vetores de força e deslocamento da barra referente ao sistema local de coordenadas

Segundo Souza (2012) a relação entre vetores de forças e deslocamentos possíveis da barra de um pórtico plano referentes ao sistema local de coordenadas deve-se imaginar a barra de modo que demonstre os graus de liberdade referentes ao sistema local, dessa forma é considerado que as barras estejam sujeitas a todos os deslocamentos possíveis para uma barra de um pórtico plano, conforme a figura 5, que demonstra os seis deslocamentos possíveis.

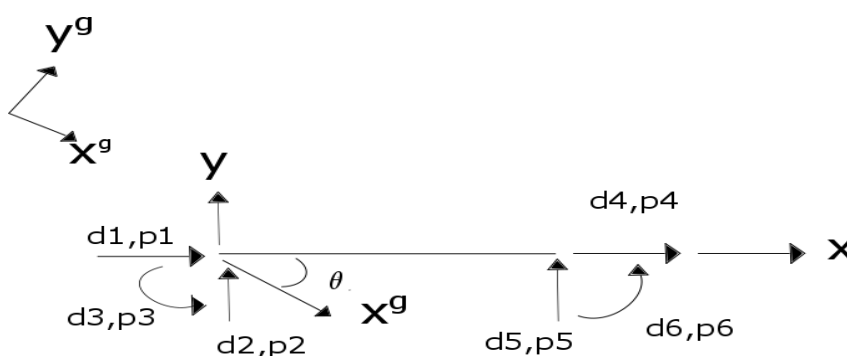


FIGURA 5 - Barra de pórtico plano, desenhada com o seu eixo local x^l alinhado com a direção horizontal.
Fonte: Modificada de Souza (2012).

2.4.7 Determinação dos esforços internos ao longo da barra

Souza (2012) afirma que os esforços internos da estrutura são esforço normal, esforço cortante e momento fletor, tais esforços podem ser adquiridos a partir do vetor de forças referentes ao sistema local de coordenadas, como é demonstrado no esquema a baixo.

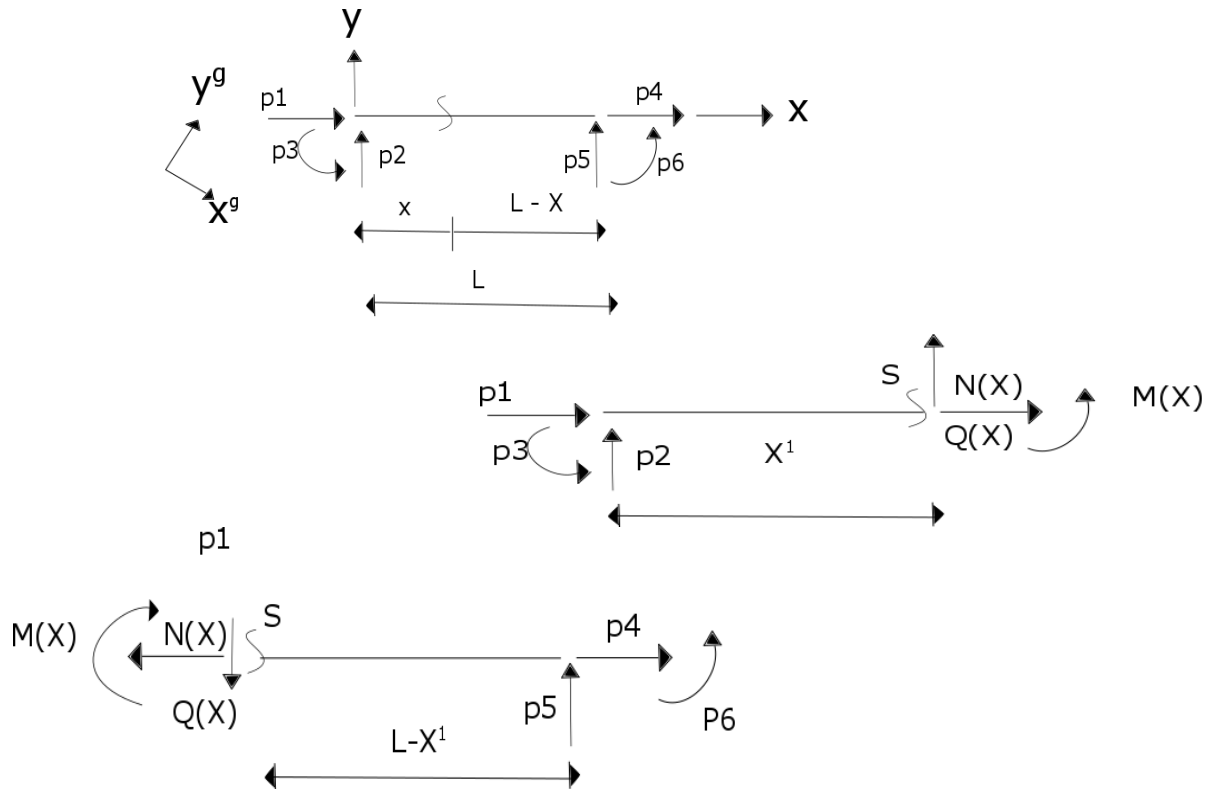


FIGURA 6 - Determinação dos esforços internos em uma seção S da barra, pelo lado esquerdo e pelo lado direito.
Fonte: Modificada de Souza (2012)

Como é mostrado na figura 6, os esforços internos em uma barra arbitrária são determinadas através de um corte na seção da barra, logo se tem o diagrama de corpo livre considerando os lados da barra após o seccionamento da mesma. No diagrama do lado direito e esquerdo estão demonstradas as forças atuantes nos nós, assim originando os esforços externos que devem surgir, com finalidade de restaurar a condição de equilíbrio, os esforços atuantes na barra podem ser obtidos por equilíbrio tanto no lado direito quanto no esquerdo, a partir dos esforços referentes ao sistema de coordenadas. Assim teremos os esforços pelo lado esquerdo.

$$N(x) = -p_1 = cte$$

$$Q(X) = -P_2 = cte$$

$$M(x) = p_2x = -p_3$$

E pelo lado direito teremos:

$$N(x) = -p_4 = cte$$

$$Q(X) = -P_5 = cte$$

$$M(x) = p_5(L - x) = +p_6$$

2.4.8 Reações de engastamento perfeito

Souza (2012) diz que na análise de pórticos planos com aplicação de cargas distribuídas (Figura 7) por toda barra, é bem útil a consideração que uma das extremidades da barra esteja bi engastada, ou seja, que os deslocamentos sejam nulos na extremidade, as barras por sua vez estarão submetidas a cargas distribuídas nas direções x e y . São apresentadas também as reações $p_1, p_2, \dots, p_6$, associadas aos carregamentos distribuídos.

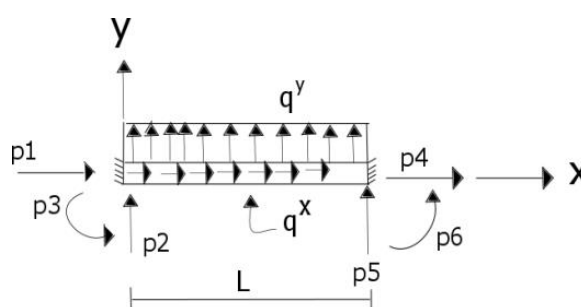


FIGURA 7 - Barra bi engastada sujeita a cargas uniformemente distribuídas.
Fonte: Modificada de Souza (2012)

De acordo com Martha (2009) Em vigas bi engastadas, como a mostrada na figura 7, é possível obter as reações de apoio através da aplicação do método devidamente apropriado para a realização de análise estrutural hiperestática, o método a ser aplicado é o método das forças.

Martha (2009) esclarece que o método das forças tem como ideia básica determinar, dentro de um conjunto de campo de forças, que satisfazem as condições de equilíbrio, isso é o que faz com que as condições de compatibilidade de deslocamentos fiquem satisfeitas. As incógnitas do método são forças e/ou momentos, daí o seu nome, e as equações finais são de compatibilidade

2.4.9 Determinação dos esforços internos ao longo da barra considerando carregamento uniforme

Souza (2012) explica que na Figura 8 os esforços internos (esforço normal, esforço cortante e momento fletor), na aplicação de cargas uniformemente

distribuídas aplicadas ao longo da barra, serão obtidos a partir do vetor de forças que é referente ao sistema local de coordenadas.

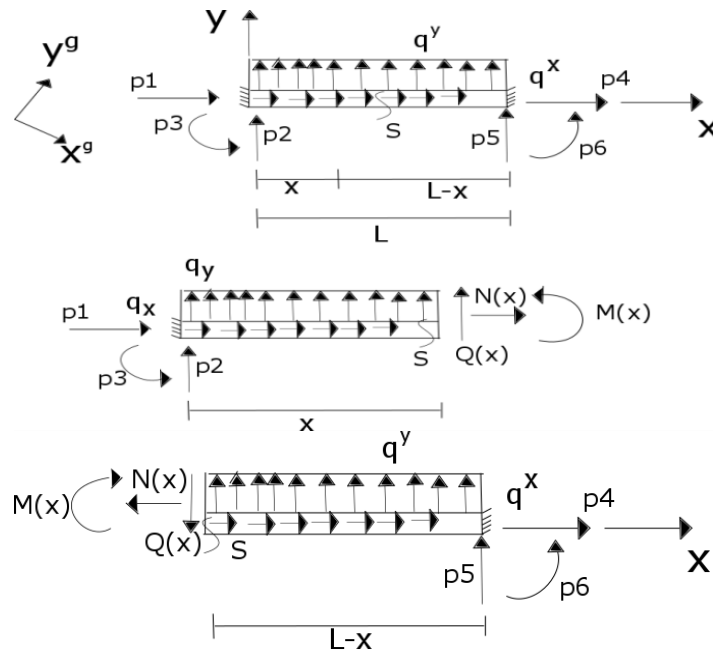


Figura 8 - Determinação dos esforços internos em uma seção S da barra, pelo lado esquerdo e pelo lado direito, considerando a presença de cargas distribuídas.
Fonte : Modificada de Souza (2012)

Através da análise dos diagramas de corpo livre vistos anteriormente é possível determinar os esforços internos, esforços normais, esforços cortantes e momentos fletores, através do método de equilíbrio das forças, onde a resultante final da soma dos esforços tem que resultar em um valor nulo, assim é possível determinar os esforços do lado direito e esquerdo da barra.

$$N(x) = -p_1 - q_x x$$

$$Q(x) = -p_2 - q_y x$$

$$M(x) = p_2 x - p_3 + q_y \frac{x^2}{2}$$

$$N(x) = -p_4 + q_x (L - x)$$

$$Q(x) = p_5 + q_y (L - x)$$

$$M(x) = p_5 (L - x) + p_6 + q_y \frac{(L - x)^2}{2}$$

2.4.10 Transformação entre vetores que se referem aos sistemas local e global

Souza (2012) diz que se considerarmos que um vetor qualquer (U) possa ser decomposto para dois locais diferentes de coordenadas, que sejam, um sistema global (X^g, Y^g) e um sistema local (X^l, Y^l), originando um ângulo θ entre eles, assim como mostra a figura 9.

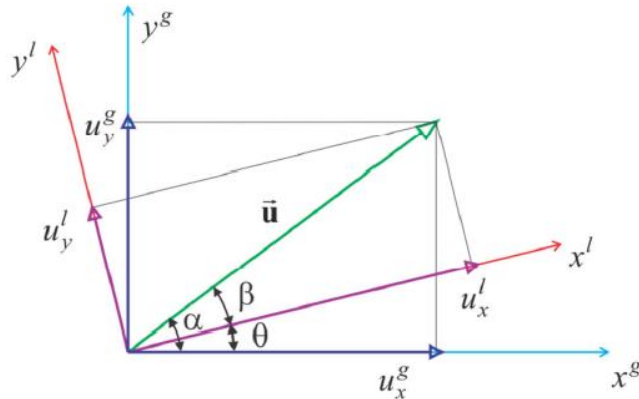


Figura 9 – Componentes de um vetor em relação a dois sistemas de coordenadas cartesianas.

Fonte : Modificada de Souza (2012)

Cada decomposição do vetor U pode ser representada assim:

$$\{U^l\} = \left\{ \frac{U_x^l}{U_y^l} \right\} \quad \{U^g\} = \left\{ \frac{U_x^g}{U_y^g} \right\} \quad (1.1)$$

Decompondo U para X^g e para Y^g temos:

$$\begin{aligned} U_x^g &= U \cos \alpha \\ U_y^g &= U \sin \alpha \end{aligned} \quad (1.2)$$

Decompondo U para X^l e para Y^l temos:

$$\begin{aligned} U_x^l &= U \cos \beta \\ U_y^l &= U \sin \beta \end{aligned} \quad (1.3)$$

Observando a figura 9 temos que;

$$\beta = \alpha - \theta \quad (1.4)$$

Fazendo toda a dedução matricial, iremos obter:

$$\{U^l\} = [r] \{U^g\} \quad (1.5)$$

Em que:

$$[r] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta \\ -\text{sen } \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Souza (2012) diz que r é a matriz de rotação, e serve para converter as forças decompostas de um vetor em relação ao sistema global e nas componentes em relação ao sistema local. Uma característica bastante importante dessa matriz é a característica ortogonal, isso significa que as colunas desta matriz equivalem a vetores ortogonais entre si, assim acontece também com as linhas dessa matriz.

De acordo com souza (2012) Isto deixa claro que a matriz inversa de rotação é igual a sua matriz transposta. Devemos ressaltar que os deslocamentos (d_1^l, d_2^l) e (d_1^g, d_2^g) , são respectivamente as decomposições do vetor $\mathbf{U}$ em relação aos eixos global e local de coordenadas, estas componentes irão gerar deslocamentos no nó I da barra.

$$[\mathbf{R}] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 & 0 \\ -\text{sen } \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta \\ 0 & 0 & -\text{sen } \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad 2.6$$

$\mathbf{R}$ é a matriz de rotação das barras de uma treliça

2.4.11 Transformação entre vetores referentes aos sistemas local e global de estruturas aporticadas planas.

Martha (2009) explica que a transformação de vetores que se referenciam através dos sistemas de análise global e local de coordenadas para a barra de

estruturas aporticadas planas, é semelhante ao que foi descrito em barras de treliça plana, ao utilizar uma matriz de rotação. Porém, há uma diferença devido a inclusão de componentes do deslocamento de rotação e força momento nos vetores de força e deslocamento, nesta ordem. Entretanto, forças momento em torno do eixo z e deslocamentos rotacionais em torno do eixo z, não sofrem alteração alguma, quando o eixo de referencia também for girado em torno deste mesmo eixo. Desta maneira, devemos considerar que apenas os deslocamentos translacionais e as forças devem ser transformadas. Exatamente igual ao que foi considerado para as transformações de deslocamentos nas barras da treliça.

Ou seja:

$$\{d^l\} = [\mathbf{R}] \{d^g\}$$

Onde,

$$[\mathbf{R}] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Esta é a matriz de rotação para qualquer pórtico plano e como na treliça, esta matriz também pode ser reconhecida facilmente como ortogonal. Reações de engastamento perfeito.

De acordo com Souza (2012) na análise de pórticos planos com aplicação de cargas distribuídas por toda a barra é bem útil a consideração que uma das extremidades da barra esteja bi engastada, ou seja, que os deslocamentos sejam nulos na extremidade, as barras por sua vez estarão submetidas a cargas distribuídas nas direções x e y. São apresentadas também as reações $p_{r1}, p_{r2}, \dots, p_{r6}$, associadas a os carregamentos distribuídos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um programa para análise estrutural de pórticos planos simples.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudo do método da rigidez direta para pórticos planos;
- Realizar estudo das teorias clássicas de vigas;
- Aplicação de métodos numéricos para solução de problemas em análise de estruturas utilizando um software comercial (MATLAB).

4 METODOLOGIA

Tratando-se do desenvolvimento de um software para análise estrutural em pórticos planos, utiliza-se como base o método da rigidez direta, tal método nos permitiu estabelecer relações entre as forças e deslocamentos nodais. A obtenção dos deslocamentos e esforços nas barras foram os dados desejados.

Logo mais, parte-se para a criação de um programa, desenvolvendo uma rotina de programação utilizando o método da rigidez direta para o cálculo de pórticos planos simples, foi feito o uso da plataforma MATLAB para realizar a rotina de programação e também para iniciar tal rotina.

Após a finalização do software foi realizado a validação dos resultados, obtidos com a rotina de programação, através da comparação de resultados obtidos no SAP2000 e também no Ftool, que são dois softwares para análise estrutural que utilizam de linguagem igual ou semelhante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do que foi apresentado, foi criada uma rotina de programação capaz de realizar análise estrutural em pórticos planos simples, no qual se pode obter os esforços nas barras e os deslocamentos nodais.

5.1 INTERFACE MATLAB

Usando os conhecimentos sobre programação e da plataforma MATLAB damos início à linguagem de programação, para isso é necessário abrir a página inicial do MATLAB, em seguida será mostrado a interface principal como mostra a figura 10.

5.2 ENTRADA DE DADOS

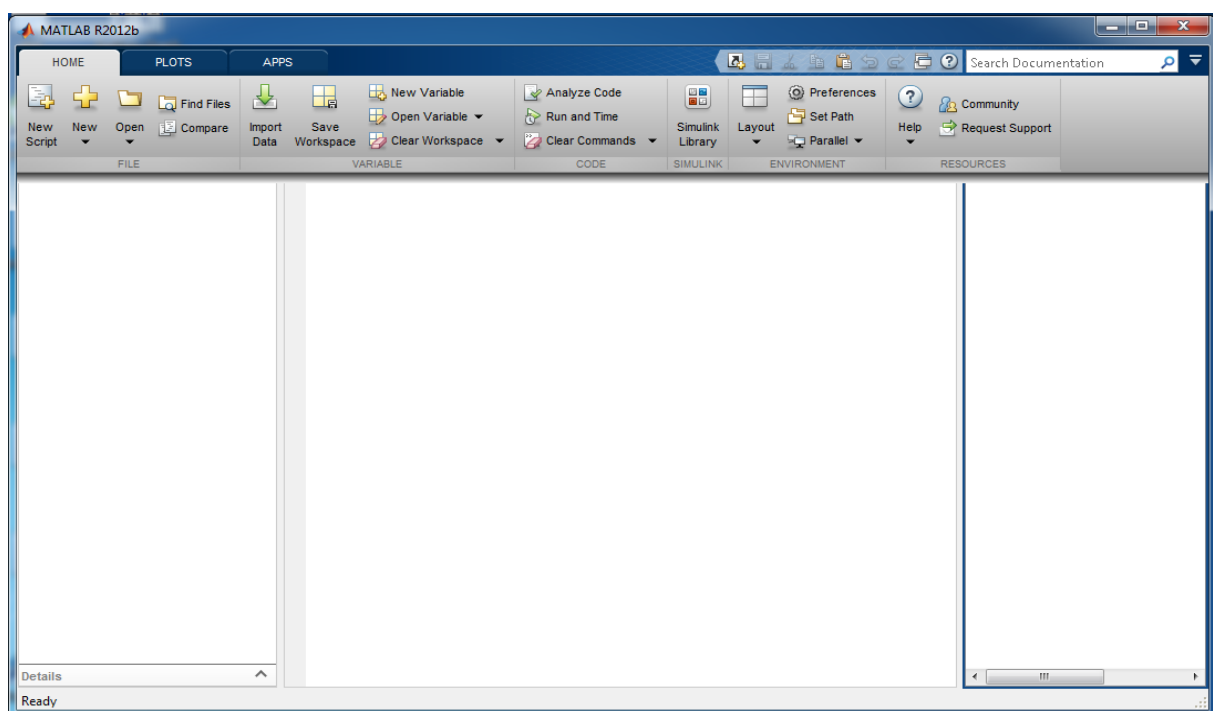


Figura 10 – Interface inicial do MATLAB

Para dar início à rotina, utiliza-se o comando “Ctrl + O” no teclado e selecionamos a linguagem de programação criada, após isto a Figura 11 vai aparecer.

```

%      coordenadas      Código      Forças      Deslocamentos
%      (m)
%      x      y      Cx Cy Crz      Px      Py      Mz      Dx      Dy      Rz
tabNos = [0.00  0.00  1  1  0      int  int  0.00  0.00  0.00  int %no1
          4.00  3.00  0  0  0      10.0  0.00  0.00  int  int  int  %no2
          8.00  3.00  0  0  0      0.00  0.00  0.00  int  int  int  %no3
          8.00  0.00  1  1  1      int  int  int  0.00  0.00  0.00] %no4

% ##### Tabela de Identificação das Barras #####

% Seção 1
b1 = 0.15;
h1 = 0.30;
A1 = b1*h1;
I1 = (b1*h1^3)/12;

% Seção 2
b2 = 0.20;
h2 = 0.30;
A2 = b2*h2;
I2 = (b2*h2^3)/12;

%      no      Area Inerc Elast qxl qyl      qyg      qyp
%      I  J      (m2) (m4) (kN/m2) (kN/m)      (kN/m)      (kN/m)
tabBarras = [1  2      A1      I1  30e6  0.00  0.00      0.00  0.00      0.00  0.00 %barra a
            2  3      A1      I1  30e6  0.00  0.00      0.00 -2.33      0.00  0.00 %barra b
            3  4      A2      I2  30e6  0.00  0.00      0.00  0.00      0.00  0.00] %barra c

```

Figura 11 – Tabela de dados de entrada

A Figura 11 – Tabela de dados de entrada é a interface para que possam ser informados os dados do pórtico a ser analisado, onde terá quatro campos para se inserir algumas informações. Na primeira matriz (Tabela de identificação dos nós), cada linha representa um nó e cada coluna é uma informação a ser esclarecida.

As variáveis x e y são as coordenadas cartesianas de cada nó, como mostra a Figura 12 – Representação das coordenadas x e y.

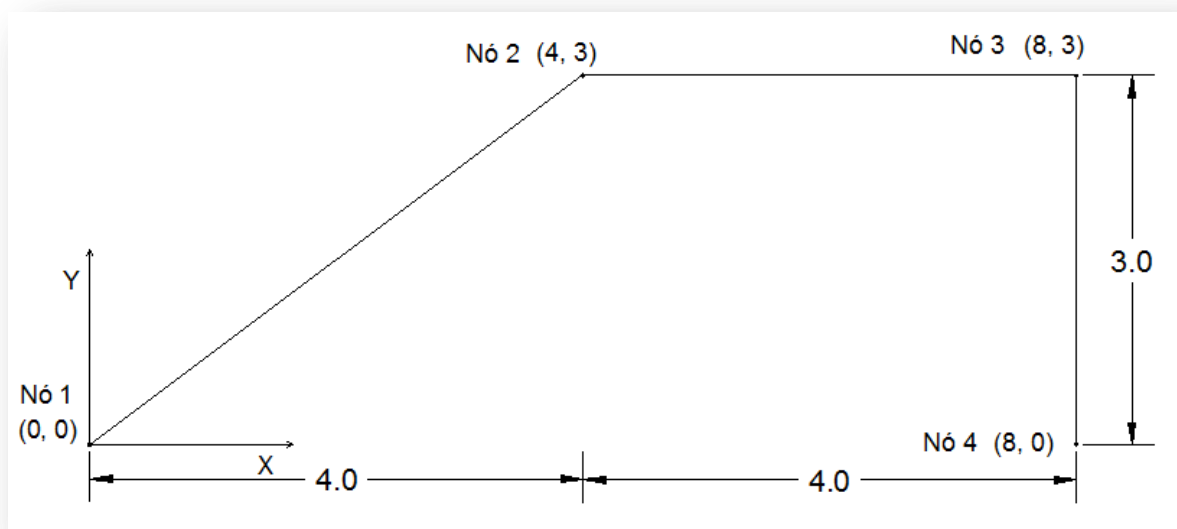


Figura 12 – Representação das coordenadas x e y

Nas colunas 3,4 e 5 são informados se os nós são restringidos ou não nos eixos x , y e z respectivamente caso seja restringido adota-se 1, caso não, preencher com 0. Isto devera ser feito respeitando o seu respectivo eixo. Como é citado anteriormente, cada tipo de apoio tem suas considerações sobre restrição, no apoio de primeiro gênero a única restrição será no eixo y logo x e z serão 0, y será 1. Se o apoio for de segundo gênero as restrições serão respectivamente no eixo x e y sendo assim, x e y serão 1 e z será 0, no caso de apoio de terceiro gênero as restrições serão em todos os eixos desse modo x , y e z será 1.

Nas três colunas seguintes serão inseridas as forças conhecidas para x , y e z respectivamente e se a força for desconhecida inserir “int”.

Por fim, nas três ultimas colunas serão informados os deslocamentos conhecidos, na maioria das vezes os deslocamentos conhecidos serão provenientes de apoios que impeçam esses deslocamentos, ou seja, serão iguais à zero, caso sejam desconhecidos preencheremos com “int”.

A segunda e terceira tabela representam informações a serem inseridas com relação apenas a geometria das barras componentes do pórtico. B_1 e h_1 são a base e a altura da seção respectivamente.

A quarta e ultima matriz é referente às barras que compõe o pórtico, onde cada linha representa uma barra do pórtico e cada coluna uma informação referente a barra. A primeira e segunda coluna deverão ser preenchidas com o número do nó da barra isolada a se iniciar pelo numero 1 e sempre colocar o menor número na coluna da esquerda, como mostra a Figura 13 – Numeração dos nós das barras.

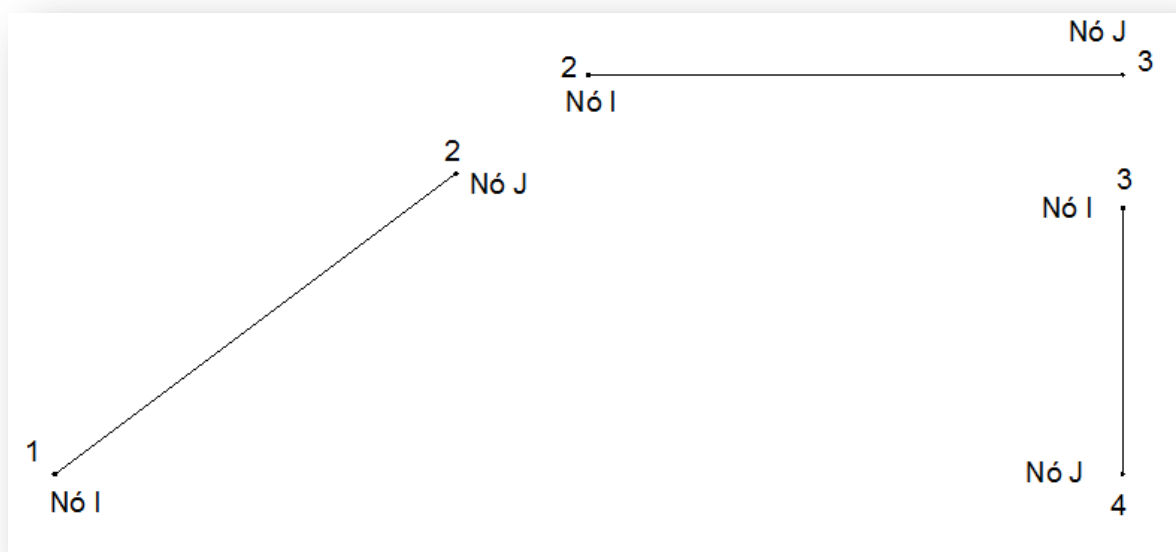


Figura 13 – Numeração dos nós das barras

A terceira e quarta coluna serão respectivamente, área e inércia da seção transversal do pórtico, estas se preencherão automaticamente a quinta informaremos o modulo de elasticidade de cada barra.

Na sexta e sétima coluna, informaremos as cargas distribuídas ao longo da barra no eixo local de coordenadas (A direção da carga obedece a orientação dos eixos locais, portanto pode ser perpendicular e/ou paralela a barra. respectivamente para x e y.

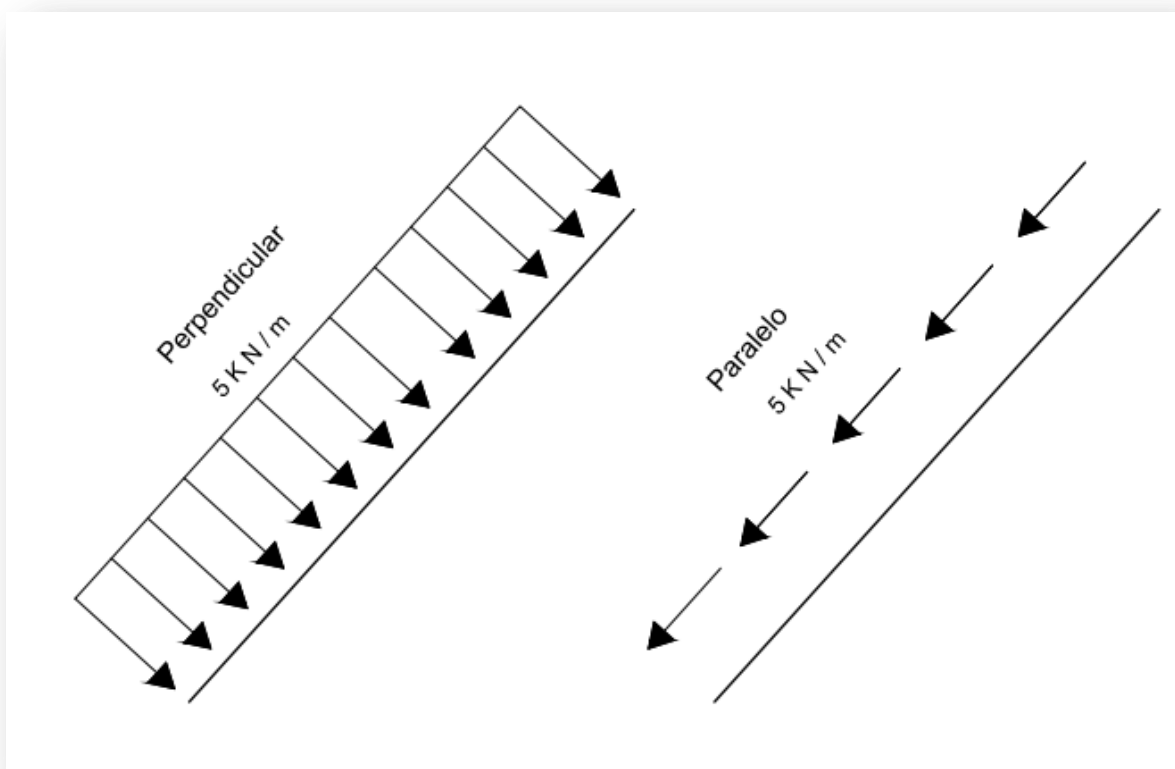


Figura 14 – Carga no eixo local de coordenadas

As duas colunas seguintes são reservadas para inserir as cargas distribuídas ao longo da barra a direção dos eixos globais, nesta, as cargas sempre são nas direções x ou y e nunca serão inclinadas como mostra a figura 15.

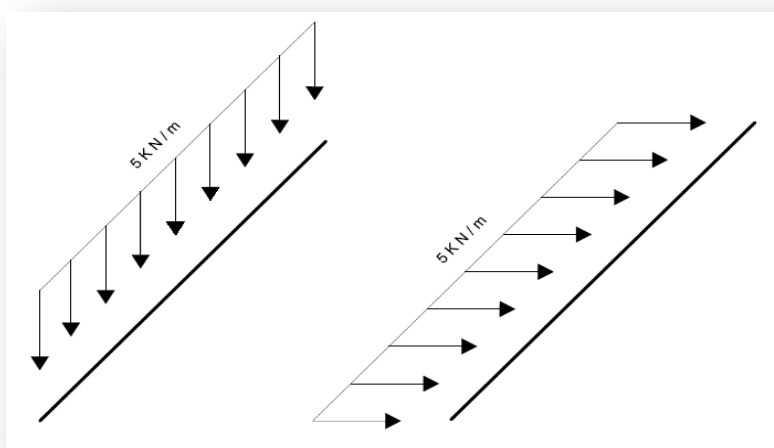


Figura 15 - - Cargas no eixo global de coordenadas

Por fim, as duas ultimas colunas são para informar as possíveis cargas projetadas respectivas no eixo x e y, como mostra a figura 16.

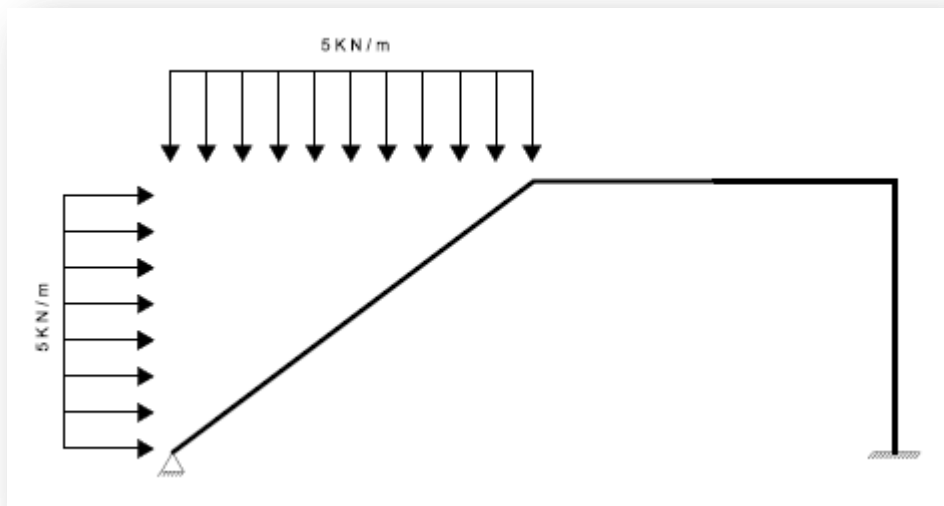


Figura 16 - Cargas projetáveis em uma estrutura

5.3 SAÍDA DE DADOS

Após informar todos os dados necessários para a verificação do pórtico, colocamos o programa para calcular clicando em “Run”, comando em destaque na figura 14.



Figura 17 – Rodar a rotina em plataforma MATLAB

Depois de rodar a rotina, no Command Window, aparecerão todos os resultados inicialmente desejados em forma de duas matrizes devidamente nomeadas.

MatrizEsforços =

4.8375	0.8506	-0.0000	-4.8375	-0.8506	4.2532
13.3596	3.5830	-4.2532	-13.3596	1.0770	6.7592
13.3596	-11.0770	-6.7592	-13.3596	15.7370	-20.0548
15.7370	13.3596	20.0548	-15.7370	-13.3596	20.0241

Figura 18– Matriz de esforços

A Matriz de esforços obtida na figura 15 é o resultado nos extremos de cada barra que forma o pórtico plano, ou seja, cada linha representa uma barra e cada linha representa um esforço sendo: Esforço normal (KN), esforço cortante (KN) e momento fletor (kN x m).

A figura 16 mostra como estariam dispostos tais esforços, visto que as três primeiras colunas são referentes ao nó I e as três seguintes são os esforços do nó J.

MatrizEsforços =

4.8375	0.8506	-0.0000	-4.8375	-0.8506	4.2532
--------	--------	---------	---------	---------	--------

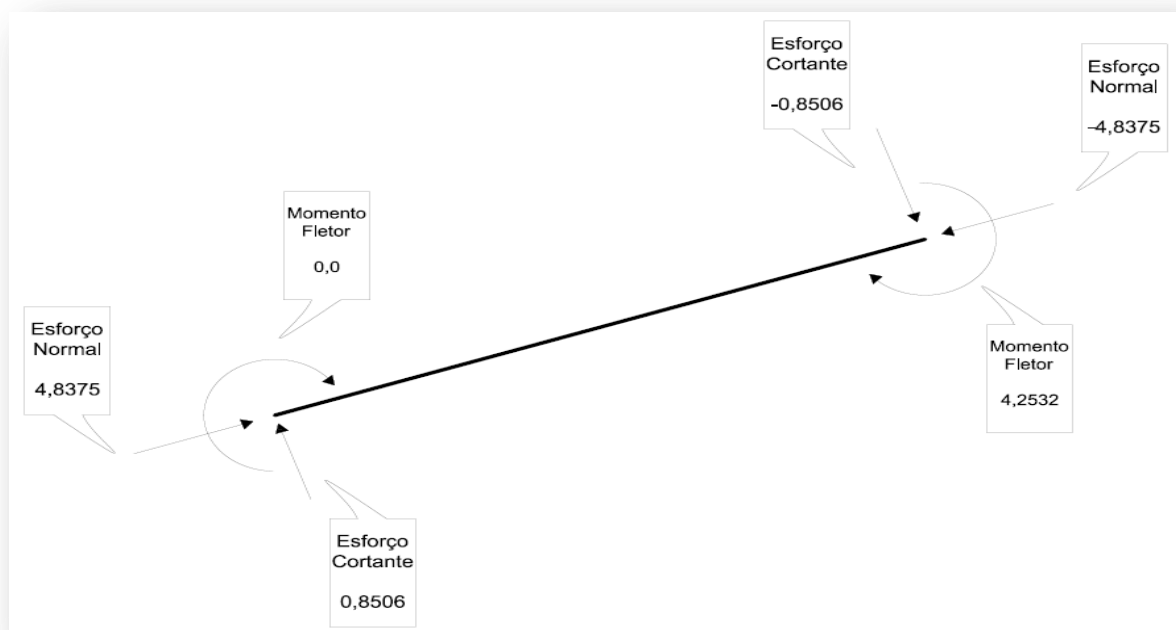


Figura 19 – Disposição dos esforços obtidos

Analisando a figura 16 notamos que a primeira coluna corresponde ao esforço normal, a segunda corresponde ao esforço cortante e a terceira é o momento fletor, todas correspondentes ao nó da esquerda (i) e isso se repete para o nó da direita (j),

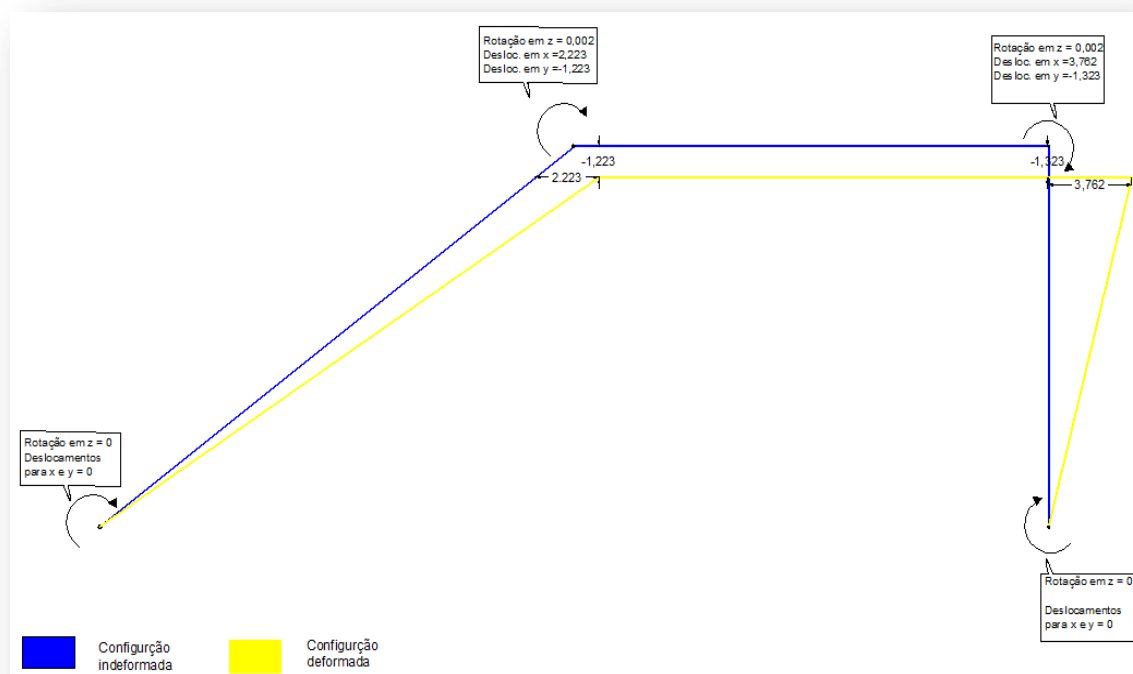


Figura 20 – Disposição dos deslocamentos no portico.

5.4 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Como forma de validação dos resultados foram feitas comparações de uma mesma situação em dois softwares já consagrados a fim de verificar a compatibilidade dos resultados da ferramenta aqui elaborada.

Os softwares que usaremos para fins de comparação serão o SAP2000 e o Ftool. O SAP2000 é um software para análise estrutural e dinâmica, linear e não linear, por elementos finitos e é um dos softwares mais utilizados para análise estrutural, já o Ftool é um programa que se destina ao ensino do comportamento estrutural de pórticos planos, que se preocupam mais com o ensino das técnicas numéricas de análise. Seu objetivo básico é mostrar a estudantes o comportamento estrutural.

5.4.1 Pórtico em aço a ser analisado

Utilizando a rotina criada para a determinação dos esforços e deslocamentos, obtiveram-se os seguintes resultados:

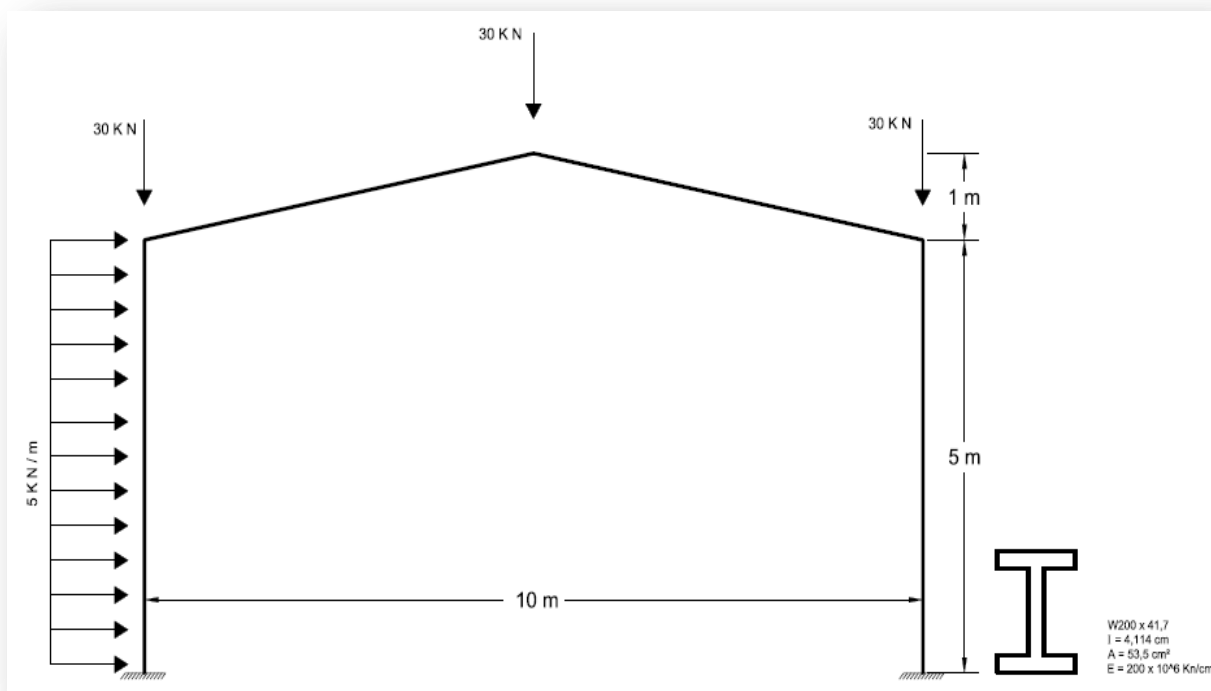


Figura 21 – Portico plano 1 em aço a ser analisado nas três ferramentas

MatrizEsforços =

43.4465	11.3323	13.6375	-43.4465	13.6677	-19.4760
16.0394	10.5050	19.4760	-16.0394	-10.5050	34.0891
16.6487	-13.5515	-34.0891	-16.6487	13.5515	-35.0105
46.5535	13.6677	35.0105	-46.5535	-13.6677	33.3279

MatrizDeslocamentos =

0	0	0	0.0010	-0.0000	-0.0005
0.0010	-0.0000	-0.0005	0.0015	-0.0026	0.0001
0.0015	-0.0026	0.0001	0.0020	-0.0000	0.0001
0.0020	-0.0000	0.0001	0	0	0

Análise feita no Ftool

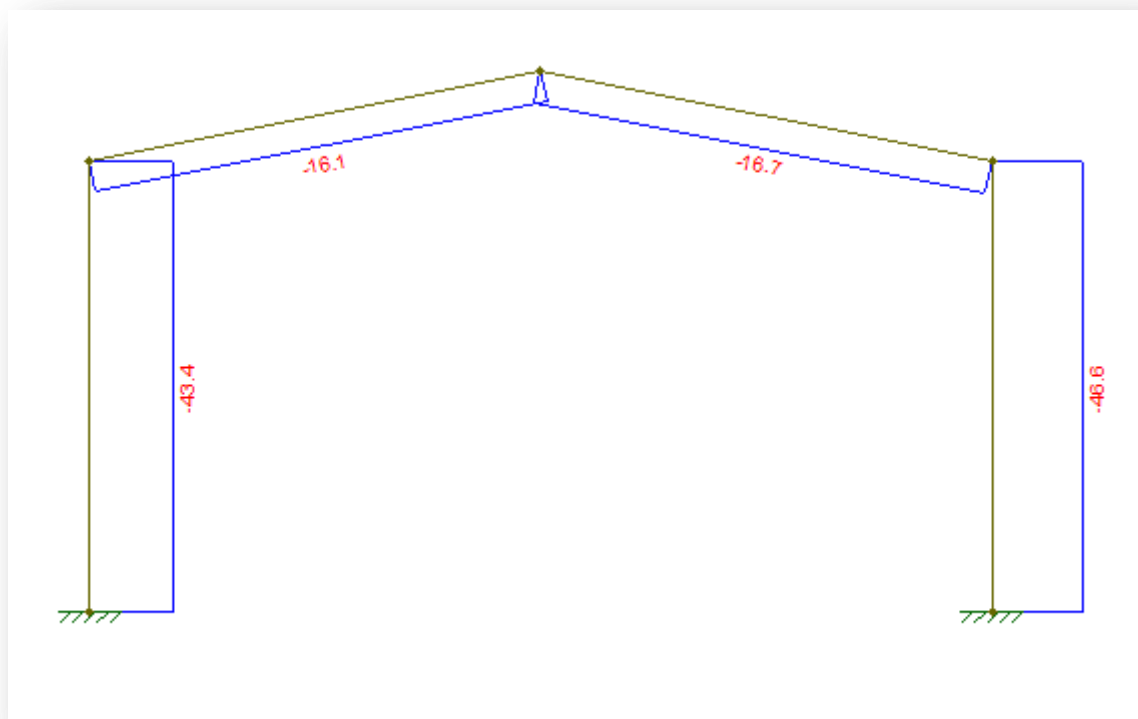


Figura 22- Diagrama de esforço normal obtido no Ftool

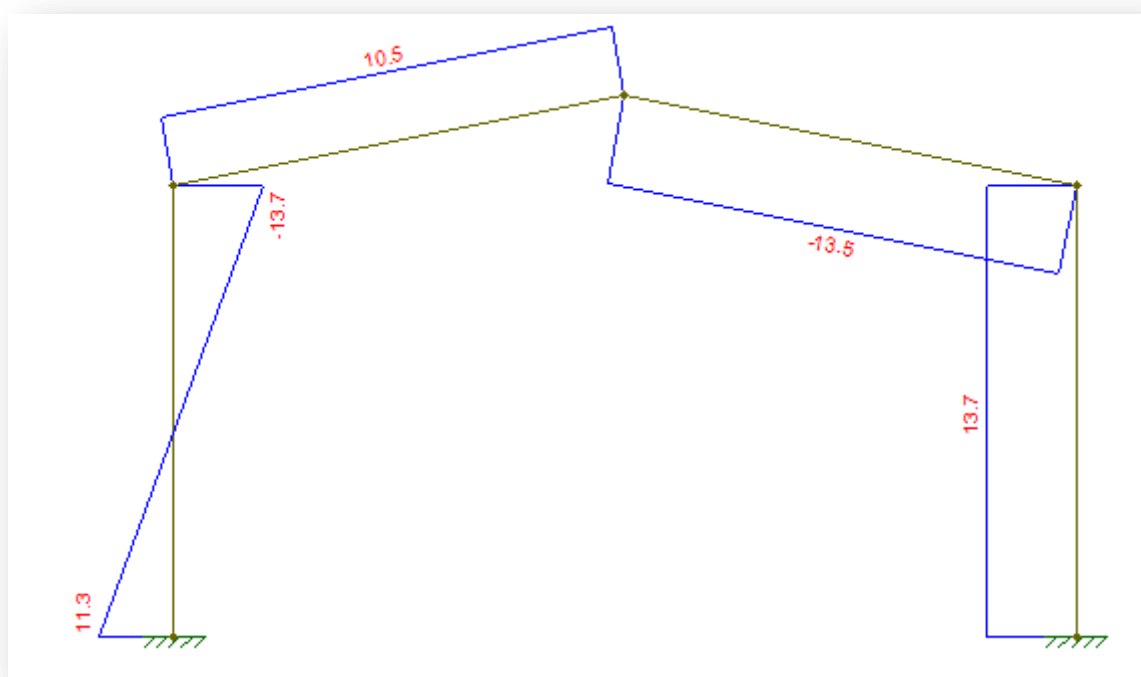


Figura 23- Diagrama de esforço cortante obtido no Ftool

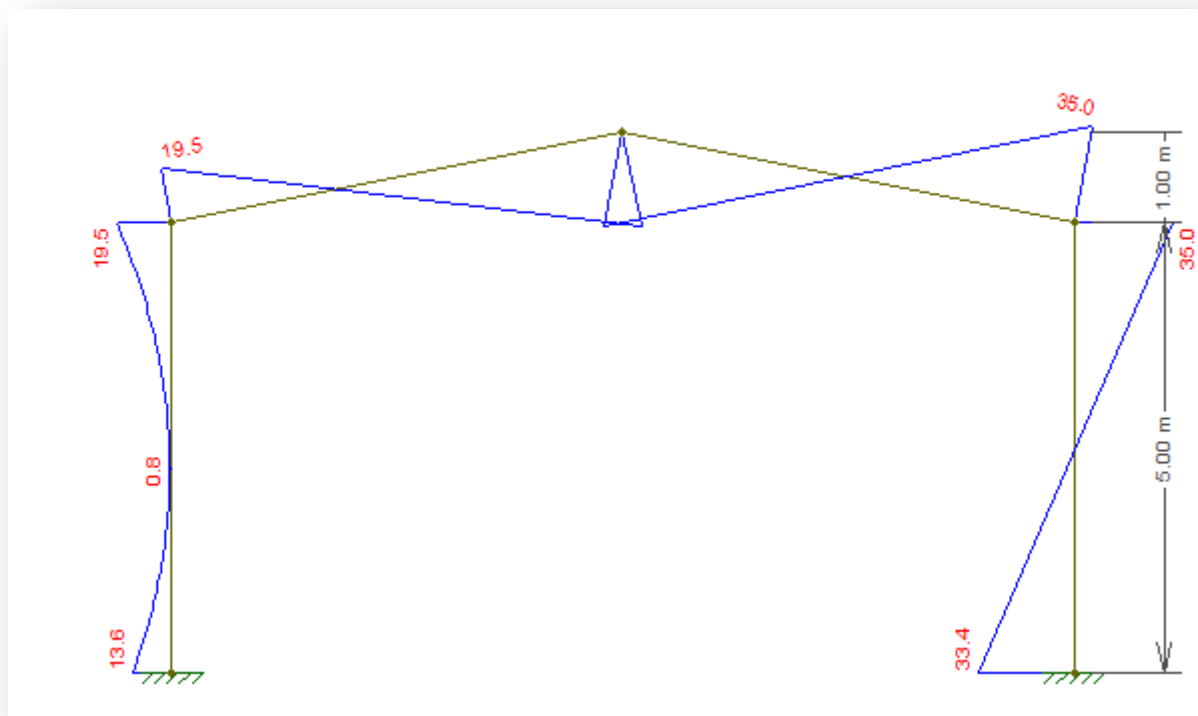


Figura 24- Diagrama de momento fletor obtido no Ftool

Análise feita no SAP2000

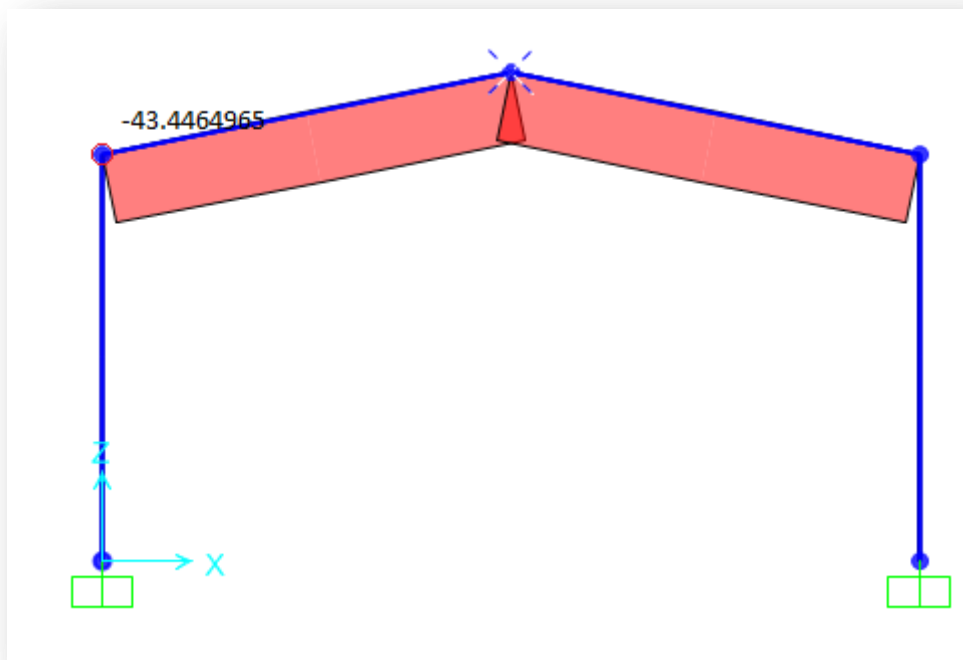


Figura 25- Diagrama de esforço normal obtido no SAP2000



Figura 26- Diagrama de esforço cortante obtido no SAP2000

5.4.2 Pórtico em madeira a ser analisado

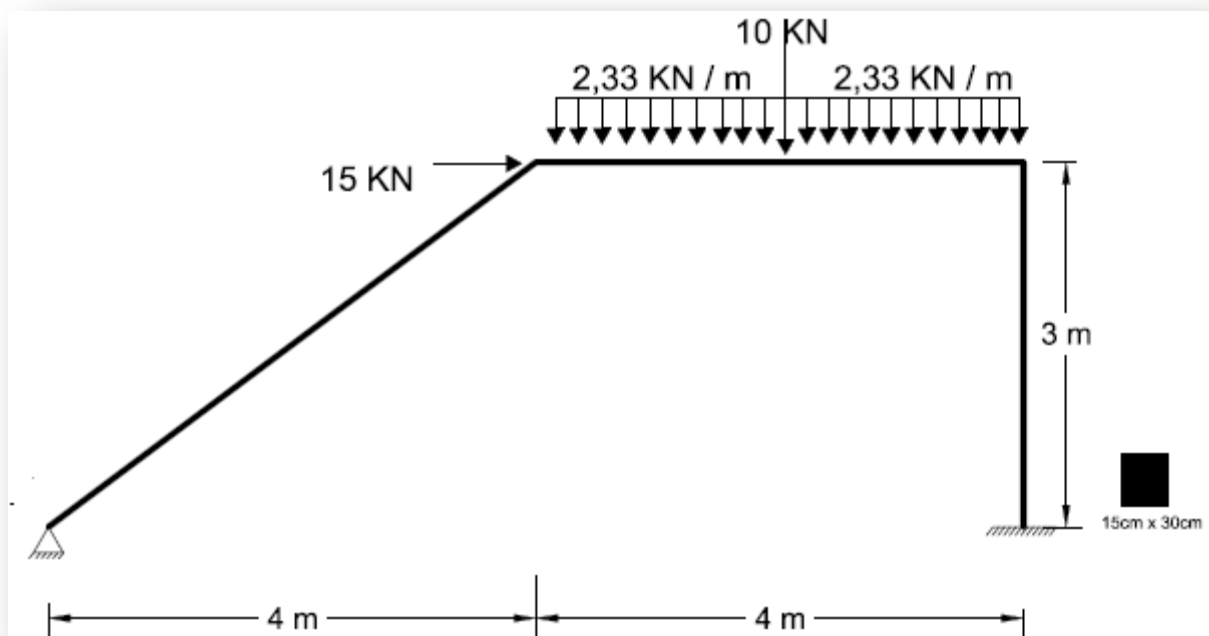


Figura 27 – Portico em madeira a ser analisado

Resultados obtidos em nosso software

MatrizEsforços =

1.4317	1.4531	0.0000	-1.4317	-1.4531	7.2653
15.2736	2.0215	-7.2653	-15.2736	2.6385	6.6482
15.2736	-12.6385	-6.6482	-15.2736	17.2985	-23.2888
17.2985	15.2736	23.2888	-17.2985	-15.2736	22.5319

MatrizDeslocamentos =

1.0e-03 *

0	0	-0.2579	0.5053	-0.6751	0.0112
0.5053	-0.6751	0.0112	0.5019	-0.4203	0.2403
0.5019	-0.4203	0.2403	0.4986	-0.0058	0.0168
0.4986	-0.0058	0.0168	0	0	0

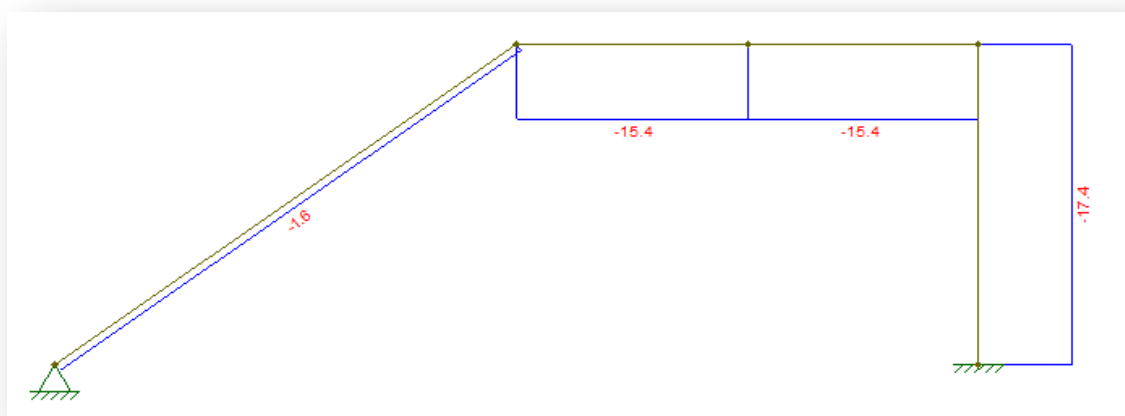


Figura 28- Diagrama de esforço normal obtido no Ftool

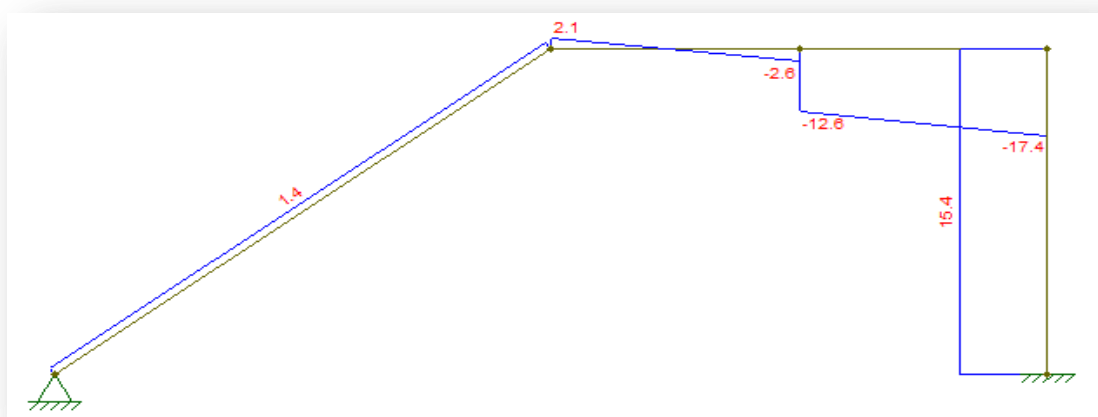


Figura 29- Diagrama de esforço cortante obtido no Ftool

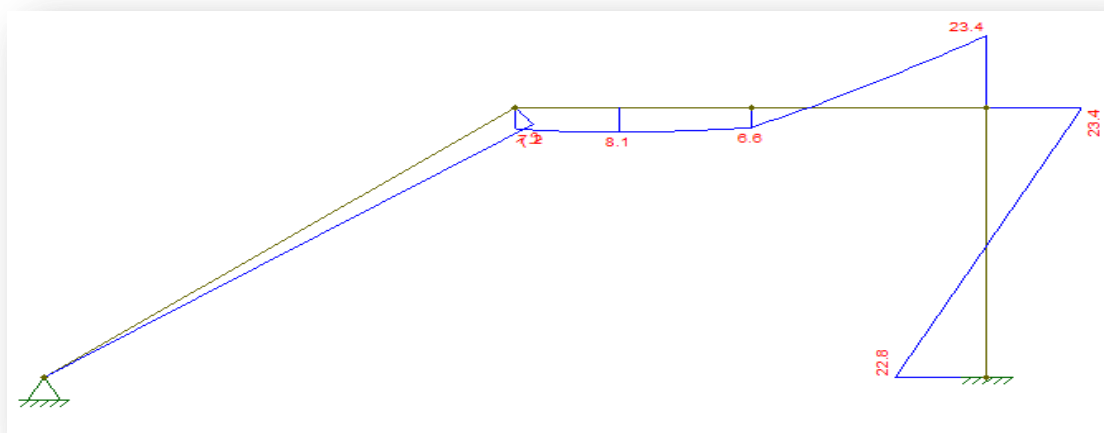


Figura 30- Diagrama de momento fletor obtido no Ftool

Análise realizada no SAP2000

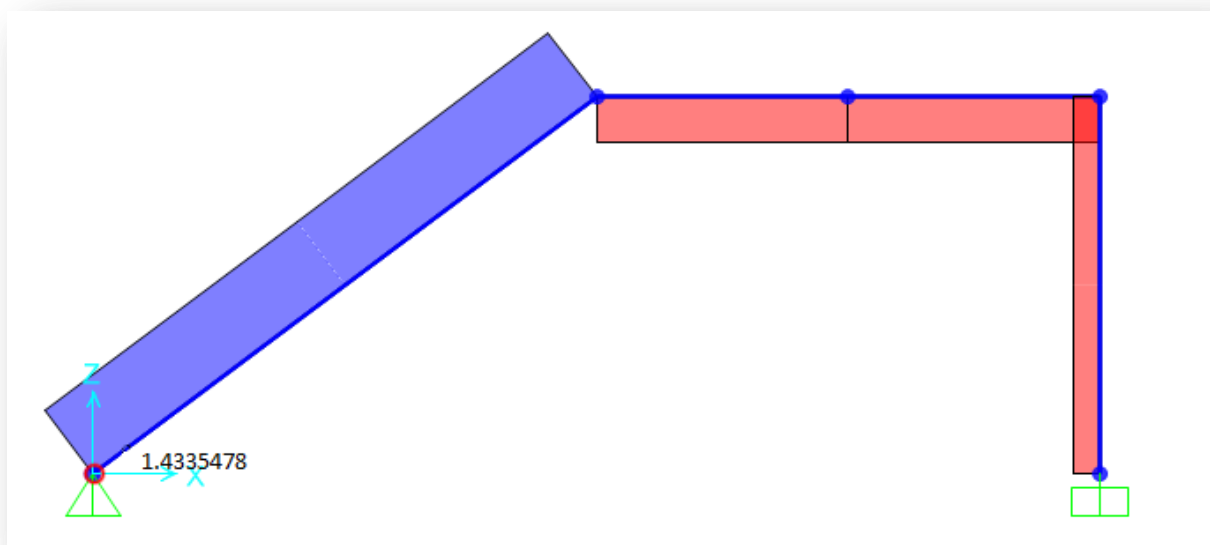


Figura 31- Diagrama de esforço normal obtido no SAP2000

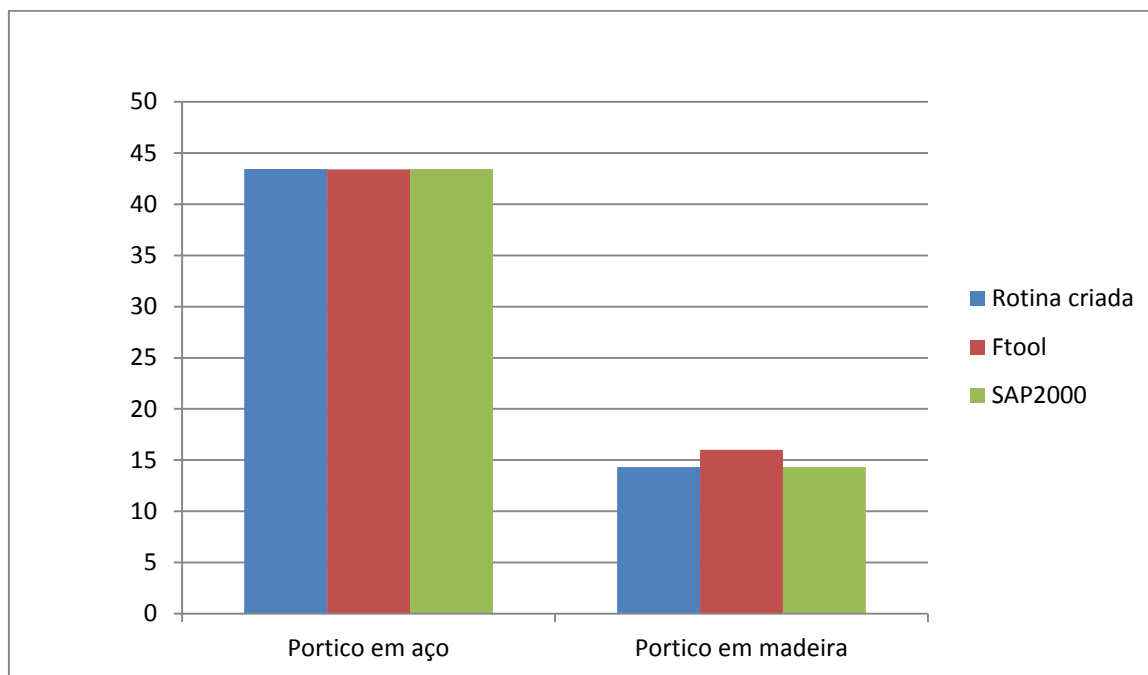


Figura 32 – Gráfico comparativo do esforço normal no nó 2 obtidos através da rotina criada, Ftool e SAP2000.

Gráfico com os dados do esforço normal em três estruturas com materiais diferentes, após análise realizada nos três programas e a obtenção dos resultados percebe-se que os mesmos foram satisfatórios, pois a compatibilidade entre eles é aparente.

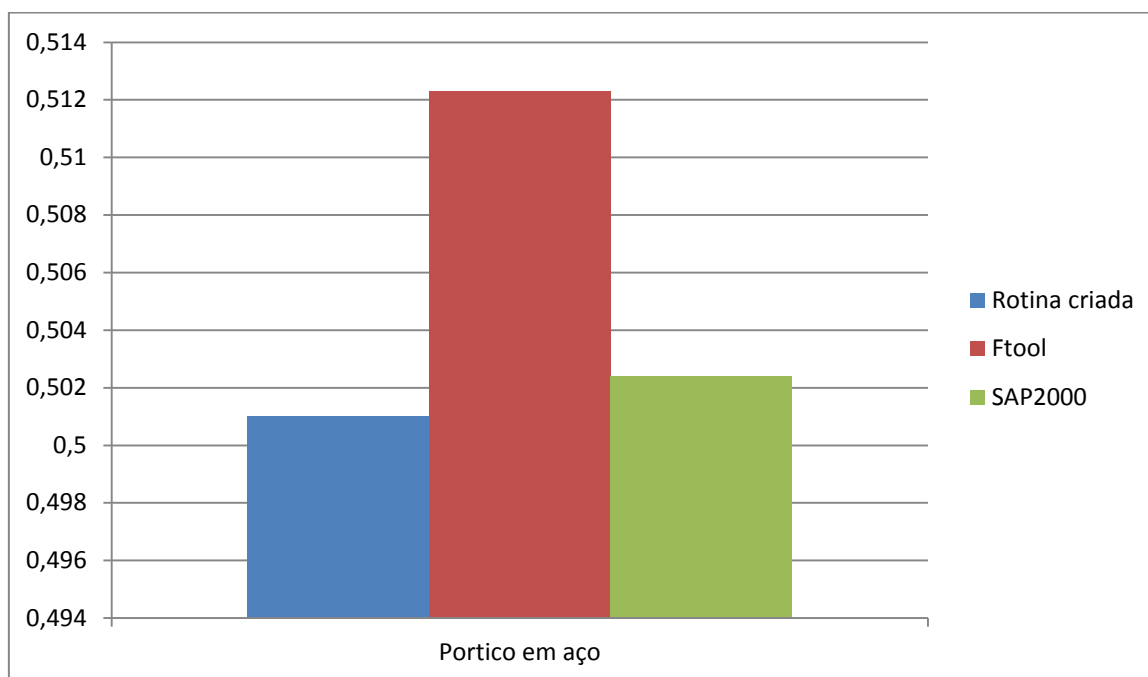


Figura 33 – grafico comparativo do deslocamento obtidos atraves da rotina criada, Ftool e SAP2000.

Gráfico com os dados dos deslocamentos obtidos em três estruturas com materiais diferentes, após análise realizada nos três programas e a obtenção dos resultados percebe-se que os mesmos foram satisfatórios, pois a compatibilidade entre eles é aparente.

CONCLUSÃO

O propósito principal deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para análise de pórticos planos simples, pode-se dizer que o resultado superou as expectativas, além de afirmar que a ferramenta apresentou resultados satisfatórios levando-se em conta a complexidade da rotina criada e o fato de que o método dos elementos finitos que aqui considera-se, possui um alto nível de dificuldade para ser compreendido e executado em uma plataforma.

O programa foi validado considerando a duas metodologias de cálculo, utilizando a teoria de Timoshenko e a teoria de Euler Bernouli, e como o software foi desenvolvido baseando-se em Timoshenko verifica-se que os resultados obtidos foram quase cem por cento precisos em comparação ao SAP200 que também tem sua rotina de programação baseada na teoria de Timoshenko, já em comparação ao software Ftool houve algumas discrepâncias quando comparado os deslocamentos sofridos porém ainda assim os resultados foram próximos e como justificativa para esta discrepância temos, que o software Ftool baseia-se na teoria de Euler Bernouli.

Foi plausível identificar a força da linguagem de programação da plataforma MATLAB, visto que tal plataforma nos permite criar rotinas baseadas em matrizes cuja facilidade de manuseio é facilitada.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, pela vida, por permitir com que tenhamos famílias maravilhosas e por ter nos colocado ao redor de grandes pessoas. Aos nossos pais, avós e familiares, por tudo, principalmente pelo Incentivo. Ao orientador Adauto, a quem devemos muito, pela aprendizagem acadêmica, pela constante disponibilidade, pela prontidão em sempre nos receber e pela grande humildade que possui. Por fim a nossa professora Silvia, a mais linda e gentil, que nos ajudou até nos corredores da faculdade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, L. **Estruturas de aço conceitos, técnicas e linguagem**. 8ª Ed. São Paulo: 2011. 29 p.

MCCORMAC, J. C. **Análise estrutural**. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: 2009. 128 p.

MARGARIDO, A. F. **Fundamentos de estruturas**: Um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam no estudo das estruturas. 6ª Ed. São Paulo: 2001. 156 p.

MARTA, L. F. **Análise de Estruturas**: Conceitos e métodos básicos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SORIANO, H. L. **Elementos finitos**: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas. 2ª Ed. Rio de Janeiro: 2009. 367 p.

SORIANO, H. L. **Elementos finitos**: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas. 2ª Ed. Rio de Janeiro: 2009. 46 p.

SOUZA, R. M. **Análise estrutural computacional**: método da rigidez direta para análise de treliças e pórticos planos. Belém: 2012, 151p.

QUEIROZ, R. L. (2010). **Desenvolvimento de um SOFTWARE com interface gráfica para análise e verificação de pontes ferroviárias em concreto armado**. Belém, 115p. Dissertação de Pós – Graduação, Universidade Federal do Pará.

