

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**JÚNNIO DE SOUSA VIEGAS
LUCAS ALCÂNTARA DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE ESTRUTURAL A PARTIR DO MÉTODO DOS
DESLOCAMENTOS COM AUXÍLIO DA FERRAMENTA
MATLAB**

ANÁPOLIS / GO

2018

**JÚNNIO DE SOUSA VIEGAS
LUCAS ALCÂNTARA DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE ESTRUTURAL A PARTIR DO MÉTODO DOS
DESLOCAMENTOS COM AUXÍLIO DA FERRAMENTA
MATLAB**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

VIEGAS, JUNNIO DE SOUSA / OLIVEIRA, LUCAS ALCÂNTARA DE.

Análise Estrutural a Partir do Método dos Deslocamentos com Auxílio da Ferramenta MATLAB.

44P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC – UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. Método Numérico | 2. Estruturas |
| 3. MEF | 4. Programação |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIEGAS, J. S.; OLIVEIRA, L. A. Análise Estrutural a Partir do Método dos Deslocamentos com Auxílio da Ferramenta MATLAB. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 93p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Júnio de Sousa Viegas

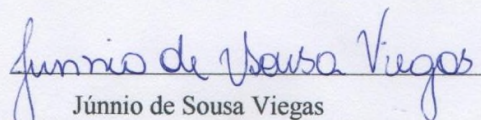
Lucas Alcântara de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise Estrutural a partir do Método dos Deslocamentos com Auxílio da ferramenta MATLAB.

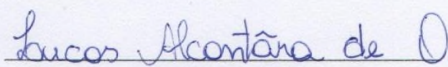
GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Júnio de Sousa Viegas
E-mail: junnioviegas@hotmail.com




Lucas Alcântara de Oliveira
E-mail: lucaas_alcantara@hotmail.com

JÚNNIO DE SOUSA VIEGAS
LUCAS ALCÂNTARA DE OLIVEIRA

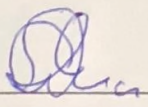
ANÁLISE ESTRUTURAL A PARTIR DO MÉTODO DOS
DESLOCAMENTOS COM AUXÍLIO DA FERRAMENTA
MATLAB

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

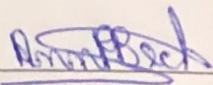
APROVADO POR:



WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre em Eng. Civil (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)



AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Especialista
(UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



ANNA PAULA BECHEPECHE, Doutora (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 06 de JUNHO de 2018.

A Deus, que iluminou o nosso caminho, nos deu força e coragem ao longo desta caminhada para vencer as dificuldades. Por ser essencial em nossas vidas e nosso socorro na hora da angústia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Daguiamar e Cleia, pelo amor, carinho, apoio, credibilidade e dificuldades vencidas.

Em especial a minha mãe, que sempre me deu todo suporte necessário e tornou esse caminho mais fácil.

A professora Wanessa Mesquita pela orientação, paciência, disposição e total dedicação em seu trabalho.

A todos os professores do curso, que foram de suma importância na minha formação.

Júnnio de Sousa Viegas

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por ter me ajudado em todos os momentos dessa etapa da minha vida, além de fazer todos os esforços para que eu pudesse concluir esta graduação.

Ao meu padrasto por ser um segundo pai para mim, e ter me ajudado a tornar esse caminho mais fácil.

A todos os meus colegas de classe por toda ajuda fornecida nas horas necessitadas.

A todos os professores que passaram seus conhecimentos para nós, em especial para professora Wanessa Mesquita por toda orientação, dedicação e ensinamentos.

Lucas Alcântara de Oliveira

RESUMO

Historicamente sempre foi intrínseco ao homem um desejo de realizar grandes construções, que continua crescendo e evoluindo técnicas em obras desafiadoras. A criação de ferramentas que pudessem auxiliar nesse constante avanço da engenharia estrutural foi uma consequência direta. Neste contexto, no início das décadas de 80 e 90, foram implementados os primeiros softwares na engenharia, facilitando análises, detalhamento, dimensionamento e desenho das estruturas. O presente trabalho fará uma abordagem da utilização da ferramenta MATLAB (matrix laboratory), um ambiente simplista de programação desenvolvido por Cleve Moler, com intuito de desenvolver um programa baseado no método dos deslocamentos capaz de fazer uma análise comportamental de qualquer estrutura. A metodologia do método dos deslocamentos consiste em realizar operações básicas que satisfazem as condições de compatibilidade, mas não de equilíbrio, e na superposição dos casos básicos as condições de equilíbrio serão atendidas. Para confecção do sistema operacional será feito estudo da linguagem de programação e inserção da lógica do método dentro do programa sendo este apto a fazer uma leitura da estrutura e gerar o resultado de esforços solicitantes.

PALAVRAS-CHAVE:

Engenharia Estrutural. Software. MATLAB. Programação. Método dos Deslocamentos.

ABSTRACT

Historically has always been intrinsic to man a desire to perform big constructions, which keeps evolving and developing techniques in challenging works. The creation of tools that could aid in this constant advance of structural engineering was a direct consequence. In this context, in the early 1980s and 1990s, the first engineering software was implemented, facilitating analysis, detailing, dimensioning and design of the structures. The present work will focus on the use of MATLAB (matrix laboratory), a simplistic programming environment developed by Cleve Moler, to develop a program based on the displacement method capable of performing a behavioral analysis of any structure. the methodology of the displacement method consists in carrying out basic operations that satisfy the conditions of compatibility, but not of equilibrium, and in the overlapping of the basic cases the equilibrium conditions will be satisfied. For the preparation of the operating system will be made study of the programming language and insertion of the logic of the method within the program being able to make a reading of the structure and generate the result of requesting efforts.

KEYWORDS:Structural Engineering. Software. MATLAB. Programming. Displacement Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configuração deformada de um pórtico plano formado pela superposição de configurações deformadas elementares.....	21
Figura 2 – Configuração deformada de um pórtico plano formadas pela superposição de configurações deformadas elementares reduzidos.....	21
Figura 3 – Eixos de deslocamentos.....	23
Figura 4 – Orientação de deslocamento.....	23
Figura 5 – Layout do software Matlab.....	28
Figura 6 – Operações com matrizes.....	31
Figura 7 – Layout gráfico Matlab.....	32
Figura 8 – Escopo do programa.....	34
Figura 9 – Interface do programa.....	37
Figura 10 – Pórtico Plano 1.....	39
Figura 11 – Pórtico Plano 2.....	41
Figura 12 – Pórtico Plano 3.....	43
Figura 13 – Pórtico Plano 4.....	45
Figura 14 – Pórtico Plano 5.....	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Funções Matlab.....	.29
Tabela 2 – Resultados força normal.....	40
Tabela 3 – Resultados força cortante	40
Tabela 4 – Resultados momento fletor.....	41
Tabela 5 – Resultados força normal.....	42
Tabela 6 – Resultados força cortante	42
Tabela 7 – Resultados momento fletor.....	43
Tabela 8 – Resultados força normal.....	44
Tabela 9 – Resultados força cortante	44
Tabela 10 – Resultados momento fletor.....	45
Tabela 11 – Resultados força normal.....	46
Tabela 12 – Resultados força cortante.....	46
Tabela 13 – Resultados momento fletor.....	47
Tabela 14 – Resultados força normal.....	48
Tabela 15 – Resultados força cortante.....	48
Tabela 16 – Resultados momento fletor.....	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
1.3	METODOLOGIA.....	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	LINGUAGEM E PROGRAMAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL.....	17
2.2	PRINCIPAIS SOFTWARES E PLATAFORMAS.....	19
2.2.2	Software de sistema.....	19
2.2.2	Software de aplicação.....	20
2.3	MÉTODO DOS DELOCAMENTOS E ESTRUTURAS MODELÁVEIS.....	20
2.3.1	Estrutura principal.....	22
2.3.2	Grau de hipergeometria.....	22
2.3.3	Sistema hipergeométrico.....	23
2.3.4	Casos para determinação dos coeficientes.....	23
2.3.5	Montagem da matriz de solução.....	24
2.3.6	Determinação dos esforços finais.....	24
2.3.7	Estrutura modelo.....	25
2.3.8	Sistemas estruturais.....	25
2.4	SOFTWARE MATLAB.....	27
2.4.1	Layout do Matlab.....	28
2.4.2	Comando básicos e funções.....	29
2.4.3	Manipulação de matrizes.....	31
2.4.4	Gráficos.....	31
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	33
3.1	LEVANTAMENTO TEÓRICO.....	33

3.2	ESTRUTURA DO PROGRAMA DE CÁLCULO DE ANÁLISE PELO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS.....	34
3.2.1	Inicialização.....	34
3.2.2	Leitura de dados.....	35
3.2.3	Graus de liberdade.....	35
3.2.4	Matriz de rigidez.....	35
3.2.5	Vetor de cargas equivalentes.....	35
3.2.6	Esforços.....	36
3.2.7	Finalização.....	36
3.2.8	Interface do programa.....	37
3.2.9	Arquivo de entrada.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1	PÓRTICO PLANO 1.....	39
4.2	PÓRTICO PLANO 2.....	41
4.3	PÓRTICO PLANO 3.....	43
4.4	PÓRTICO PLANO 4.....	45
4.5	PÓRTICO PLANO 5.....	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50

REFERÊNCIAS

ANEXO I

APÊNDICE

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo de introdução serão apresentados os estudos que deram início a esta monografia. Abordará a contextualização do tema, bem como os objetivos gerais e específicos, justificativa, metodologia empregada e a estruturação do trabalho.

No mesmo passo que o homem buscou o aprimoramento da engenharia estrutural, viu-se necessário a criação de softwares e outras ferramentas que a conduziram. A partir disso, analisaremos, computacionalmente, o comportamento de estruturas para garantir um melhor desempenho e buscar correções lógicas.

Segunda Almeida (2014) “para a desenvoltura de um programa, com êxito, é recomendável que siga o seguinte escopo: Observação, onde é feito um estudo para compreensão do problema; Experimentação, para evidenciar comportamentos e padrões; Predição, para desenvolver métodos primários para solução; Simulação, onde por meio de técnicas computacionais, encontrar a melhor solução; e o Projeto que é a ferramenta pronta para uso”.

São inúmeras as aplicações de softwares na Engenharia Civil, destacando as áreas de Estruturas, Geotécnica e Fundação, podendo tanto ser utilizados para projeção quanto no detalhamento, análises de estabilidade, escavações e deformabilidade. Sendo, também, comum o uso em outros setores como na Engenharia Aeroespacial no dimensionamento e aerodinâmica da espaçonave e na Biomecânica por meio da confecção de próteses.

Submergindo na parte estrutural, a arquitetura do projeto será confeccionada após passar por uma série de etapas, dentre as quais se tem o conhecimento prévio da estrutura, pré-dimensionamento, análise estrutural, dimensionamento de cada elemento e verificações complementares. Caso o produto satisfaça as exigências, é feito detalhamento e desenho final. Se houver alguma complicação, é feita modificações e retorna para etapa de análise estrutural.

A Análise estrutural pode ser dividida em quatro setores – Estrutura Real, Modelo Estrutural, Modelo Discreto e Modelo Computacional- e tem por objetivo realizar uma avaliação comportamental da estrutura. Dentre estes, abordaremos com mais cautela o Modelo Computacional.

Quando se estuda estruturas em que as equações da estática não são capazes de determinar diretamente os esforços, há dois métodos que podem auxiliar diretamente para defini-los, o Método das Forças e o Método dos Deslocamentos, sendo este funcional para implementação computacional, considerando as deformações axiais. Através de técnicas básicas, como armazenamento de dados em vetores e matrizes e manipular operações de

álgebra matricial, e auxílio da ferramenta MATLAB, podemos fazer uma análise minuciosa da estrutura.

O MATLAB (abreviação para MATrixLABoratory) é um ambiente de programação originalmente desenvolvido para prover um tratamento amigável com vetores e matrizes. O programa é bem adequado àqueles que desejam implementar e testar soluções com facilidade e precisão, sem perder tempo com detalhes específicos de linguagem de programação, já que o programa possui maior flexibilidade.

Tendo como base do seu funcionamento a análise numérica e o cálculo de matrizes, o MATLAB será o software suporte para o desenvolvimento de programas para simplificar a análise de estruturas. Tal programa será desenvolvido em uma sequência de ações em que, primeiramente, será feito um estudo para reconhecimento do problema, identificando operações a serem executadas e a ordem que serão manejadas, desmembrando em programas menores para facilitar a programação e evitar comandos desnecessários, determinar padrões repetitivos e a lógica da tarefa a ser executada.

É visto que, para uma boa programação, haja competências básicas, tais como: o domínio da tarefa, a capacidade de ordenamento de atividades em sequência lógica, a divisão do problema em tarefas menores, a identificação de tarefas executadas várias vezes e em vários momentos diferentes, identificação de padrões, capacidade de previsão das interações e capacidade de resposta ao inesperado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um programa experimental, capaz de ler e analisar, ou seja, receber dados sobre a estrutura, interpretá-los, realizar as operações necessárias e emitir informações sobre a estrutura (esforços solicitantes, momentos), sendo que o procedimento de análise é a utilização do Método dos Deslocamentos. Colocando toda a lógica do método dentro do software MATLAB, que auxiliará para determinação das variáveis requisitas. E, ainda, validar o programa comparando as estruturas-modelo com resultados encontrados no software Ftool.

1.1.2 Objetivos específicos

- Aperfeiçoar o conhecimento sobre métodos de análise de estruturas e sua aplicação no projeto de estruturas;
- Aprender as técnicas básicas de programação numérica;
- Aprender a programar o método de deslocamento para análise de estruturas;
- Elaborar de um programa computacional simples para análise de estruturas;
- Criar hipóteses para verificar a funcionalidade do programa;
- Validar o programa com estruturas exemplos com programas já consolidados, no caso desta monografia o software Ftool.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Indústria da Construção Civil (ICC) possui vasto impacto na economia do país, visto que é um setor amplo e suas atividades relacionam-se de forma direta com a economia, pois é uma grande geradora de emprego, renda e tributos. É através dela que toda a infraestrutura – portos, ferrovias, rodovias, energia e outros – necessários para o desenvolvimento dos mais diversos setores é realizada. Sendo assim, o desenvolvimento da ICC facilita e proporciona o crescimento de outras atividades econômicas (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

Portanto a escolha do uso dos métodos computacionais na análise estrutural deve-se, principalmente, por sua grande importância, maior eficiência e produtividade, uma vez que o método nos permite prever o comportamento da estrutura, garantindo maior efetividade e segurança ao projeto além de um menor tempo de execução.

1.3 METODOLOGIA

Visando atingir os objetivos propostos neste trabalho será desenvolvido um programa experimental, dentro da ferramenta MATLAB, utilizando da formulação do método dos deslocamentos geral, onde será comprovada a eficiência do mesmo utilizando como exemplo três estruturas simples: um pórtico, uma treliça plana e uma grelha.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado em cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução, onde se contextualiza o tema tratado, expõe os objetivos gerais e seus desdobramentos específicos, justificativa, bem como uma apresentação da metodologia a ser empregada e a estruturação do texto.

Logo, o capítulo 2 traz o referencial teórico onde será discutido o breve histórico da programação na Engenharia Civil. Será abordado também as plataformas de programação e os principais programas utilizados. Mostrará a ideia do método dos deslocamentos geral e os tipos de estruturas modeladas por programas computacionais.

Já o capítulo 3 descreve o programa experimental do estudo, neste apresenta-se a estrutura do programa e as principais estruturas exemplo.

Os resultados obtidos, as análises e discussões sobre as análises serão tratadas no capítulo 4.

Por fim, o capítulo 5 será dedicado às considerações finais do trabalho.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica da monografia, subdividida em quatro principais tópicos: Linguagem e programação na Engenharia Civil; Principais softwares e plataformas de programação; Ambiente de programação MATLAB e por fim, uma apresentação do método dos deslocamentos geral e tipos de estruturas modeladas por programas computacionais. Tal revisão é de suma importância para o cumprimento dos objetivos propostos pelo trabalho, já que garante conhecimentos básicos para o entendimento de todo o restante do projeto.

2.1 LINGUAGEM E PROGRAMAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL

A história da civilização é a história da Engenharia, e civilizações altamente desenvolvidas são notadas através de suas conquistas neste ramo do conhecimento. Para enfrentar a complexidade de problemas, ultrapassar barreiras e buscar sempre um desafio maior é exigido do profissional de engenharia mais que disciplina, foco e dedicação, é também necessário o uso de métodos específicos, onde a engenharia encontrou-se respaldada nos programas computacionais.

De uma forma sintetizada, programar é criar um conjunto de instruções que auxiliará na realização de alguma atividade, sendo este o caminho mais viável para aprimorar habilidades para desenvolver métodos de soluções de problemas complexos. Para que esse programa funcione é preciso que seja pré-determinado uma linguagem de programação, que, por sua vez, é um conjunto de regras sintáticas e semânticas que irão defini-lo, ou seja, uma sequência de caracteres distribuídos de forma ordenada que apresentem um sentido.

Linguagem de programação é a ferramenta que os programadores utilizam para codificar instruções a serem seguidas por um programa ou algoritmo de programação. Para que exista uma troca de informações entre o homem e a máquina é necessária que a linguagem utilizada por ambos seja a mesma. Quando há uma interação entre por meio de programação, a pessoa que escreve o código do programa é denominada programador, já o código quando capaz de executar ou pedir algum comando passa a ser chamado de algoritmo (FERRI, 2017).

Programas podem ser escritos de diversas formas por meio de inúmeras linguagens, como: Java, Pascal, MATLAB, Fortran, Clipper, Python e várias outras. Cabe ao programador selecionar a linguagem que melhor atende as suas necessidades. Juntas possuem um gama de

oportunidades de criação, desde jogos e aplicativos a inteligência artificial, que serão classificadas e distribuídas, principalmente, pela estruturação da linguagem, assimilação com linguagem humana, funções específicas, eficácia e facilidade de programação.

Segundo Gudwin (1997), as linguagens de programação podem ser subdivididas na seguinte sistemática:

Linguagens de Baixo Nível - São linguagens cujas instruções correspondem quase que diretamente ao código de máquina que será enviado ao processador para execução. Na verdade, existem tantas linguagens de baixo nível quantos são os conjuntos de instruções dos diferentes processadores. Essas linguagens são conhecidas de uma maneira unificada como “Linguagem Assembly”.

Nesse sentido, as linguagens de baixo nível estão diretamente relacionadas com a arquitetura do computador.

Linguagens Não-Estruturadas - São linguagens mais sofisticadas que as linguagens de baixo nível. Mais flexíveis, pois seus comandos não estão tão vinculados ao processador e sistema utilizados, tornando seu uso possível em diferentes plataformas. Do mesmo modo, a semântica de seus termos torna-se mais genérica, estando desassociada do conjunto de instruções que irão efetivamente implementá-la durante a execução do programa. Isso permite que operações mais sofisticadas sejam emuladas por sequências de instruções mais simples em linguagem de máquina. Ainda que representassem um grande avanço em comparação com as de baixo nível, as linguagens não estruturadas perderam espaço para outras mais sofisticadas. Podemos citar como exemplo dessa linguagem o Cobol e o Basic.

Linguagens Procedurais - As linguagens procedurais são um dos subtipos das linguagens chamadas “estruturadas”. Essas linguagens se diferenciam das linguagens não estruturadas, pela existência de estruturas de controle, que entre outras coisas promovem o teste de condições (if-then-else), controlam a repetição de blocos de código (for, while, do), fazem a seleção de alternativas (switch, case), e dividem o código do programa em módulos chamados de funções ou procedimentos. As linguagens procedurais são caracterizadas pela existência de algoritmos, que determinam uma sequência de chamadas de procedimentos, que constituem o programa. Essa característica é colocada em contraposição às linguagens funcionais, onde se descrevem expressões que caracterizam um certo tipo de conhecimento. Os principais exemplos de linguagens procedurais são Fortran, C e Pascal.

Linguagens Orientadas a Objeto – Moldada pela necessidade de uma linguagem que explorasse o máximo do potencial das novas tecnologias. Foram originadas a partir da necessidade de organizar o processo de programação em uma linguagem. A programação

orientada a objetos é por si, só uma técnica. Uma linguagem é dita uma linguagem orientada a objetos, se ela suporta o estilo de programação orientada a objetos. Seus representantes principais são C++, Java, Eiffel.

Inúmeras situações do dia a dia de um engenheiro podem ser simplificadas a partir do uso de algum software, de forma sucinta, toda a atividade rotineira pode ser auxiliada com o manuseio de um programa de computador, sejam planilhas e macros de Excel para controles financeiros, sistemas de registro e totalização de dados, cálculos de circuitos, alterações nas vazões de rios e vários outros.

O trabalho com um programa de computador não só simplifica a dimensão do problema, mas implica em diversos fatores positivos, como: eliminação de processos manuais evitando falha humana, evita redundância de atividade, reduz o tempo dos processos, otimiza o fluxo de informação e melhora o controle das operações. A variedade de softwares voltados para área de engenharia é imensa, passa por softwares de CAD (AutoCAD, MicroStation), de cálculo (Mathematica, MatLab), de estatística (MiniTab, Statistica), Cálculo de Estruturas (Adina), Fluxo de Transporte e Logística (TransCAD).

2.2 PRINCIPAIS SOFTWARES E PLATAFORMAS

Uma plataforma é um ambiente pré-existente projetado para ser executado internamente, fazendo uso das suas instalações. Qualquer programa capaz de comandar uma tarefa específica com base em um computador. Os softwares serão, basicamente, desenvolvidos para atender um objetivo e necessidade específicos ou para funcionar como plataforma base para demais softwares. E isso caracterizará a subdivisão destes em duas principais categorias que serão detalhadas à seguir.

2.2.1 Software de sistema

O software de sistema é constituído pelos sistemas operacionais (S.O). São os S.O que auxiliam o usuário a passar os comandos para o computador. Ele interpreta nossas ações e transforma os dados em códigos binários, que podem ser processados. Como peça fundamental para o correto funcionamento do computador, o software de sistema tem como função a gerência de todos os componentes de um computador, quer sejam em software ou hardware (AMORIM, 2015).

Segundo Pressman (2011), software de sistema é o conjunto de programas feito para atender a outros programas. Certos softwares de sistema (por exemplo, compiladores, editores e utilitários para gerenciamento de arquivos) processam estruturas de informação complexas, porém, determinadas. Outras aplicações de sistema (por exemplo, componentes de sistema operacional, drivers, software de rede, processadores de telecomunicações) processam dados amplamente indeterminados. Exemplos de software de sistema são: Windows, Linux, Mac OS.

2.2.2 Software de aplicação

Conforme Pressman (2011), software de aplicação são programas sob medida que solucionam uma necessidade específica de negócio. Aplicações nessa área processam dados comerciais ou técnicos de uma forma que facilite operações comerciais ou tomadas de decisão administrativas/técnicas. Além das aplicações convencionais de processamento de dados, o software de aplicação é usado para controlar funções de negócio em tempo real (por exemplo, processamento de transações em pontos de venda, controle de processos de fabricação em tempo real).

O software aplicativo é, basicamente, o programa utilizado para aplicações dentro do S.O, que não esteja ligado com o funcionamento do mesmo. Exemplos: Word, Excel, Paint, Bloco de notas, calculadora. Outros exemplos de software aplicativos são os Browsers, isto é, os navegadores utilizados para acesso à internet. Os videogames, bases de dados e sistemas de automação industrial, cujas atividades são consideradas específicas, também se enquadram neste tipo.

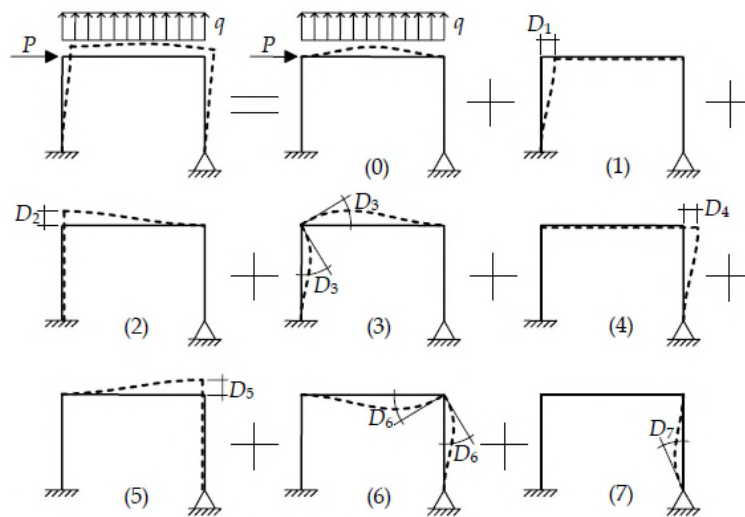
2.3 MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS E ESTRUTURAS MODELÁVEIS

Segundo Martha (2010), o método dos deslocamentos tem a ideia de básica determinar, dentro de um conjunto de soluções em deslocamentos que satisfazem as condições de compatibilidade, qual a solução que faz com que as condições de equilíbrio também sejam satisfeitas. Nesse método as incógnitas principais do problema são deslocamentos e rotações. Todas as outras incógnitas são expressas em termos das incógnitas principais escolhidas e substituídas em equações de equilíbrio, que são então resolvidas. Na formalização do Método dos Deslocamentos primeiro são utilizadas as condições de

compatibilidade, em seguida são consideradas as leis constitutivas dos materiais, e finalmente são utilizadas as condições de equilíbrio.

O método possui a forma geral que considera todos os deslocamentos possíveis conforme a Figura 1.

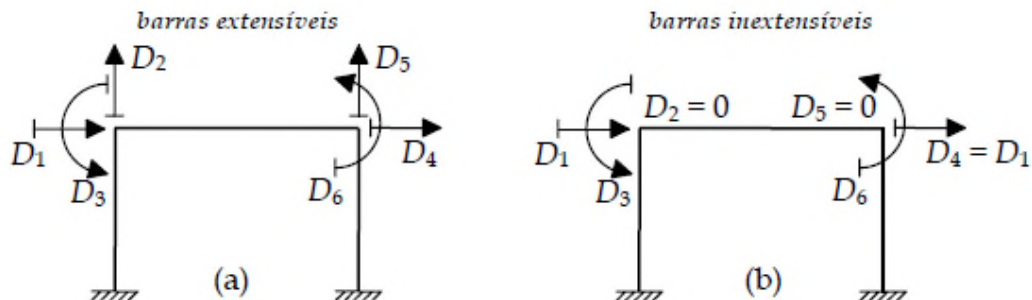
Figura 1 – Configuração deformada de um pórtico plano formada pela superposição de configurações deformadas elementares.

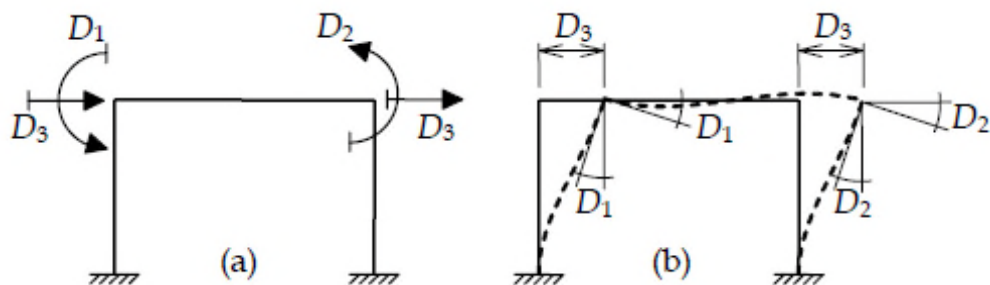


Fonte: Martha, 2010.

Apresenta também a forma reduzida conforme Figura 2.

Figura 2 – Configuração deformada de um pórtico plano formada pela superposição de configurações deformadas elementares reduzidos.





Fonte: Martha, 2010.

Para melhor compreensão da análise de uma estrutura, o método dos deslocamentos se divide em algumas etapas principais, são elas: estrutura principal, cálculo do grau de hipergeometria, montagem do sistema hipergeométrico, simulação de casos para estrutura, montagem da matriz de rigidez, determinação das deslocabilidades e cálculo das reações de apoio.

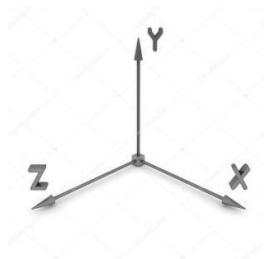
2.3.1 Estrutura principal

A primeira etapa consiste, basicamente, em determinar a estrutura que será analisada, fazer um estudo dos apoios que envolvem a estrutura, as forças aplicadas sobre ela, bem como quantidade de elementos, propriedades destes. Então, a fase é responsável pela descrição da estrutura e comportamento dos elementos presentes.

2.3.2 Grau de Hipergeometria

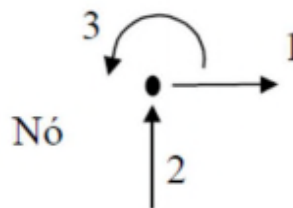
As estruturas são formadas por elementos conectados por pontos nodais, denominados “nós”, o número do grau de liberdade de um nó será definido pela quantidade de orientações que o nó permite ser deslocado, sendo três (deslocamento paralelo ao eixo X, deslocamento paralelo ao eixo Y, rotação em torno do eixo Z) o limite de orientações para uma estrutura plana. A averiguação de elementos presentes nos nós e como eles se comportam é um importante ponto de partida para análise do grau de hipergeometria e deslocabilidades interna e externa. As orientações e como ocorrem os deslocamentos podem ser melhores vistos na figura 3 e 4.

Figura 3 – Eixos de deslocamento



Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura 4 – Orientações de deslocamento



Fonte: Próprios autores, 2018.

Logo, o Grau de Hipergeometria de uma estrutura-base será definido da seguinte forma:

$$Gh = C1 + 2 * C2 + 3 * C3 - 3 * M \quad (1)$$

Onde as variáveis C1, C2 e C3 são substituídos pela quantidade de elementos que se comportam como apoios do primeiro, segundo e terceiro gênero, respectivamente, e o número de barras é representado pela letra M.

2.3.3 Sistema Hipergeométrico

De acordo com Martha (2010), Sistema Hipergeométrico é uma estrutura cinematicamente obtida da estrutura original pela adição dos vínculos necessários para impedir as deslocabilidades.

No Sistema Hipergeométrico principal o mesmo formato da estrutura principal será seguido, porém são excluídos todos os carregamentos externos, momentos e terá a presença dos vínculos para “travar” a estrutura.

2.3.4 Casos para determinação de coeficientes

A estrutura será agora submetida a um número de casos correspondente ao seu número de Grau de Hipergeometria para análise de momento e esforços, separadamente, em cada elemento. A partir destes resultados, serão levantados os componentes da matriz de rigidez.

No Caso 0 serão determinados os coeficientes β_{10} , β_{20} , [...]. Os coeficientes estão ligados com direção e sentido da força em um determinado nó. Este caso será realizado utilizando o sistema principal da estrutura e o seu carregando externo.

Para os demais, é feito um caso para cada vínculo adicionado, em que se adota um valor unitário para o vínculo em questão, retira todos os carregamentos externos e faz o cálculo dos esforços com auxílio das tabelas de Soluções Fundamentais e de Fatores presentes no anexo I.

2.3.5 Montagem da matriz de solução

Finalizado o cálculo de todos os coeficientes, inicia-se o processo de montagem da matriz de rigidez. A matriz será escrita da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ \vdots \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{10} \\ \beta_{20} \\ \vdots \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

Com objetivo de encontrar as deslocabilidades (D1 e D2) a Matriz de Rigidez é transformada em um sistema linear.

Aplicando um dos métodos de solução de sistemas encontra-se para as incógnitas.

2.3.6 Determinação dos esforços finais

Como o método dos deslocamentos trabalha com a superposição de casos e estes já foram levantados, é então momento para fazer o cálculo de cada um dos esforços presente na estrutura.

A fórmula geral para cálculo é definida por:

$$E = E_0 + \sum_1 E_i * D_i \quad (3)$$

Primeiro calculando o momento nos dois lados de cada elemento e, logo em seguida, é feito o cálculo de reações horizontais e verticais da estrutura.

Chegando ao fim da resolução os resultados obtidos a estrutura final é montada, expressando o carregamento externo juntamente dos valores das reações mostradas com

direção e sentido adequado. Podendo, também, fazer a representação gráfica, levantando os diagramas de Momento Fletor, Esforço Cortante e Força Normal.

Com base nesse princípio a rotina programável foi seguida da ideia da junção da Equação (3) com a lei de Hooke, conforme Equação (4)

$$F = K \cdot Di \quad (4)$$

Onde,

F é o vetor de forças;

K a matriz de rigidez;

D o vetor de redundantes.

2.3.7 Estrutura-modelo

Para uma melhor compreensão do método foi executado uma estrutura modelo utilizando os princípios do método dos deslocamentos de forma detalhada e ele se encontra no Apêndice.

2.3.8 Sistemas estruturais

As estruturas, também denominadas de sistemas estruturais, devem ser entendidas como disposições racionais e adequadas de diversos elementos estruturais. Classificam-se como elementos estruturais os corpos sólidos deformáveis com capacidade de receber e de transmitir solicitações em geral (GASPAR, 1978).

A principal forma de classificação quanto ao tipo da estrutura será pela quantidade de dimensões que está apresenta, sendo as classificações divididas em: unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. Neste projeto trabalharemos especialmente com estruturas da primeira tipologia (unidimensionais), tendo como principais representantes as vigas, pórticos, grelhas e treliças.

Treliça é um modelo estrutural linear constituído por barras em que o encontro entre elas, chamados de nós, serão todos reticulados, ou seja, possuirão rótulas. As barras serão organizadas de modo a formar figuras triangulares, solicitadas apenas por tração e compressão, uma vez que na análise de uma treliça as forças serão consideradas atuantes diretamente aos nós.

A disposição dos elementos em um mesmo plano ou planos distintos é o que determinará se a treliça será de ordem plana ou espacial. Onde a Treliça Plana é um elemento

estrutural linear composto por barras retas cuja suas extremidades são rotuladas e as cargas são aplicadas nestas rotulas. As barras subdividem a treliça em áreas triangulares para montar um membro leve e eficiente. Recebe este nome, pois todos os elementos são dispostos em um mesmo plano. Para dimensionamento de uma treliça podem ser utilizados dois diferentes métodos: o Método dos Nós e o Método de Ritter (FREIRE, 2015).

Já a Treliça espacial é uma estrutura metálica tridimensional de alta eficiência estrutural e que utiliza a forma de triângulo. As cargas axiais serão suportadas pelos elementos (barras e nós) e lançadas no espaço. São bastante utilizadas devido a facilidade de fabricação, montagem, transporte, grande durabilidade, também bastante utilizadas em estruturas temporárias por ser prática para desmontar (GUIMARÃES, 2012).

Vigas são estruturas linear que podem ser colocadas horizontalmente ou inclinada, com um ou mais apoios, engastada ou não, de forma que garanta que as barras sejam no mínimo isostáticas, dentre os representantes deste tipo de estrutura temos: a viga biapoiada, viga apoiada com balanço, viga engastada, viga engastada-apoiada, viga contínua. Sua nomenclatura é, geralmente, definida pelos tipos e disposições dos apoios que são utilizados no momento.

Segundo Almeida (2009), os pórticos são elementos estruturais compostos de vigas e colunas conectados por ligações rígidas. O ângulo formado entre a viga e a coluna geralmente é de 90°. Nas conectividades entre as barras, os nós podem ser tanto articulados quanto rígidos, diferenciando pela capacidade de transmissão de momento na barra, em que no primeiro é inexistente. Pode ser plano ou espacial, com carregamentos. Há ainda uma cooperação entre vigas e pilares no sistema. Pórticos serão classificados basicamente entre simples e compostos, estes são formados a partir de uma associação entre dois ou mais pórticos.

Assim como no caso das vigas, pórticos podem ser nomeados a partir do tipo de apoio utilizado na montagem da estrutura, tendo como exemplos básicos: pórtico biapoiado, engastado-livre, engastado-engastado, entre outros. Sendo a análise do gênero do apoio determinante para definição do grau de estaticidade da estrutura.

Tem-se também as Grelhas, estruturas compostas por vigas que são interligadas entre si nos pontos de interseção, perpendiculares ou não, e são submetidas a carregamentos perpendiculares ao seu plano. A grelha é uma estrutura que distribuirá a carga concentrada em todas as partes da estrutura de modo que nenhuma viga seja exigida independentemente. Os materiais mais utilizados na confecção desta estrutura são concreto protendido, concreto armado e aço (NEVES, 2012).

2.4 SOFTWARE MATLAB

Em um texto comemorativo, por completar 20 anos da criação do software MathWorks, o matemático Cleve Barry Moler redigiu um texto, em 2004, lembrando as origens do programa MATLAB.

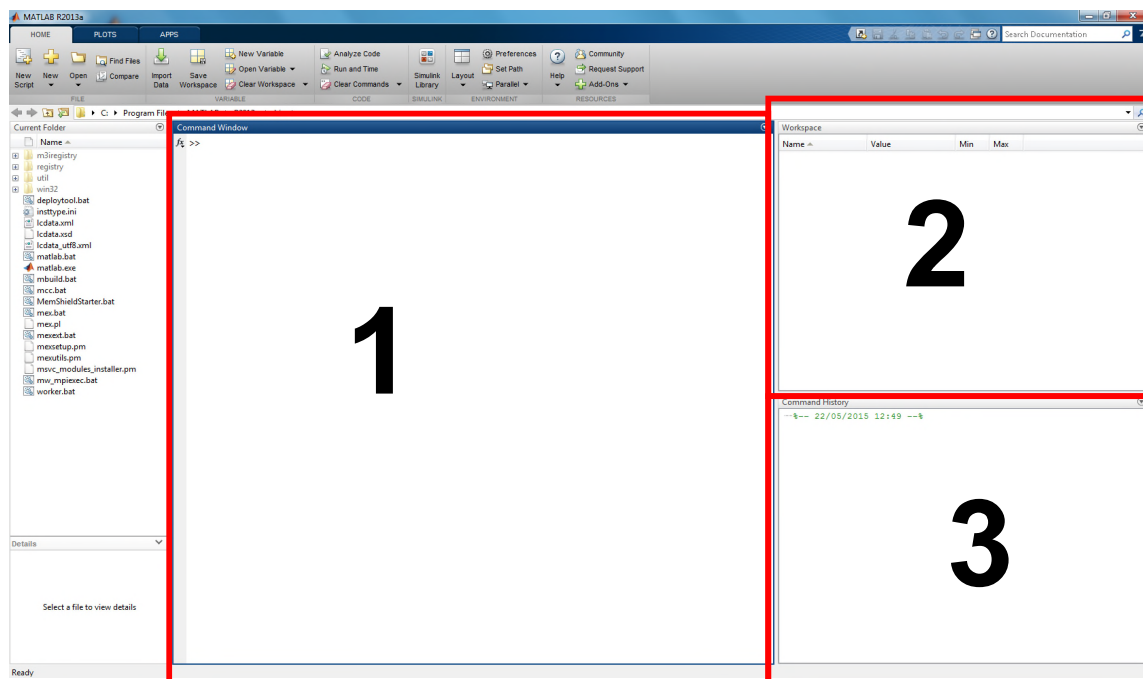
“O MATLAB é agora um ambiente de computação técnica completo, mas começou como um simples "Laboratório de Matrizes". Três homens, J. H. Wilkinson, George Forsythe e John Todd, desempenharam papéis importantes nas origens do MATLAB. Nossa conta começa há mais de 50 anos. No final dos anos 1970, seguindo a metodologia de Wirth, usei o Fortran e partes do LINPACK e do EISPACK para desenvolver a primeira versão do MATLAB. O único tipo de dados era "matriz". O comando HELP listava todas as funções disponíveis, com seus nomes abreviados” (MOLER, 2004).

Este software, primeiramente projetado para execução de matrizes e vetores, por ter apresentado uma interface facilitada, interativa e eficaz, foi reescrito em outras linguagens e é palco para desenvoltura de projetos complexos não baseando suas execuções em operações entre matrizes, mas efetuando uma gama de processos matemáticos.

O MATLAB se destaca, principalmente, por ter uma linguagem de programação de alto nível, toolboxes, que oferecem funcionalidades específicas por área de aplicação, gráficos e visualização de dados, a estrutura de diretórios do Matlab é dividida, basicamente, em três partes: diretório base; c:\matlab, executáveis; c:\matlab\bin e diretório de trabalho; c:\Matlab\work.

2.4.1 Layout do MATLAB

Figura 5 - Layout do software MATLAB



Fonte: Próprios autores, 2018.

A figura 5 representa como o programa MATLAB pode ser disposto e organizado. Basicamente todas as funções do software giram em torno de cinco telas principais, onde duas são voltadas para edição e execução do algoritmo, Command Window (representado pelo número 1 na figura 33) e Editor, enquanto as outras três são espaços que facilitam a visualização de dados relevantes durante a execução do projeto, Workspace, History (representados pelos números 2 e 3, respectivamente, na figura 5) e Figure.

- **Command Window:** Tela voltada para entrada de dados e retorno dos resultados obtidos, também podem ser exibidos como foram montados os cálculos apresentando o valor de cada variável para o exercício proposto.
- **Editor:** Aba onde os códigos são inseridos para formação dos algoritmos. É a parte mais utilizada, pois todo o programa é elaborado nele, e só depois lançado no Command Window.

- **Workspace:** Como o MATLAB não exige a declaração de variáveis, o workspace é um ambiente que mostrará todas as variáveis que estão em presente trabalho, atribuindo a elas seus respectivos valores.
- **History:** Espaço reservado para facilitar a visualização de todos os comandos que foram executados no Command Window, de forma cronológica. Pode ser facilmente acessado, apenas pressionando a seta para cima no teclado, quando a janela em uso for a Command Window.
- **Figure:** Tela para criação e desenvolvimento dos gráficos, podendo ser apresentados em duas ou três dimensões, e um ou mais gráficos na mesma janela de apresentação, baseado nas necessidades pessoais.

2.4.2 Comando básicos e funções

Dentro da plataforma há uma série de bibliotecas compostas de funções matemáticas com objetivo de atender todos objetivos que envolvam operações; sejam de razões trigonométricas, de aproximação, complexas, operações básicas, derivadas, integrais e principalmente funções de inicialização de matrizes. Caso a fórmula requisitada não faça parte das bibliotecas, é possível incluí-la na plataforma.

A tabela 1 apresenta algumas dessas funções para melhor compreensão do caso.

Tabela 1 – Funções MATLAB

FUNÇÕES	SIGNIFICADO
Exp	Exponencial
Sqrt	Raiz quadrada
Int	Integral
Diff	Derivada
Sin	Seno
Tan	Tangente

Fonte: Próprios autores, 2018.

A declaração de dados dentro do MATLAB é bastante simplificada, tendo como unidade fundamental a matriz, que poderá ser inicializada através da leitura de um arquivo, introduzida pelo usuário ou, ainda, pela obtenção por meio de uma operação prévia. Todos os elementos da matriz podem ser acessados individualmente.

Durante a programação é muito importante ter conhecimento sobre os comandos e suas sintaxes, dos quais se destacam:

- Operadores – De natureza matemática, os operadores atuam para estabelecer comportamentos entre elementos. Podendo na área aritmética, realizando operações, relacionais, comparando um elemento com outro ou lógicos, realizando testes de veracidade.
- Comandos Condicionais – IF, ELSE, são utilizados, principalmente, no teste de um comando, e acaso a proposição seja verdadeira ou válida, segue com a execução das operações até que encontre o ‘end’, onde finaliza esta função.
- Comandos de Repetição – Função de executar ações n vezes até que a condição seja satisfeita. São caracterizados, também, por possuir uma variável de controle. Representantes deste comando são FOR e WHILE.

De acordo com Dalcastagnê, o Matlab possui uma série de funções matemáticas (built-in functions). Além dessas funções previamente programadas, o usuário também pode criar funções para atender as suas necessidades. Uma função no Matlab apresenta a seguinte sintaxe: [saída1, saída2, ... , saídaN] = NomeFunção [entrada1, entrada2, ... , entradaM], onde saída1 a saídaN são os N parâmetros de saída da função; entrada1 a entradaM são os M parâmetros de entrada da função; NomeFunção é o nome da função.

A função Help, primeira desenvolvida por Moler, tem por objetivo explicar o funcionamento da função escolhida, facilitando a compreensão da sua sintaxe para uso. Deve-se utilizar o comando help NomeDaFunção

Exemplo

```
>> help tan
```

TAN Tangent.

TAN(X) is the tangent of the elements of X.

Overloaded methods

```
help sym/tan.m
```

```
>> x = pi/2;
```

```
>> a = tan(x) a = 0.0000
```

2.4.3 Manipulação das Matrizes

Para Dalcastagnê (2008), uma matriz é definida da seguinte forma:

- Valores numéricos são definidos entre colchetes (“[...]”);
- Elementos de uma linha são separados por “,” ou por espaço em branco;
- Final de uma linha é informado por “;”.

Para exemplificar, considere as matrizes $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}$ e $B = \begin{bmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{bmatrix}$

Figura 6 – Operações com matrizes

Operação	Operador	Exemplo
soma	+	$A + B = \begin{bmatrix} 1+5 & 2+6 \\ 3+7 & 4+8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 & 8 \\ 10 & 12 \end{bmatrix}$
subtração	-	$A - B = \begin{bmatrix} 1-5 & 2-6 \\ 3-7 & 4-8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4 & -4 \\ -4 & -4 \end{bmatrix}$
multiplicação vetorial	*	$A * B = \begin{bmatrix} 19 & 22 \\ 43 & 50 \end{bmatrix}$
multiplicação escalar	.*	$A .* B = \begin{bmatrix} 1 \times 5 & 2 \times 6 \\ 3 \times 7 & 4 \times 8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 12 \\ 21 & 32 \end{bmatrix}$
divisão matricial	/	$A / B = \begin{bmatrix} 3 & -2 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}$
divisão escalar	./	$A ./ B = \begin{bmatrix} 1/5 & 2/6 \\ 3/7 & 4/8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,333 \\ 0,428 & 0,5 \end{bmatrix}$
divisão esquerda (equivale a $A^{-1} \times B$)	\	$A \setminus B = \begin{bmatrix} -3 & -4 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}$
potência matricial	^	$A^2 = A * A = \begin{bmatrix} 7 & 10 \\ 15 & 22 \end{bmatrix}$
potência escalar	.^	$A.^2 = \begin{bmatrix} 1^2 & 2^2 \\ 3^2 & 4^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 9 & 16 \end{bmatrix}$
transposta	'	$A' = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$

Fonte: Dalcastagnê, 2008.

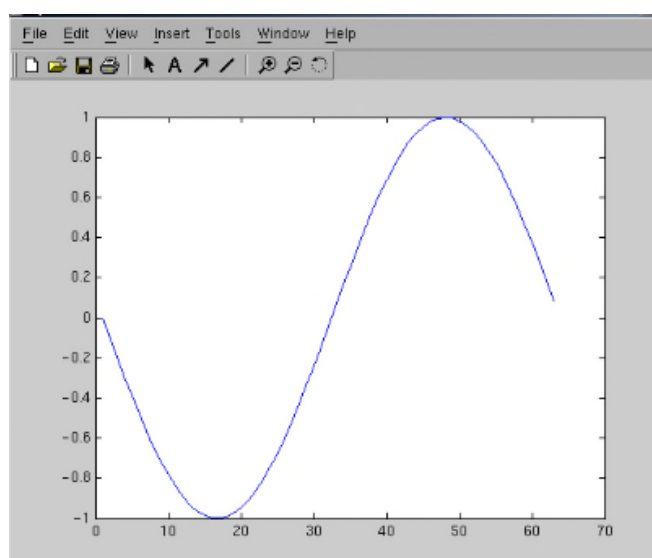
2.4.4 Gráficos

Os gráficos podem ser confeccionados em duas ou três dimensões, serão projetados na tela ‘Figure’, específica para representação destes. A representação gráfica será formada com a função ‘Plot’, sendo o primeiro passo a criação de vetores que armazenarão as

variáveis correspondentes a cada eixo. Mais de um gráfico poderá ser visto simultaneamente na mesma janela ou ainda a tela poderá ser subdividida para visualização dos gráficos separadamente.

Gráficos desenvolvidos na plataforma poderão ser sistematizados a partir de coloração das linhas, tipo da mesma (sólida, pontilhada, tracejada) e através de marcadores. Elementos textuais podem estar presentes na estrutura em fontes, seja no título, ylabel ou nos eixos.

Figura 7 – Layout gráficos MATLAB



Fonte: Próprios autores, 2018.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentado o plano experimental dessa monografia que consiste na estrutura do programa e as estruturas que foram usadas como exemplo para validá-lo.

3.1 LEVANTAMENTO TEÓRICO

Para o a confecção da formulação da rotina de programação do software foi inicialmente estudado o método dos deslocamentos com todas as deslocabilidades, foi utilizado a literatura do autor do software correspondente a este trabalho desenvolvido mais utilizado no Brasil, o Ftool, Dr. Luís Fernando Martha da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Segundo Martha (2010) o método dos deslocamentos consiste em encontrar a correspondente da estrutura chamado Sistema Hipergeométrico (SH), uma vez identificadas as deslocabilidades e o SH, a metodologia segue com a superposição de casos básicos, cada um isolando um determinado efeito no SH. Neste caso, é imposta uma configuração deformada, de forma ampliada, na qual as rotações dos nós dos apoios internos são mantidas nulas enquanto atua o carregamento. Para que o SH fique em equilíbrio com essa condição imposta, aparecem reações momentos nas chapas fictícias do SH.

Para se resolver a estrutura, são impostas condições de equilíbrio que determinam que os momentos externos totais introduzidos pelas chapas fictícias do SH sejam nulos. Utilizando a superposição dos casos básicos, essas condições de equilíbrio resultam no sistema de equações de equilíbrio. A solução desse sistema de equações fornece os valores para as deslocabilidades.

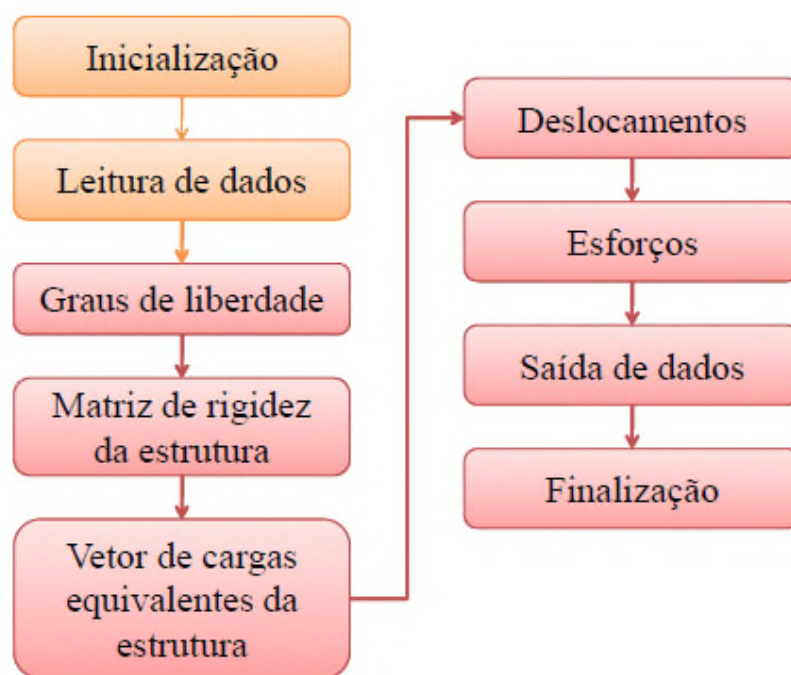
Em todas as etapas os esforços nas barras e as reações de apoio são sempre determinados com base em configurações deformadas conhecidas. É sempre assim: conhece-se a configuração deformada e daí se tiram os esforços e reações. Esse é certamente um raciocínio característico do método, bem diferentes da forma como que se resolvem estruturas isostáticas por equilíbrio ou estruturas hiperestáticas pelo Método das Forças. A solução do Método dos Deslocamentos é bem simples, isso porque as deformações impostas são sempre configurações muito simples: ou são a solução de engastamento perfeito do caso (0) ou é imposta apenas uma deslocabilidade isolada nos outros casos.

Os esforços e reações em cada caso básico são obtidos de soluções tabeladas. Esta metodologia simples também permite algoritmos de fácil implementação computacional, que será o proposto aqui neste trabalho.

3.2 ESTRUTURA DO PROGRAMA DE CÁLCULO DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS PELO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS

A estrutura básica do programa consiste em inicialização, leitura de dados, grau de liberdade, matriz de rigidez, vetor de cargas, deslocamentos, esforços finais e saída de dados. Cada passo foi dividido em uma subfunção todos sob controle de uma função mãe. Para desenvolvimento desse programa foi necessário um estudo prévio na linguagem de programação do software MATLAB®.

Figura 8 – Escopo do programa



Fonte: Almeida, 2014.

3.2.1 Inicialização

A função de inicialização de dados consiste na construção dos nomes dos arquivos a partir das informações do usuário. Construção dos nomes dos arquivos de dados a partir de informações do usuário.

A abertura dos arquivos de dados consiste nos arquivos de entrada de dados, arquivo de saída de dados, arquivo de comunicação temporária para o programador, impressão de cabeçalho identificador em cada um dos arquivos de saída de dados.

3.2.2 Leitura de Dados

A Função de leitura de dados é responsável pela a leitura dos dados de caracterização da estrutura. Definição das variáveis de caracterização da estrutura. Leitura dos dados escalares. Leitura dos dados matriciais. Impressão dos dados lidos nos dois arquivos de saída de dados. Fechamento do arquivo de leitura de dados.

3.2.3 Graus de Liberdade

A Função de numeração dos graus de liberdade da estrutura é responsável pela criação do vetor que contém todos os graus de liberdade da estrutura. Montagem do vetor que contém os graus de liberdade impedidos: A partir das informações sobre os apoios da estrutura, Cálculo do vetor de graus de liberdade livres, Cálculo do vetor de graus de liberdade livres e Impressão dos cálculos parciais e dos resultados no arquivo temporário.

3.2.4 Matriz da Rigidez da Estrutura

A Função de cálculo da matriz de rigidez da estrutura é o cálculo da contribuição de cada elemento: Comprimento dos elementos calculados a partir das coordenadas dos nós; das coordenadas dos nós; Coeficientes de rigidez calculados a partir dos dados lidos e armazenados; Propriedades geométricas das seções; Propriedades dos materiais; Cálculo dos graus de liberdade do elemento; Cálculo dos graus de liberdade do elemento.

Montagem da matriz de rigidez da estrutura.

Impressão dos cálculos parciais e dos resultados no arquivo temporário.

3.2.5 Vetor de Cargas Equivalentes

A Função de cálculo do vetor de cargas equivalentes é Contribuição das cargas aplicadas nos nós.

Cálculo da contribuição de cada elemento: Comprimento dos elementos calculados a partir das coordenadas dos nós; Cargas equivalentes calculadas a partir dos dados lidos e armazenados; Cargas aplicadas no elemento; Cálculo dos graus de liberdade do elemento.

Montagem do vetor de cargas da estrutura.

Impressão dos cálculos parciais e dos resultados no arquivo temporário.

Função de cálculo dos deslocamentos nodais.

Redução do sistema de equações $K U = F$ eliminando os graus de liberdade impedidos.

Solução do sistema de equações $K U = F$.

Impressão dos resultados nos dois arquivos de saída de dados

3.2.6 Esforços

Função de cálculo dos esforços:

- Cálculo dos graus de liberdade do elemento.
- Obtenção do vetor de deslocamentos nodais do elemento.
- Cálculo da matriz de rigidez do elemento.
- Cálculo do vetor de forças de extremidade do elemento.
- Cálculo do vetor de cargas equivalentes do elemento devido às cargas aplicadas a ele.
- Correção do vetor de forças de extremidade do elemento.
- Cálculo dos esforços nas seções.
- Impressão dos resultados parciais no arquivo temporário.
- Impressão dos esforços no arquivo de saída

3.2.7 Finalização

Função de finalização:

- Fechamento do arquivo de saída de dados.
- Fechamento do arquivo temporário

3.2.8 Interface do programa

Figura 9 – Interface do programa

```

*****
 Bem vindo ao:
 PROGRAMA PARA ANÁLISE ELÁSTICA LINEAR DE ESTRUTURAS (PAELE)
 Autora: Wanessa M. G. Quaresma, Junnio S. Viegas e Lucas A. de Oliveira
 Versão: maio de 2018.
*****

*****
 Objetivo:
 Encontrar os esforços e deslocamentos em estruturas planas com comportamento elástico linear
*****

Forneça o nome do arquivo de dados com as características da estrutura: |

```

Fonte: Próprios autores, 2018.

3.2.9 Arquivo de entrada

Modelo de arquivo de entrada:

```

%ALEER_-_entrada_de_dados:_portico_1a
%Tipo_de_estrutura
PORTICO_PLANO
%Tipo_de_elemento
PP2
%Numero_de_nos
4
%Numero_de_materiais
1
%Numero_de_secoes_transversais
2
%Numero_de_elementos
3
%Numero_de_apoios
2
%Numero_elementos_carregados
2
%Numero_de_nos_carregados
2
%Coordenadas_dos_nos
%   X       Y
1   0.0     0.0
2   0.0     3.0
3   6.0     3.0

```

```
4 6.0 0.0
%Propriedades_dos_materiais
%   E      ALPHA
1 25000000. 0.00030
%Propriedades_das_seções_transversais
%   Area   Inercia   YLinhaNeutra
1 0.080 0.0010667 0.20
2 0.080 0.0010667 0.20
%Propriedades_dos_elementos
%   no1  no2  material  seção
1 1 2 1 1
2 2 3 1 2
3 4 3 1 1
%Apoios_(r=1_impedido_r=0_livre)
%   no  rtx  rty  rmz
1 1 1 1 0
2 4 0 1 0
%Elementos_carregados_(idsis=1_global_idsis=0_local)
%   el  idsis  qx  qy
1 1 0 0.0 -2.0
2 2 1 0.0 -10.0
%Nos_carregados
%   no  fx  fy  mz
1 2 2.0 0.0 0.0
2 3 0.0 -10.0 2.0
%Fim
```

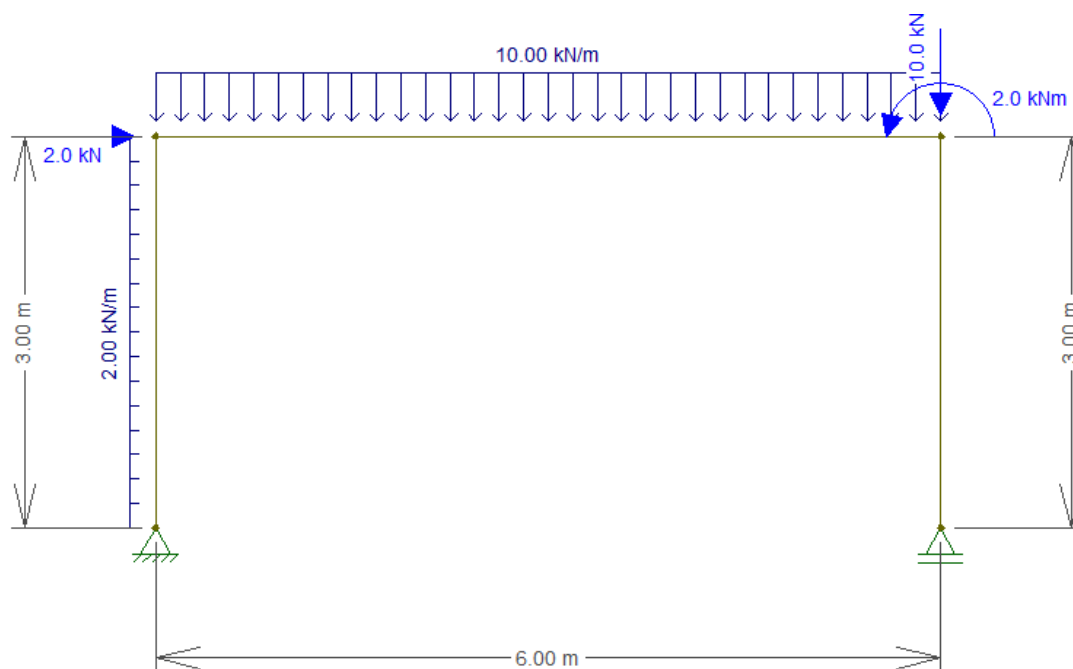
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentadas as estruturas-exemplo que validam o programa, para efeito de comparação foi desenhando no software livre Ftool os mesmos modelos e posteriormente feito uma tabela comparando os resultados. A análise foi feita em três pontos da estrutura e foi utilizado uma casa decimal após a vírgula. Segue no apêndice os dados de entradas de um pórtico. Além disso, contém ainda um modelo de arquivo .temp e um arquivo .out com os valores finais de uma estrutura, ambos os arquivos são gerados pelo programa.

4.1 PÓRTICO PLANO 1

O exemplo de um pórtico no software Ftool, conforme Figura 10.

Figura 10–Pórtico Plano 1



Fonte: Próprios autores, 2018.

Após a projeção do pórtico 1 no Ftool e ter extraído os resultados, é feita a comparação dos valores através de tabelas das forças normal, cortante e do momento fletor

em cada elemento da estrutura. Há ainda a porcentagem de erro em relação aos valores do Ftool com o do programa experimental.

Tabela 2 – Resultados da força normal

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		NORMAL (kN)	NORMAL (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	-27,8	-27,8	0,0
	1,5	-27,8	-27,8	0,0
	3,0	-27,8	-27,8	0,0
ELEMENTO 2	0,0	0	0	0,0
	3,0	0	0	0,0
	6,0	0	0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-42,2	-42,2	0,0
	1,5	-42,2	-42,2	0,0
	3,0	-42,2	-42,2	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 3 – Resultados da força cortante

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		CORTANTE (kN)	CORTANTE (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	8,0	8,0	0,0
	1,5	5,0	5,0	0,0
	3,0	2,0	2,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	27,8	27,8	0,0
	3,0	-2,2	-2,2	0,0
	6,0	-32,2	-32,2	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-42,2	-42,2	0,0
	1,5	-42,2	-42,2	0,0
	3,0	-42,2	-42,2	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 4 – Resultados do momento fletor

FTOOL	PROGRAMA	ERRO (%)
-------	----------	----------

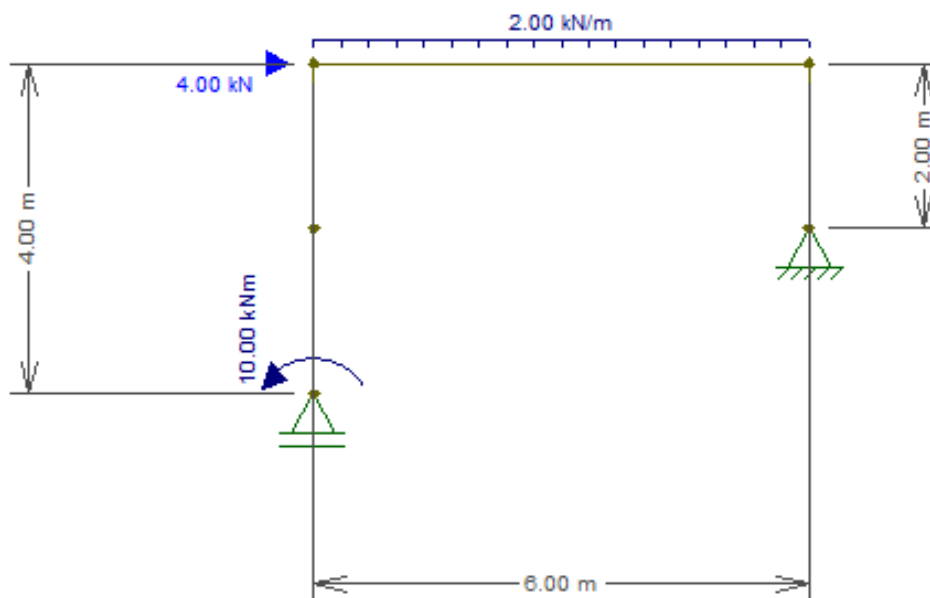
ELEMENTO	X (m)	FLETOR (kN.m)	EXPERIMENTAL	
			FLETOR (kN.m)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	9,8	9,8	0,0
	3,0	15,0	15,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	15,0	15,0	0,0
	3,0	53,5	53,5	0,0
	6,0	2,0	2,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	0,0	0,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Após as comparações dos resultados pode-se afirmar que o programa experimental está validado pois, os resultados foram iguais e consequentemente a taxa de erro é zero. Ainda foi realizado a resolução de mais quatro pórticos da mesma forma do pórtico 1, afim de consolidar e validar para outros exemplos de layout e carregamentos o programa experimental.

4.2 PÓRTICO PLANO 2

Figura 11–Pórtico Plano 2



Fonte: Próprios autores, 2018

Tabela 5 – Resultados da força normal

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		NORMAL (kN)	NORMAL (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	-6,3	-6,3	0,0
	1,0	-6,3	-6,3	0,0
	2,0	-6,3	-6,3	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-6,3	-6,3	0,0
	1,0	-6,3	-6,3	0,0
	2,0	-6,3	-6,3	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-4,0	-4,0	0,0
	3,0	-4,0	-4,0	0,0
	6,0	-4,0	-4,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	-5,7	-5,7	0,0
	1,0	-5,7	-5,7	0,0
	2,0	-5,7	-5,7	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018

Tabela 6 – Resultados da força cortante

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		CORTANTE (kN)	CORTANTE (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,0	0,0	0,0	0,0
	2,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,0	0,0	0,0	0,0
	2,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	6,3	6,3	0,0
	3,0	0,3	0,3	0,0
	6,0	-5,7	-5,7	0,0
ELEMENTO 4	0,0	4,0	4,0	0,0
	1,0	4,0	4,0	0,0
	2,0	4,0	4,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018

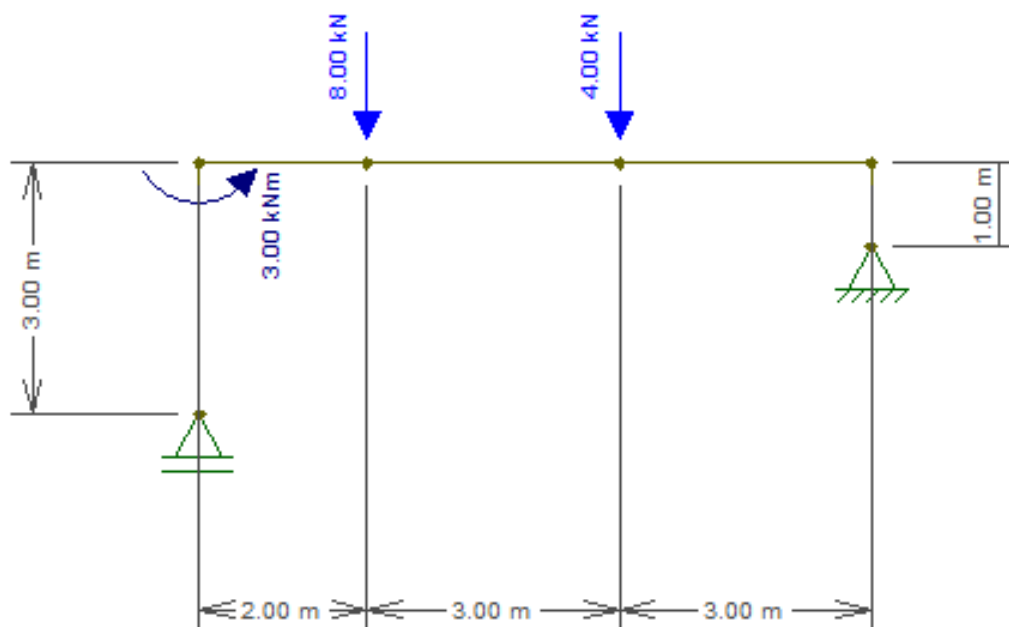
Tabela 7 – Resultados do momento fletor

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		FLETOR (Kn.m)	FLETOR (Kn.m)	
ELEMENTO 1	0,0	-10,0	-10,0	0,0
	1,0	-10,0	-10,0	0,0
	2,0	-10,0	-10,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-10,0	-10,0	0,0
	1,0	-10,0	-10,0	0,0
	2,0	-10,0	-10,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-10,0	-10,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0
	6,0	-8,0	-8,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	-8,0	-8,0	0,0
	1,0	-4,0	-4,0	0,0
	2,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018

4.3 PÓRTICO PLANO 3

Figura 12 – Pórtico Plano 3



Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 8 – Resultados da força normal

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		NORMAL (kN)	NORMAL (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	-7,9	-7,9	0,0
	1,5	-7,9	-7,9	0,0
	3,0	-7,9	-7,9	0,0
ELEMENTO 2	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,0	0,0	0,0	0,0
	2,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	0,0	0,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	0,0	0	0,0
	1,5	0,0	0	0,0
	3,0	0,0	0	0,0
ELEMENTO 5	0,0	4,1	4,1	0,0
	0,5	4,1	4,1	0,0
	1,0	4,1	4,1	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 9 – Resultados da força cortante

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		CORTANTE (kN)	CORTANTE (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	0,0	0,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	7,9	7,9	0,0
	1,0	7,9	7,9	0,0
	2,0	7,9	7,9	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-0,1	-0,1	0,0
	1,5	-0,1	-0,1	0,0
	3,0	-0,1	-1,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	-4,1	-4,1	0,0
	1,5	-4,1	-4,1	0,0
	3,0	-4,1	-4,1	0,0
ELEMENTO 5	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	0,0	0,0	0,0
	1,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 10 – Resultados do momento fletor

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		FLETOR (Kn.m)	FLETOR (Kn.m)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	0,0	0,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-3,0	-3,0	0,0
	1,0	4,9	4,9	0,0
	2,0	12,8	12,8	0,0
ELEMENTO 3	0,0	12,8	12,8	0,0
	1,5	12,6	12,6	0,0
	3,0	12,4	12,4	0,0
ELEMENTO 4	0,0	12,4	12,4	0,0
	1,5	6,2	6,2	0,0
	3,0	0,0	0	0,0
ELEMENTO 5	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	0,0	0,0	0,0
	1,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

4.4 PÓRTICO PLANO 4

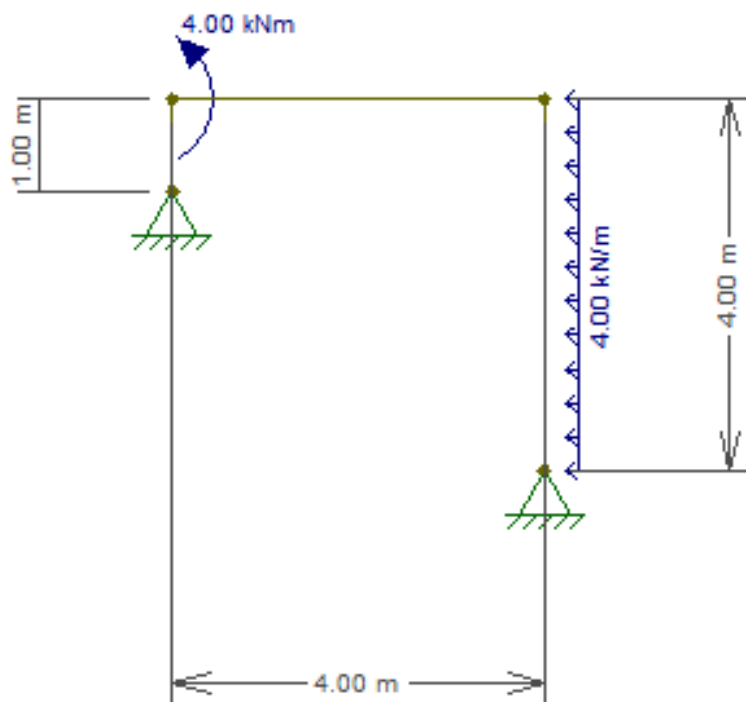


Figura 13– Pórtico Plano 4

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 11 – Resultados da força normal

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		NORMAL (kN)	NORMAL (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	3,1	3,1	0,0
	2,0	3,1	3,1	0,0
	4,0	3,1	3,1	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-7,8	-7,8	0,0
	2,0	-7,8	-7,8	0,0
	4,0	-7,8	-7,8	0,0
ELEMENTO 3	0,0	3,1	3,1	0,0
	0,5	3,1	3,1	0,0
	1,0	3,1	3,1	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 12 – Resultados da força cortante

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		CORTANTE (kN)	CORTANTE (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	-8,2	-8,2	0,0
	2,0	-0,2	-0,2	0,0
	4,0	7,8	7,8	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-7,8	-7,8	0,0
	2,0	-7,8	-7,8	0,0
	4,0	-7,8	-7,8	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-3,1	-3,1	0,0
	0,5	-3,1	-3,1	0,0
	1,0	-3,1	-3,1	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

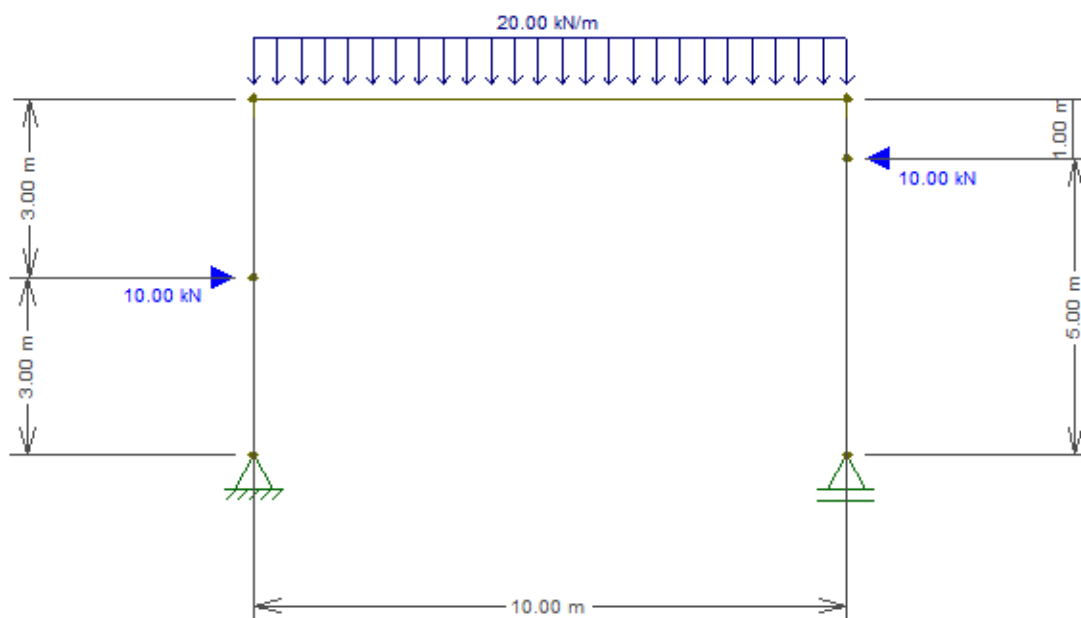
Tabela 13 – Resultados do momento fletor

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		FLETOR (kN.m)	FLETOR (kN.m)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	2,0	-8,3	-8,3	0,0
	4,0	-0,7	-0,7	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-0,7	-0,7	0,0
	2,0	5,6	5,6	0,0
	4,0	11,8	11,8	0,0
ELEMENTO 3	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	3,9	3,9	0,0
	1,0	-7,8	-7,8	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

4.5 PÓRTICO 5

Figura 14 – Pórtico Plano 5



Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 14 – Resultados da força normal

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		NORMAL (kN)	NORMAL (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	-102,0	-102,0	0,0
	1,5	-102,0	-102,0	0,0
	3,0	-102,0	-102,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-102,0	-102,0	0,0
	1,5	-102,0	-102,0	0,0
	3,0	-102,0	-102,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-10,0	-10,0	0,0
	5,0	-10,0	-10,0	0,0
	10,0	-10,0	-10,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	-98,0	-98,0	0,0
	0,5	-98,0	-98,0	0,0
	1,0	-98,0	-98,0	0,0
ELEMENTO 5	0,0	-98,0	-98,0	0,0

	2,5	-98,0	-98,0	0,0
	5,0	-98,0	-98,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 15 – Resultados da força cortante

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		CORTANTE (kN)	CORTANTE (kN)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	0,0	0,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	-10,0	-10,0	0,0
	1,5	-10,0	-10,0	0,0
	3,0	-10,0	-10,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	102,0	102,0	0,0
	5,0	2,0	2,0	0,0
	10,0	-98,0	-98,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	10,0	10,0	0,0
	0,5	10,0	10,0	0,0
	1,0	10,0	10,0	0,0
ELEMENTO 5	0,0	0,0	0,0	0,0
	2,5	0,0	0,0	0,0
	5,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

Tabela 16 – Resultados do momento fletor

ELEMENTO	X (m)	FTOOL	PROGRAMA EXPERIMENTAL	ERRO (%)
		FLETOR (Kn.m)	FLETOR (Kn.m)	
ELEMENTO 1	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	0,0	0,0	0,0
	3,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 2	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,5	-15,0	-15,0	0,0
	3,0	-30,0	-30,0	0,0
ELEMENTO 3	0,0	-30,0	-30,0	0,0
	5,0	222,0	222,0	0,0
	10,0	-10,0	-10,0	0,0
ELEMENTO 4	0,0	-10,0	-10,0	0,0
	0,5	-5,0	-5,0	0,0
	1,0	0,0	0,0	0,0
ELEMENTO 5	0,0	0,0	0,0	0,0

	2,5	0,0	0,0	0,0
	5,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Próprios autores, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil é um campo de crescimento acelerado, onde inovações se fazem presentes a todo o momento. Sempre suportados por ferramentas tecnológicas que promovam facilidade de execução, agilidade e eficácia, o mercado de inteligência artificial é extremamente requisitado e há investimentos pesados nestes setores, na parte de pesquisa e desenvolvimentos dos produtos.

A introdução da era digital corrobora a necessidade do conhecimento básico de linguagens de programação e uso de ferramentas que proporcionam uma maior dinamização entre o usuário, a máquina e a gestão de dados, uma vez que informação na forma física está sendo dizimada (papel, jornal, revista, relatórios). O conhecimento da área de programação engloba a lógica ao gerir informações, habilidades de armazenamento e controle, criar processos de sistematização.

O projeto desse trabalho foi desenvolvido sobre o pilar da eficácia, ou seja, ser totalmente assertivo, válido, útil, com efeitos reais. Todas estas condições foram muito bem atendidas. O ganho de tempo ao fazer uma análise com o programa experimental em comparação com o método tradicional foi notório. A simplicidade na execução do programa é um ponto alto, apenas é requisitado um conhecimento prévio sobre estruturas e seus componentes para ser capaz de extrair uma análise completa da estrutura.

Os resultados obtidos nas estruturas-modelo dão um parecer de validade sobre o programa desenvolvido e o quanto é assertivo. Ao estabelecer a comparação dos resultados gerados do programa com outro existente e de propósitos semelhantes (FTOOL), foi encontrado uma analogia compatível, com erro de 0.0% em todos os casos até a 5ª casa decimal, acima desse valor foi desconsiderado neste trabalho.

Atendendo os objetivos básicos de aprendizado, vê-se, também, um crescimento intelectual em programação, análises estruturais e domínio do método dos deslocamentos. Apesar do simples estudo feito nesta monografia entende-se a necessidade em desenvolver este para novas estruturas e outros métodos e até mesmo o desenvolvimento de programas similares que vão contribuir no desenvolvimento tecnológico da construção civil.

Todos os objetivos propostos nesta monografia foram atendidos com sucesso, sendo importante ressaltar a necessidade em desenvolver e maximizar a capacidade do programador de análise elástica linear tendo então, uma alternativa para trabalhos futuros ou até mesmo a continuidade deste em uma pós-graduação.

REFERÊNCIAS

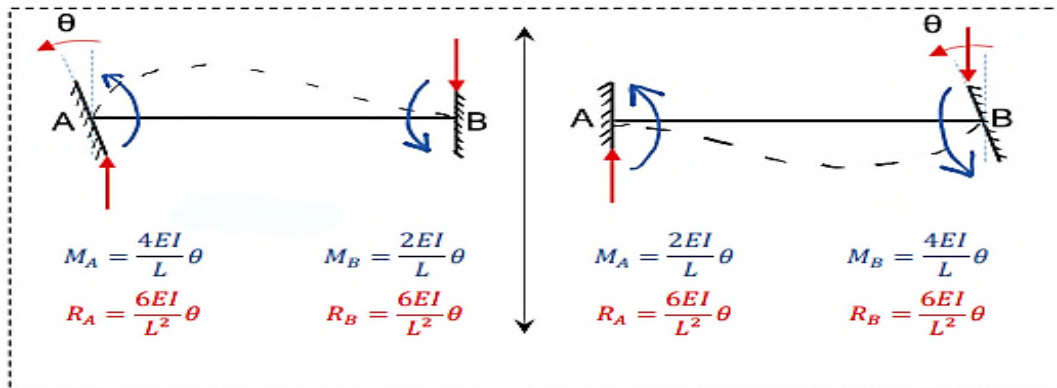
- ALMEIDA, Maria Cascao F. de. **Estruturas isostáticas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- ALMEIDA, S. R. M.; **Notas de aulas do curso de Métodos de Elementos Finitos**, Universidade Federal de Goiás, GECON, 2014.
- AMORIM, Diego Felipe Borges. **Softwares de Sistemas e de aplicações livres: benefícios e limitações no uso dessas tecnologias nos negócios**. Universidade de Coimbra, 2014.
- DALCASTAGNÊ, André L. **Apostila Básica do Software Matlab**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – CEFET-SC. Florianópolis, agosto de 2008.
- FERRI, J. **Ensino De Linguagem De Programação Na Educação Básica: Uma Proposta De Sequência Didática Para Desenvolver O Pensamento Computacional**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ensino) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Cornélio Procópio, 2017.
- GUDWIN, Ricardo. **Linguagens de Programação**. Mini e Microcomputadores: Software. Universidade de Estadual de Campinas. 1997.
- MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Elsevier Editora, 2010.
- PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 7ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira**. Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, n. 109, p. 9-26, jul./dez. 2005.
- RICARDO, O.G.S. **Teoria das estruturas**. São Paulo, Mcgraw hill do Brasil / EDUSP, 1978; LEET, Kenneth; UANG, Chia-Ming; GILBERT, Anne M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.
- SORIANO, H. L. **Análise de Estruturas: Método das Forças e dos Deslocamentos**, Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2ª Edição, 2006.

ANEXO I

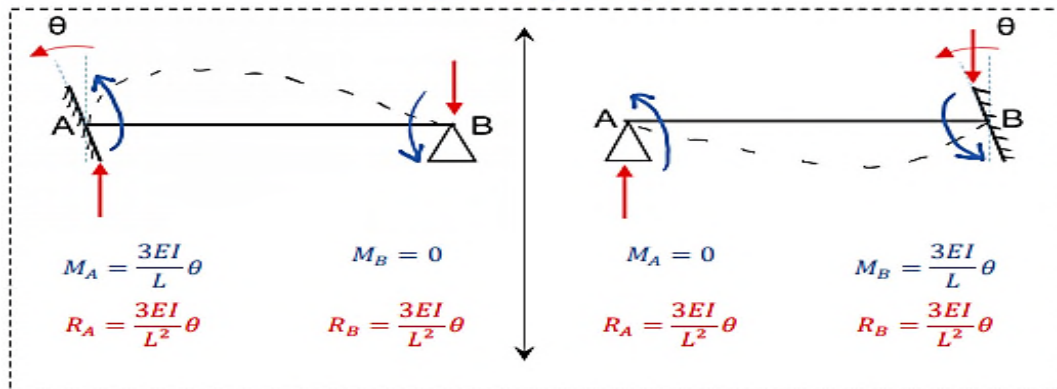
TABELA DE FATORES DE 2ª ORDEM E 2ª ORDEM DERIVADOS

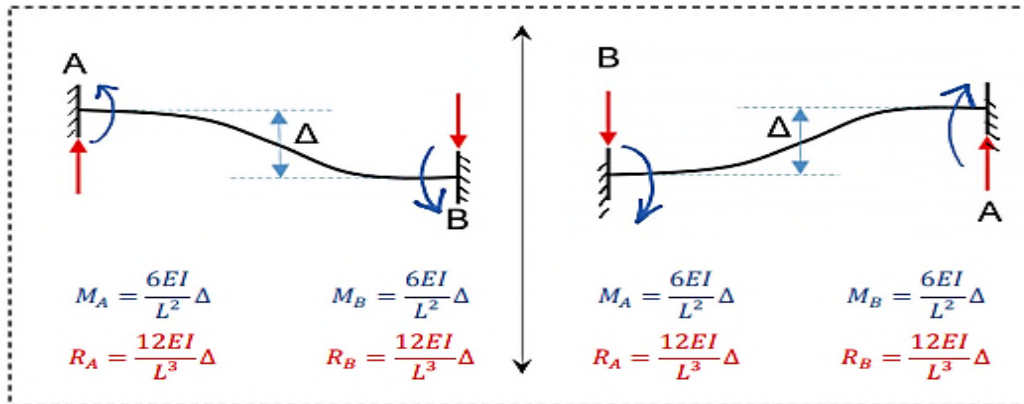
	$M_A = \frac{ql^2}{12}$ $M_B = -\frac{ql^2}{12}$ $R_A = \frac{ql}{2}$ $R_B = \frac{ql}{2}$	$M_A = \frac{ql^2}{8}$ $M_B = 0$ $R_A = \frac{5ql}{8}$ $R_B = \frac{3ql}{8}$	$M_A = 0$ $M_B = -\frac{ql^2}{8}$ $R_A = \frac{3ql}{8}$ $R_B = \frac{5ql}{8}$
	$M_A = \frac{qc}{12l^2}[12ab^2 + c^2(l - 3b)]$ $M_B = -\frac{qc}{12l^2}[12a^2b + c^2(l - 3a)]$ $R_A = \frac{qcb}{l} + \frac{M_A + M_B}{l}$ $R_B = qc - R_A$	$M_A = \frac{qbc}{8l^2}[4a(b+l) - c^2]$ $M_B = 0$ $R_A = \frac{qcb + M_A}{l}$ $R_B = qc - R_A$	$M_A = 0$ $M_B = -\frac{qac}{8l^2}[4b(a+l) - c^2]$ $R_A = \frac{qca - M_A}{l}$ $R_B = qc - R_A$
	$M_A = \frac{ql^2}{20}$ $M_B = -\frac{ql^2}{30}$ $R_A = \frac{7ql}{20}$ $R_B = \frac{3ql}{20}$	$M_A = \frac{ql^2}{15}$ $M_B = 0$ $R_A = \frac{2ql}{5}$ $R_B = \frac{ql}{10}$	$M_A = 0$ $M_B = -\frac{7ql^2}{120}$ $R_A = \frac{11ql}{40}$ $R_B = \frac{9ql}{40}$
	$M_A = \frac{Pl}{8}$ $M_B = -\frac{Pl}{8}$ $R_A = \frac{P}{2}$ $R_B = \frac{P}{2}$	$M_A = \frac{3Pl}{16}$ $M_B = 0$ $R_A = \frac{11P}{16}$ $R_B = \frac{5P}{16}$	$M_A = 0$ $M_B = -\frac{3Pl}{16}$ $R_A = \frac{5P}{16}$ $R_B = \frac{11P}{16}$
	$M_A = \frac{Pab^3}{l^2}$ $M_B = -\frac{Pa^3b}{l^2}$ $R_A = \frac{Pb + M_A + M_B}{l}$ $R_B = P - R_A$	$M_A = \frac{Pab(l+b)}{2l^2}$ $M_B = 0$ $R_A = \frac{Pb + M_A}{l}$ $R_B = P - R_A$	$M_A = 0$ $M_B = -\frac{Pab(l+a)}{2l^2}$ $R_A = \frac{Pb + M_B}{l}$ $R_B = P - R_A$
	$M_A = \frac{Mb(2a-b)}{l^2}$ $M_B = \frac{Ma(2b-a)}{l^2}$ $R_A = \frac{6Mab}{l^3}$ $R_B = -\frac{6Mab}{l^3}$	$M_A = \frac{M}{2} \left[1 - \left(\frac{3b^2}{l^2} \right) \right]$ $M_B = 0$ $R_A = \frac{M + M_A}{l}$ $R_B = -\frac{M + M_A}{l}$	$M_A = 0$ $M_B = \frac{M}{2} \left[1 - \left(\frac{3a^2}{l^2} \right) \right]$ $R_A = \frac{M + M_B}{l}$ $R_B = -\frac{M + M_B}{l}$

TABELA DE SOLUÇÕES FUNDAMENTAIS

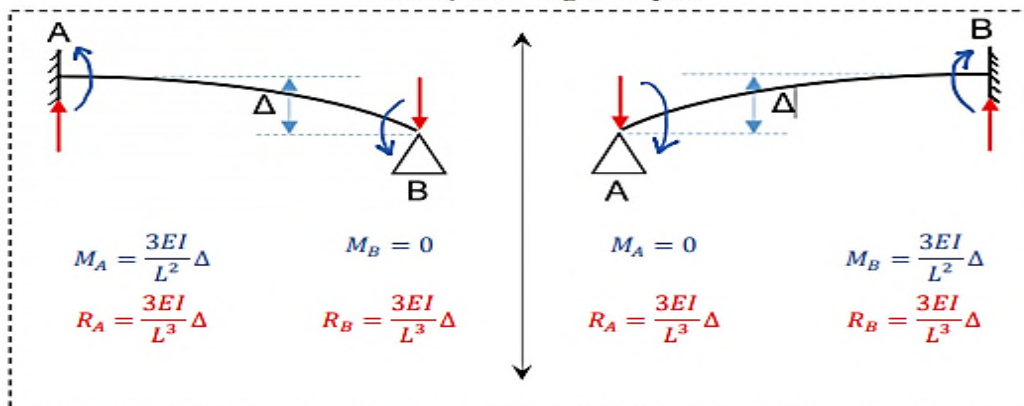


Rotação de Engaste-Apoio





Translação de Engaste-Apoio

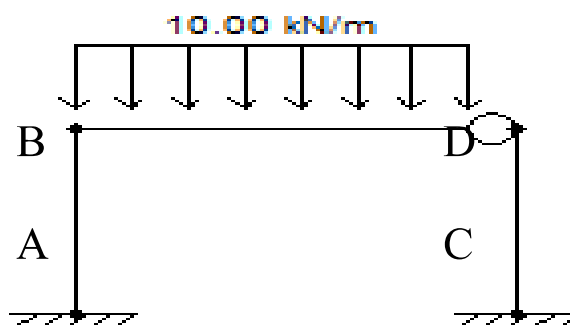


APÊNDICE

DEMONSTRAÇÃO DO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS

A demonstração do Método dos Deslocamentos será feita em um pórtico plano, biengastado, com uma rótula em um de seus nós e uma carga distribuída em uma dos elementos, e nós denominados em A, B, C e D. Como presente na figura abaixo. O método de cálculo foi feito com deslocabilidades reduzidas para sintetizar o procedimento manual, mas sabe-se que para a programação é preciso utilizar todos os graus de liberdade da estrutura.

Figura – Estrutura base para demonstração do método.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Determinação do Grau de Hipergeometria

O Grau de Hipergeometria da estrutura-modelo será definido da seguinte forma:

$$Gh = C1 + 2 * C2 + 3 * C3 - 3 * M$$

As ligações internas um nó comporta como engaste (C3) e nó outro há a presença de uma rótula (C2).

Portanto:

$$Gh = 0 + 2 * 1 + 3 * 3 - 3 * 3$$

$$Gh = 11 - 9$$

$$Gh = 2$$

Quanto à deslocabilidade, será determinada pela soma da deslocabilidade interna (Di) e a deslocabilidade externa (De).

A única deslocabilidade interna presente é o nó rígido B $\therefore Di = 1$;

Já a deslocabilidade externa será definida pela fórmula seguinte:

$$De = 3 * B - Am - 2 * Af - \{\Sigma 2 * (Br - 1) * R\};$$

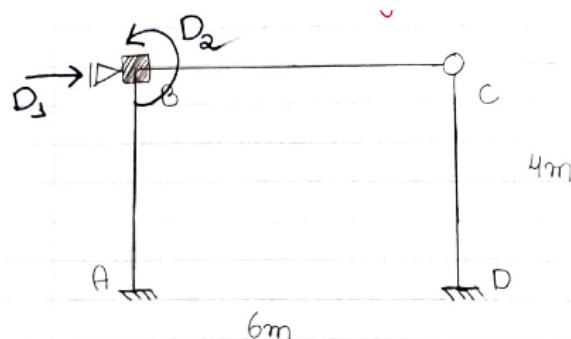
$$De = 1$$

$$\text{Deslocabilidade} = Di + De$$

$$\text{Deslocabilidade} = 2$$

Montagem do Sistema Hipergeométrico

Figura – Sistema Hipergeométrico.



Fonte: Próprios autores, 2018.

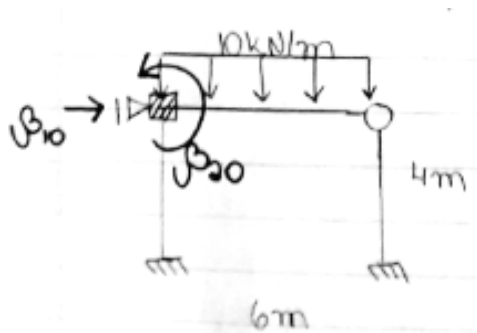
Casos para determinação dos coeficientes

CASO 0 (Sistema Hipergeométrico + Carregamento Externo)

No Caso 0 serão determinados os coeficientes β_{10} e β_{20} , representando a força horizontal e rotação no nó B, respectivamente. Tal será realizado utilizando o sistema principal da estrutura e o seu carregamento externo.

Nos Casos 0, utilizaremos o número '0' sobrescrito nas variáveis, a fim de facilitar a compreensão e identificação da variável e seu caso pertencente. Exemplo: BC^0 ; momento resultante de B em C no Caso 0.

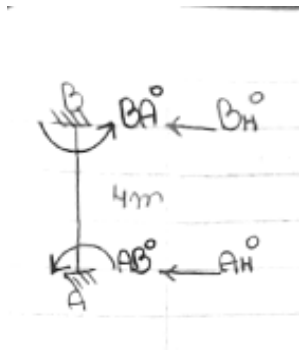
Figura – Sistema Montado para o Caso 0.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Os elementos foram desmembrados para o cálculo dos momentos nas extremidades das barras e reações nos apoios.

Figura – Elemento 1 do Caso 0.



Não há nenhum tipo de carregamento, portanto não há, também, deformações a serem avaliadas neste elemento.

$$Ah^0=0;$$

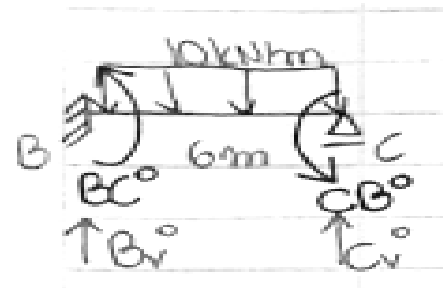
$$Bh^0=0;$$

$$AB^0=0;$$

$$BA^0=0.$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura – Elemento 2 do Caso 0.



$$BC^0 = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{10 \cdot 6^2}{8} = 45 \text{KNm};$$

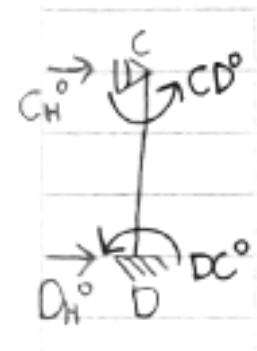
$$CB^0 = 0;$$

$$Bv^0 = \frac{5 \cdot q \cdot l}{8} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 6}{8} = 37,5 \text{KN};$$

$$Cv^0 = \frac{3 \cdot q \cdot l}{8} = \frac{3 \cdot 10 \cdot 6}{8} = 22,5 \text{KN}.$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura – Elemento 3 do Caso 0.



Como ocorrido no primeiro elemento, não há nenhum carregamento presente, portanto sem atividades a serem avaliadas no elemento 3.

$$Ch^0=0;$$

$$Dh^0=0;$$

$$DC^0=0;$$

$$CD^0=0.$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Terminado o cálculo das reações e momentos em cada barra, são selecionados os componentes que resultarão em β_{10} e β_{20} .

$$\beta_{10} = Ch^0 + Bh^0;$$

$$\beta_{10} = 0;$$

$$\beta_{20} = BA^0 + BC^0;$$

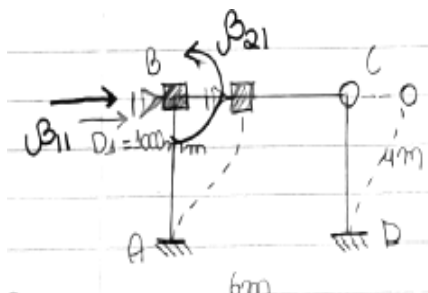
$$\beta_{20} = 0 + 45 = 45 \text{ KN};$$

CASO 1 (Sistema Hipergeométrico + Adoção de Deslocabilidade 1 igual a 1000mm)

No Caso 1, com auxílio da tabela de soluções fundamentais e tabela de fatores (ANEXO I) serão determinados os coeficientes β_{11} e β_{21} , elementos, também, constituintes da matriz de rigidez. A realização se dará utilizando o sistema hipergeométrico e deslocabilidade 1 correspondente a 1000mm.

Do mesmo modo como realizado no Caso 0, utilizaremos o número '1' sobrescrito nas variáveis, a fim de facilitar a compreensão e identificação da variável e seu caso pertencente.

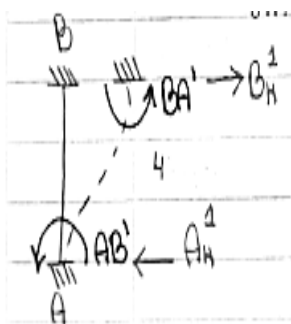
Figura – Sistema Hipergeométrico + D1=1000mm.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Demonstração de cálculo, com o desmembramento das barras. As equações foram completadas baseadas no conteúdo da tabela de soluções fundamentais e tabela de fatores (ANEXO I).

Figura – Elemento 1 do Caso1.



$$BA^1 = \frac{6EI}{4^2} = 0,375EI$$

$$AB^1 = \frac{6EI}{4^2} = 0,375EI$$

$$AH^1 = \frac{12EI}{4^3} = 0,19EI$$

$$BH^1 = \frac{12EI}{4^3} = 0,19EI$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura – Elemento 2 do Caso1.

Fonte: Próprios autores, 2018.

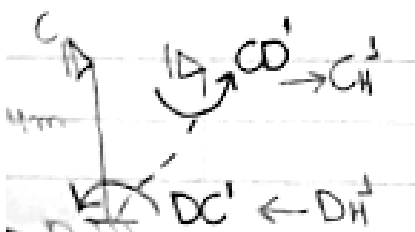
Como não há carregamentos neste elemento, todas as reações são nulas.

$$Bv^1=0;$$

$$Cv^1=0;$$

$$BC^1=0;$$

$$CB^1=0.$$

Figura – Elemento 3 do Caso1.

Fonte: Próprios autores, 2018.

$$Dh^1 = \frac{3EI}{4^3} = 0,05EI$$

$$Ch^1 = \frac{3EI}{4^3} = 0,05EI$$

$$DC^1 = \frac{3EI}{4^2} = 0,19EI \text{ e } CD^1=0.$$

A determinação de β_{11} e β_{21} será dada da seguinte maneira:

$$\beta_{11} = Ch^1 + Bh^1;$$

$$\beta_{11} = 0,19EI + 0,05EI = \frac{15}{64}EI;$$

$$\beta_{21} = BA^1 + BC^1;$$

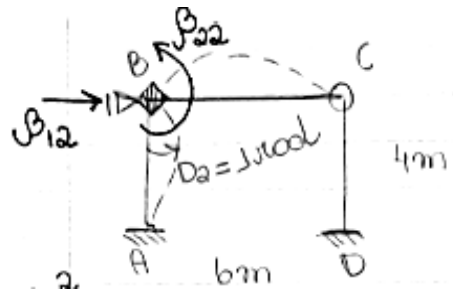
$$\beta_{21} = 0 + 0,375EI = 0,375EI.$$

CASO 2 (Sistema Hipergeométrico + Adoção de Deslocabilidade 2 igual a 1 radiano)

O Caso 2, também fará uso da tabela de soluções fundamentais para determinar os coeficientes β_{12} e β_{22} , elementos, constituintes da matriz de rigidez. A realização se dará utilizando o sistema hipergeométrico e deslocabilidade 2 correspondente a 1 rad.

Como adotado nas outras ocasiões, utilizaremos o número '2' sobrescrito nas variáveis, a fim de facilitar a compreensão e identificação da variável e seu caso pertencente.

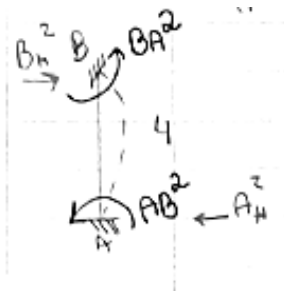
Figura – Sistema Hipergeométrico + D2=1rad.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Etapas de cálculo dos coeficientes:

Figura – Elemento 1 do Caso 2.



$$BA^2 = \frac{2EI}{4} = 0,5EI$$

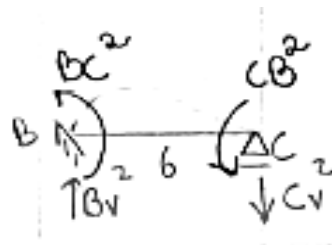
$$AB^2 = \frac{4EI}{4} = 1,0EI$$

$$Ah^2 = \frac{6EI}{4^3} = 0,375EI$$

$$Bh^2 = \frac{3EI}{6^2} = \frac{3EI}{36}$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura – Elemento 2 do Caso 2.



$$BC^2 = \frac{3EI}{6} = 0,5EI;$$

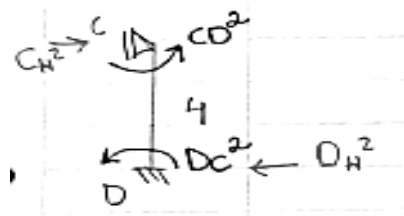
$$CB^2 = 0;$$

$$Bv^2 = \frac{3EI}{6^2} = \frac{3EI}{36};$$

$$Cv^2 = \frac{3EI}{6^2} = \frac{3EI}{36}.$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Figura – Elemento 3 do Caso 2.



$$Ch^2 = 0;$$

$$Dh^2 = 0;$$

$$DC^2 = 0;$$

$$CD^2 = 0.$$

Fonte: Próprios autores, 2018.

Determinação dos coeficientes β_{12} e β_{22} :

$$\beta_{12} = Ch^2 + Bh^2;$$

$$\beta_{12} = 0,375EI = 0,375EI;$$

$$\beta_{22} = BA^2 + BC^2;$$

$$\beta_{21} = 1EI + 0,5EI = 1,5EI.$$

Montagem da matriz de solução

Finalizado o cálculo de todos os coeficientes, inicia-se o processo de montagem da matriz de rigidez. A matriz será escrita da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{10} \\ \beta_{20} \end{bmatrix} = 0$$

Substituindo os valores conhecidos na equação de rigidez, temos que:

$$\begin{bmatrix} 15/64EI & 0,375EI \\ 0,375EI & 1,5EI \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 45 \end{bmatrix} = 0$$

Cálculo das deslocabilidade

Com objetivo de encontrar as deslocabilidades (D1 e D2) a Matriz de Rigidez é transformada em um sistema linear.

$$\frac{15EI}{64} * D1 + 0,375EI * D2 = 0$$

$$0,375EI * D1 + 1,5EI * D2 = -45$$

Aplicando um dos métodos de solução de sistemas encontra-se para as variáveis os seguintes valores:

$$D1 = \frac{80}{EI} \quad \text{e} \quad D2 = -\frac{50}{EI}$$

Determinação dos esforços finais

Como o método dos deslocamentos trabalha com a superposição de casos e estes já foram levantados, é então momento para fazer o cálculo de cada um dos esforços presente na estrutura.

A fórmula geral para cálculo é definida por:

$$E = E_0 + \sum_1 E_i * D_i$$

Primeiro calculando o momento nos dois lados de cada elemento:

- $AB = AB^0 + AB^1 * D_1 + AB^2 * D_2$

$$AB = 0 + \frac{3EI}{8} * \frac{80}{EI} + \frac{1EI}{2} * -\frac{50}{EI} \quad \therefore AB = 5 \text{ KN}$$

- $BA = BA^0 + BA^1 * D_1 + BA^2 * D_2$

$$BA = 0 + \frac{3EI}{8} * \frac{80}{EI} + 1EI * -\frac{50}{EI} \quad \therefore BA = 20 \text{ KN}$$

- $BC = BC^0 + BC^1 * D_1 + BC^2 * D_2$

$$BC = 45 + 0 * \frac{80}{EI} + \frac{1EI}{6} * -\frac{50}{EI} \quad \therefore BC = -20 \text{ KN}$$

- $CB = CB^0 + CB^1 * D_1 + CB^2 * D_2$

$$CB = 0 + 0 * \frac{80}{EI} + 0 * -\frac{50}{EI} \quad \therefore CB = 0 \text{ KN}$$

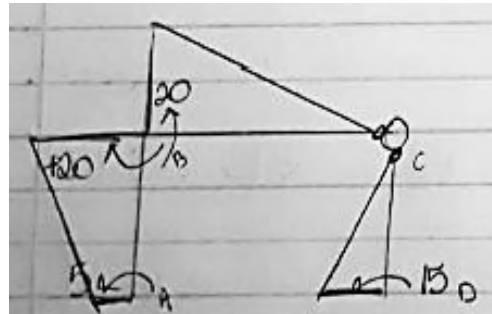
- $CD = CD^0 + CD^1 * D_1 + CD^2 * D_2$

$$CD = 0 + 0 * \frac{80}{EI} + 0 * -\frac{50}{EI} \quad \therefore CD = 0 \text{ KN}$$

- $DC = DC^0 + DC^1 * D_1 + DC^2 * D_2$

$$DC = 0 + \frac{3EI}{16} * \frac{80}{EI} + 0 * -\frac{50}{EI} \quad \therefore DC = 15 \text{ KN}$$

Figura – Esboço Tração e Compressão na estrutura.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Cálculo de reações horizontais e verticais da estrutura:

$$A_h = 0 + \frac{-3EI}{16} * \frac{80}{EI} - \frac{3EI}{8} * -\frac{50}{EI} \quad \therefore A_h = 3,75 \text{ KN} \quad \rightarrow$$

$$B_h = 0 + \frac{3EI}{16} * \frac{80}{EI} + \frac{3EI}{8} * -\frac{50}{EI} \quad \therefore B_h = 3,75 \text{ KN} \quad \leftarrow$$

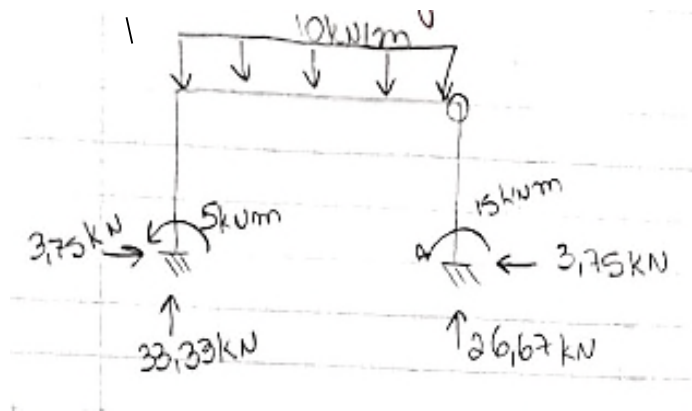
$$A_v = 37,5 + 0 * \frac{80}{EI} + \frac{1EI}{12} * -\frac{50}{EI} \quad \therefore A_v = 33,33 \text{ KN} \quad \uparrow$$

$$D_v = 22,5 + 0 * \frac{80}{EI} - \frac{1EI}{12} * -\frac{50}{EI} \quad \therefore D_v = 26,67 \text{ KN} \quad \uparrow$$

$$C_h = 0 + \frac{3EI}{64} * \frac{80}{EI} + 0 * -\frac{50}{EI} \quad \therefore C_h = 3,75 \text{ KN} \quad \rightarrow$$

$$D_h = 0 - \frac{3EI}{64} * \frac{80}{EI} + 0 * -\frac{50}{EI} \quad \therefore D_h = 3,75 \text{KN} \quad \leftarrow$$

Figura – Estrutura final.



Fonte: Próprios autores, 2018.

Modelo de arquivo temporário:

```

*****
*****
PROGRAMA PARA ANÁLISE ELÁSTICA LINEAR DE ESTRUTURAS
Autora: Wanessa M. G. Quaresma, Junnnio S. Viegas e Lucas A. de
Oliveira
Versão: maio de 2018.
*****
*****

*****DADOS DA
ESTRUTURA*****
Tipo da estrutura= PORTICO_PLANO
Número de coordenadas= 2
Número de propriedades das seções transversais= 3
Número de propriedades dos materiais= 2
Número de graus de liberdade por nó= 3
Número de cargas nos nós= 3

*****DADOS DO
ELEMENTO*****
Tipo de elemento= PP2
Número de nós por elemento= 2
Número de cargas no elemento= 2

*****CARACTERIZAÇÃO DA
ESTRUTURA*****
Número de nós= 4
Número de materiais= 1
Número de seções transversais= 2
Número de elementos= 3
Número de apoios= 2
Número de elementos carregados= 2
Número de nós carregados= 2

*****DADOS DA
ESTRUTURA*****
COORDENADAS DOS NÓS:
Nó      X      Y
01      0.00   0.00
02      0.00   3.00
03      6.00   3.00

```


04 6.00 0.00

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS:

Mat	E	Alpha
01	25000000.000000	0.000300

PROPRIEDADES DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:

ST	Area	Inercia	YLinhaNeutra
01	0.080000	0.001067	0.200000
02	0.080000	0.001067	0.200000

PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS:

El	No1	No2	Material	Seção
01	1	2	1	1
02	2	3	1	1
03	4	3	1	1

APOIOS: (r=1_IMPEDITO r=0_LIVRE)

AP	no	rtx	rty	rmz
01	1	1	1	0
02	4	0	1	0

ELEMENTOS CARREGADOS (idsis=1-GLOBAL idsis=0-LOCAL)

NºEl	El	idsis	qx	qy
01	1	1	2.0	0.0
02	2	1	0.0	-10.0

NÓS CARREGADOS:

Nó	fx	fymz
02	2.0	0.0 0.0
03	0.0	-10.0 2.0

*****ANÁLISE DE GRAUS DE LIBERDADE*****

GRAUS DE LIBERDADE TOTAL:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

GRAUS DE LIBERDADE IMPEDIDOS:

1
2
11

GRAUS DE LIBERDADE LIVRES:

3
4
5
6

7
8
9
10
12

*****OBTENÇÃO DA MATRIZ DE
RIGIDEZ*****

ELEMENTO 1:

Comprimento: 3.00
Sen: 1.00
Cos: 0.00
E: 25000000.0
Alpha: 0.00030
A: 0.0800
I: 0.0010667
YLinhaNeutra: 0.2000

MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO 1 NO SISTEMA LOCAL

	666666.667	0.000	0.000	-666666.667
0.000	0.000			
	0.000	11852.222	17778.333	0.000
-11852.222	17778.333			
	0.000	17778.333	35556.667	0.000
-17778.333	17778.333			
	-666666.667	0.000	0.000	666666.667
0.000	0.000			
	0.000	-11852.222	-17778.333	0.000
11852.222	-17778.333			
	0.000	17778.333	17778.333	0.000
-17778.333	35556.667			

MATRIZ DE ROTAÇÃO DO ELEMENTO 1

	0.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000			
	-1.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	1.000	0.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	-1.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	1.000			

MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO 1 NO SISTEMA GLOBAL

	11852.222	0.000	-17778.333	-11852.222
0.000	-17778.333			
	0.000	666666.667	0.000	0.000
-666666.667	0.000			
	-17778.333	0.000	35556.667	17778.333
0.000	17778.333			

	-11852.222	0.000	17778.333	11852.222
0.000	17778.333			
	0.000	-666666.667	0.000	0.000
666666.667	0.000			
	-17778.333	0.000	17778.333	17778.333
0.000	35556.667			

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 1

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

ELEMENTO 2:

Comprimento: 6.00
 Sen: 0.00
 Cos: 1.00
 E: 25000000.0
 Alpha: 0.00030
 A: 0.0800
 I: 0.0010667
 YLinhaNeutra: 0.2000

MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO 2 NO SISTEMA LOCAL

	333333.333	0.000	0.000	-333333.333
0.000	0.000			
	0.000	1481.528	4444.583	0.000
-1481.528	4444.583			
	0.000	4444.583	17778.333	0.000
-4444.583	8889.167			
	-333333.333	0.000	0.000	333333.333
0.000	0.000			
	0.000	-1481.528	-4444.583	0.000
1481.528	-4444.583			
	0.000	4444.583	8889.167	0.000
-4444.583	17778.333			

MATRIZ DE ROTAÇÃO DO ELEMENTO 2

	1.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000			
	-0.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	1.000	0.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	1.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	-0.000
1.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	1.000			

MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO 2 NO SISTEMA GLOBAL

	333333.333	0.000	0.000	-333333.333
0.000	0.000			
	0.000	1481.528	4444.583	0.000
-1481.528	4444.583			

	0.000	4444.583	17778.333	0.000
-4444.583	8889.167			
	-333333.333	0.000	0.000	333333.333
0.000	0.000			
	0.000	-1481.528	-4444.583	0.000
1481.528	-4444.583			
	0.000	4444.583	8889.167	0.000
-4444.583	17778.333			

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 2

4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---

ELEMENTO 3:

Comprimento: 3.00
 Sen: 1.00
 Cos: 0.00
 E: 25000000.0
 Alpha: 0.00030
 A: 0.0800
 I: 0.0010667
 YLinhaNeutra: 0.2000

MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO 3 NO SISTEMA LOCAL

	666666.667	0.000	0.000	-666666.667
0.000	0.000			
	0.000	11852.222	17778.333	0.000
-11852.222	17778.333			
	0.000	17778.333	35556.667	0.000
-17778.333	17778.333			
	-666666.667	0.000	0.000	666666.667
0.000	0.000			
	0.000	-11852.222	-17778.333	0.000
11852.222	-17778.333			
	0.000	17778.333	17778.333	0.000
-17778.333	35556.667			

MATRIZ DE ROTAÇÃO DO ELEMENTO 3

	0.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000			
	-1.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	1.000	0.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	-1.000
0.000	0.000			
	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	1.000			

MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO 3 NO SISTEMA GLOBAL

	11852.222	0.000	-17778.333	-11852.222
0.000	-17778.333			

	0.000	666666.667	0.000	0.000
-666666.667	0.000			
	-17778.333	0.000	35556.667	17778.333
0.000	17778.333			
	-11852.222	0.000	17778.333	11852.222
0.000	17778.333			
	0.000	-666666.667	0.000	0.000
666666.667	0.000			
	-17778.333	0.000	17778.333	17778.333
0.000	35556.667			

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 3

10 11 12 7 8 9

.....MATRIZ			DE	RIGIDEZ	DA
ESTRUTURA.....					
	11852.222		0.000	-17778.333		-
11852.222		0.000	-17778.333			0.000
0.000		0.000	0.000			0.000
0.000						
	0.000		666666.667			0.000
0.000	-666666.667		0.000			0.000
0.000		0.000	0.000			0.000
0.000						
	-17778.333		0.000		35556.667	
17778.333		0.000	17778.333			0.000
0.000		0.000	0.000			0.000
0.000						
	-11852.222		0.000		17778.333	
345185.556		0.000	17778.333		-333333.333	
0.000		0.000	0.000			0.000
0.000						
	0.000		-666666.667			0.000
0.000	668148.194		4444.583		0.000	-
1481.528		4444.583	0.000			0.000
0.000						
	-17778.333		0.000		17778.333	
17778.333		4444.583	53335.000		0.000	-
4444.583		8889.167	0.000			0.000
0.000						
	0.000		0.000		0.000	-
333333.333		0.000	0.000		345185.556	
0.000		17778.333	-11852.222			0.000
17778.333						
	0.000		0.000			0.000
0.000		-1481.528	-4444.583			0.000
668148.194		-4444.583	0.000		-666666.667	
0.000						
	0.000		0.000			0.000
0.000		4444.583	8889.167		17778.333	-
4444.583		53335.000	-17778.333			0.000
17778.333						
	0.000		0.000			0.000
0.000		0.000	0.000		-11852.222	
0.000		-17778.333	11852.222		0.000	-
17778.333						

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
666666.667	0.000	0.000	0.000	666666.667
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	17778.333
0.000	17778.333	-17778.333	0.000	0.000
35556.667				

*****CARREGAMENTO NOS

NÓS*****

Carga aplicada em X no nó 1
0.000

Carga aplicada em Y no nó 1
0.000

Momento aplicado em Z no nó 1
0.000

Carga aplicada em X no nó 2
2.000

Carga aplicada em Y no nó 2
0.000

Momento aplicado em Z no nó 2
0.000

Carga aplicada em X no nó 3
0.000

Carga aplicada em Y no nó 3
-10.000

Momento aplicado em Z no nó 3
2.000

Carga aplicada em X no nó 4
0.000

Carga aplicada em Y no nó 4
0.000

Momento aplicado em Z no nó 4
0.000

*****CARREGAMENTO EQUIVALENTE NOS

ELEMENTOS*****

Comprimento: 3.00
Sen: 1.00
Cos: 0.00

CARGAS EQUIVALENTES NO ELEMENTO 1 NO SISTEMA LOCAL

Carga equivalente em X no nó 1 =	0.000
Carga equivalente em Y no nó 1 =	-3.000
Momento equivalente no nó 1 =	-1.500
Carga equivalente em X no nó 2 =	0.000
Carga equivalente em Y no nó 2 =	-3.000
Momento equivalente no nó 2 =	1.500

CARGAS EQUIVALENTES NO ELEMENTO 1 NO SISTEMA GLOBAL

Carga equivalente em X no nó 1 =	3.000
Carga equivalente em Y no nó 1 =	0.000
Momento equivalente no nó 1 =	-1.500
Carga equivalente em X no nó 2 =	3.000

Carga equivalente em Y no nó 2 = 0.000
 Momento equivalente no nó 2 = 1.500

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 1
 1 2 3 4 5 6

Comprimento: 6.00
 Sen: 0.00
 Cos: 1.00

CARGAS EQUIVALENTES NO ELEMENTO 2 NO SISTEMA LOCAL

Carga equivalente em X no nó 1 = 0.000
 Carga equivalente em Y no nó 1 = -30.000
 Momento equivalente no nó 1 = -30.000
 Carga equivalente em X no nó 2 = 0.000
 Carga equivalente em Y no nó 2 = -30.000
 Momento equivalente no nó 2 = 30.000

CARGAS EQUIVALENTES NO ELEMENTO 2 NO SISTEMA GLOBAL

Carga equivalente em X no nó 1 = 0.000
 Carga equivalente em Y no nó 1 = -30.000
 Momento equivalente no nó 1 = -30.000
 Carga equivalente em X no nó 2 = 0.000
 Carga equivalente em Y no nó 2 = -30.000
 Momento equivalente no nó 2 = 30.000

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 2
 4 5 6 7 8 9

*****DESLOCAMENTOS

NODAIS *****
 DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 1
 0.00000000
 DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 1
 0.00000000
 ROTAÇÃO DO NÓ 1
 -0.00559091
 DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 2
 0.01567589
 DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 2
 -0.00004175
 ROTAÇÃO DO NÓ 2
 -0.00457844
 DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 3
 0.01567589
 DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 3
 -0.00006325
 ROTAÇÃO DO NÓ 3

0.00408379

DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 4
0.02792725

DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 4
0.00000000

ROTAÇÃO DO NÓ 4
0.00408379

*****CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DOS
ESFORÇOS*****

ELEMENTO 1:

Comprimento: 3.00
Sen: 1.00
Cos: 0.00

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 1
1 2 3 4 5 6

DESLOCAMENTOS DO ELEMENTO 1 NO SISTEMA GLOBAL:

NÓ 1 = 0.00e+00
NÓ 1 = 0.00e+00
NÓ 1 = -5.59e-03
NÓ 2 = 1.57e-02
NÓ 2 = -4.18e-05
NÓ 2 = -4.58e-03

DESLOCAMENTOS DO ELEMENTO 1 NO SISTEMA LOCAL:

NÓ 1 = 0.00e+00
NÓ 1 = 0.00e+00
NÓ 1 = -5.59e-03
NÓ 2 = -4.18e-05
NÓ 2 = -1.57e-02
NÓ 2 = -4.58e-03

FORÇAS DE EXTREMIDADE DO ELEMENTO 1:

27.8333
8.0000
0.0000
-27.8333
-2.0000
15.0000

ELEMENTO 2:

Comprimento: 6.00
Sen: 0.00
Cos: 1.00

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 2
4 5 6 7 8 9

DESLOCAMENTOS DO ELEMENTO 2 NO SISTEMA GLOBAL:

NÓ 1 = 1.57e-02
 NÓ 1 = -4.18e-05
 NÓ 1 = -4.58e-03
 NÓ 2 = 1.57e-02
 NÓ 2 = -6.32e-05
 NÓ 2 = 4.08e-03

DESLOCAMENTOS DO ELEMENTO 2 NO SISTEMA LOCAL:

NÓ 1 = 1.57e-02
 NÓ 1 = -4.18e-05
 NÓ 1 = -4.58e-03
 NÓ 2 = 1.57e-02
 NÓ 2 = -6.32e-05
 NÓ 2 = 4.08e-03

FORÇAS DE EXTREMIDADE DO ELEMENTO 2:

0.0000
 27.8333
 -15.0000
 -0.0000
 32.1667
 2.0000

ELEMENTO 3:

Comprimento: 3.00
 Sen: 1.00
 Cos: 0.00

GRAUS DE LIBERDADE DO ELEMENTO 3

10 11 12 7 8 9

DESLOCAMENTOS DO ELEMENTO 3 NO SISTEMA GLOBAL:

NÓ 1 = 2.79e-02
 NÓ 1 = 0.00e+00
 NÓ 1 = 4.08e-03
 NÓ 2 = 1.57e-02
 NÓ 2 = -6.32e-05
 NÓ 2 = 4.08e-03

DESLOCAMENTOS DO ELEMENTO 3 NO SISTEMA LOCAL:

NÓ 1 = 0.00e+00
 NÓ 1 = -2.79e-02
 NÓ 1 = 4.08e-03
 NÓ 2 = -6.32e-05
 NÓ 2 = -1.57e-02
 NÓ 2 = 4.08e-03

FORÇAS DE EXTREMIDADE DO ELEMENTO 3:

42.1667
 -0.0000
 0.0000
 -42.1667
 0.0000
 0.0000

*****ESFORÇOS
 ELEMENTOS*****

NOS

ESFORÇOS NO ELEMENTO 1

x	NORMAL	CORTANTE	FLETOR
0.0000	-27.8333	8.0000	-0.0000
0.3000	-27.8333	7.4000	2.3100
0.6000	-27.8333	6.8000	4.4400
0.9000	-27.8333	6.2000	6.3900
1.2000	-27.8333	5.6000	8.1600
1.5000	-27.8333	5.0000	9.7500
1.8000	-27.8333	4.4000	11.1600
2.1000	-27.8333	3.8000	12.3900
2.4000	-27.8333	3.2000	13.4400
2.7000	-27.8333	2.6000	14.3100
3.0000	-27.8333	2.0000	15.0000

ESFORÇOS NO ELEMENTO 2

x	NORMAL	CORTANTE	FLETOR
0.0000	-0.0000	27.8333	15.0000
0.6000	-0.0000	21.8333	29.9000
1.2000	-0.0000	15.8333	41.2000
1.8000	-0.0000	9.8333	48.9000
2.4000	-0.0000	3.8333	53.0000
3.0000	-0.0000	-2.1667	53.5000
3.6000	-0.0000	-8.1667	50.4000
4.2000	-0.0000	-14.1667	43.7000
4.8000	-0.0000	-20.1667	33.4000
5.4000	-0.0000	-26.1667	19.5000
6.0000	-0.0000	-32.1667	2.0000

ESFORÇOS NO ELEMENTO 3

x	NORMAL	CORTANTE	FLETOR
0.0000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
0.3000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
0.6000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
0.9000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
1.2000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
1.5000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
1.8000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
2.1000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
2.4000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
2.7000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
3.0000	-42.1667	-0.0000	-0.0000

Modelo de entrada do pórtico 1:

```

%ALEER_-_entrada_de_dados:_portico_1a
%Tipo_de_estrutura
PORTICO_PLANO
%Tipo_de_elemento
PP2
%Numero_de_nos
4
%Numero_de_materiais
1
%Numero_de_secoes_transversais
2
%Numero_de_elementos
3
%Numero_de_apoios
2
%Numero_elementos_carregados
2
%Numero_de_nos_carregados
2
%Coordenadas_dos_nos
%      X      Y
1      0.0    0.0
2      0.0    3.0
3      6.0    3.0
4      6.0    0.0
%Propriedades_dos_materiais
%      E      ALPHA
1      25000000.  0.00030

```

```

%Propriedades_das_seções_transversais
%  Area      Inercia      YLinhaNeutra
1  0.080     0.0010667     0.20
2  0.080     0.0010667     0.20
%Propriedades_dos_elementos
%  no1  no2  material  seção
1  1    2    1        1
2  2    3    1        1
3  4    3    1        1
%Apoios_(r=1_impedido_r=0_livre)
%  no  rtx  rty  rmz
1  1    1    1    0
2  4    0    1    0
%Elementos_carregados_(idsis=1_global_idsis=0_local)
%  el  idsis  qx  qy
1  1    1    2.0  0.0
2  2    1    0.0 -10.0
%Nos_carregados
%  no  fx  fy  mz
1  2    2.0  0.0  0.0
2  3    0.0 -10.0  2.0
%Fim

```

Modelo dos valores finais do pórtico 1:

```

*****
*****
PROGRAMA PARA ANÁLISE ELÁSTICA LINEAR DE ESTRUTURAS
Autora: Wanessa M. G. Quaresma, Junnio S. Viegas e Lucas A. de
Oliveira
Versão: maio de 2018.
*****
*****

*****DADOS DA
ESTRUTURA*****
Tipo da estrutura= PORTICO_PLANO
Número de coordenadas= 2
Número de propriedades das seções transversais= 3
Número de propriedades dos materiais= 2
Número de graus de liberdade por nó= 3
Número de cargas nos nós= 3

*****DADOS DO
ELEMENTO*****
Tipo de elemento= PP2
Número de nós por elemento= 2
Número de cargas no elemento= 2

*****CARACTERIZAÇÃO DA
ESTRUTURA*****
Número de nós= 4
Número de materiais= 1
Número de seções transversais= 2
Número de elementos= 3
Número de apoios= 2

```

Número de elementos carregados= 2
 Número de nós carregados= 2

*****DADOS DA
 ESTRUTURA*****

COORDENADAS DOS NÓS:

Nó	X	Y
01	0.00	0.00
02	0.00	3.00
03	6.00	3.00
04	6.00	0.00

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS:

Mat	E	Alpha
01	25000000.000000	0.000300

PROPRIEDADES DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:

ST	Area	Inercia	YLinhaNeutra
01	0.080000	0.001067	0.200000
02	0.080000	0.001067	0.200000

PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS:

El	No1	No2	Material	Seção
01	1	2	1	1
02	2	3	1	1
03	4	3	1	1

APOIOS: (r=1_IMPEDITO r=0_LIVRE)

AP	no	rtx	rty	rmz
01	1	1	1	0
02	4	0	1	0

ELEMENTOS CARREGADOS (idsis=1-GLOBAL idsis=0-LOCAL)

N°El	El	idsis	qx	qy
01	1	1	2.0	0.0
02	2	1	0.0	-10.0

NÓS CARREGADOS:

Nó	fx	fy	mz
02	2.0	0.0	0.0
03	0.0	-10.0	2.0

*****DESLOCAMENTOS
 NODAIS*****

DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 1
 0.00000000

DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 1
 0.00000000

ROTAÇÃO DO NÓ 1
 -0.00559091

DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 2
 0.01567589

DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 2

-0.00004175
 ROTAÇÃO DO NÓ 2
 -0.00457844
 DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 3
 0.01567589
 DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 3
 -0.00006325
 ROTAÇÃO DO NÓ 3
 0.00408379
 DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ 4
 0.02792725
 DESLOCAMENTO VERTICAL DO NÓ 4
 0.00000000
 ROTAÇÃO DO NÓ 4
 0.00408379

*****ESFORÇOS
 ELEMENTOS*****

NOS

ESFORÇOS NO ELEMENTO 1			
x	NORMAL	CORTANTE	FLETOR
0.0000	-27.8333	8.0000	-0.0000
0.3000	-27.8333	7.4000	2.3100
0.6000	-27.8333	6.8000	4.4400
0.9000	-27.8333	6.2000	6.3900
1.2000	-27.8333	5.6000	8.1600
1.5000	-27.8333	5.0000	9.7500
1.8000	-27.8333	4.4000	11.1600
2.1000	-27.8333	3.8000	12.3900
2.4000	-27.8333	3.2000	13.4400
2.7000	-27.8333	2.6000	14.3100
3.0000	-27.8333	2.0000	15.0000

ESFORÇOS NO ELEMENTO 2			
x	NORMAL	CORTANTE	FLETOR
0.0000	-0.0000	27.8333	15.0000
0.6000	-0.0000	21.8333	29.9000
1.2000	-0.0000	15.8333	41.2000
1.8000	-0.0000	9.8333	48.9000
2.4000	-0.0000	3.8333	53.0000
3.0000	-0.0000	-2.1667	53.5000
3.6000	-0.0000	-8.1667	50.4000
4.2000	-0.0000	-14.1667	43.7000
4.8000	-0.0000	-20.1667	33.4000
5.4000	-0.0000	-26.1667	19.5000
6.0000	-0.0000	-32.1667	2.0000

ESFORÇOS NO ELEMENTO 3			
x	NORMAL	CORTANTE	FLETOR
0.0000	-42.1667	-0.0000	-0.0000

0.3000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
0.6000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
0.9000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
1.2000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
1.5000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
1.8000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
2.1000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
2.4000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
2.7000	-42.1667	-0.0000	-0.0000
3.0000	-42.1667	-0.0000	-0.0000