



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

INGRID KELLEN SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
AUXÍLIO DA APRENDIZAGEM DO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS**

**BARRA DO GARÇAS – MT
2019**

INGRID KELLEN SILVA

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO
DA APRENDIZAGEM DO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Hiroshi Konda

BARRA DO GARÇAS – MT
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586i silva, ingrid.

Implementação de uma ferramenta computacional para auxílio da aprendizagem do método dos deslocamentos / ingrid silva. -- 2019
95 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Danilo Hiroshi Konda.

TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Software educacional. 2. Desenvolvimento computacional do método da rigidez direta. 3. Auxílio da aprendizagem. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO
TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL**

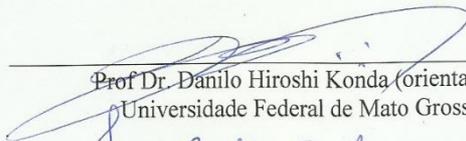
ALUNO(A): INGRID KELLEN SILVA

Aos nova dias do mês de agosto do ano de dois mil e dezenove, às sete horas e trinta minutos, na Sala 220, do Campus Universitário do Araguaia - UFMT na cidade de Barra do Garças, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Ingrid Kellen Silva. A banca foi composta pelos seguintes professores: orientador Prof. Dr. Danilo Hiroshi Konda, Prof. Iury Bispo dos Santos e Prof.^a Especialista Ângela Maria Vivan. O Trabalho de Curso tem como título: IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO DA APRENDIZAGEM DO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS. Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado aprovado, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a).

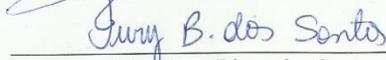
Barra do Garças, 09 de agosto de 2019.

Aluno(a): Ingrid Kellen Silva

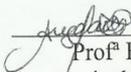
Banca:



Prof. Dr. Danilo Hiroshi Konda (orientador)
Universidade Federal de Mato Grosso



Prof. Iury Bispo dos Santos (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso



Prof.^a Especialista Ângela Maria Vivan (membro)
Secretaria de Estado de Educação do Estado de Mato Grosso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu saúde e forças para concluir esse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Doutor Danilo Hiroshi Konda por todo apoio, paciência e dedicação ao longo desse projeto. Da mesma forma agradeço à pedagoga Angela Maria Vivan pelas contribuições fundamentais à execução deste trabalho, referentes à abordagem pedagógica do processo de aprendizagem.

Agradeço em especial aos meus familiares por todo suporte e orientação, que me auxiliaram a trilhar essa caminhada.

Agradeço aos meus amigos que estiveram ao meu lado, me incentivando e me ajudando a superar minhas dificuldades, nesse momento.

RESUMO

O presente trabalho visa avaliar a contribuição na aprendizagem através do uso de *softwares*, guiados por fundamentos da psicopedagogia. A psicopedagogia é a área de estudo que se dedica a desenvolver métodos juntamente com a instituição e professor para resolver as dificuldades no processo de aprendizagem dos alunos. Neste trabalho, faz-se uma proposta estruturada na implementação de um recurso computacional no ensino do método dos deslocamentos para análise de estruturas, no curso de engenharia civil, fundamentada na criação de uma ferramenta computacional em linguagem Fortran, para resolução de treliças planas, voltada inicialmente para o uso educacional. A abordagem trata da análise estrutural e todos seus conceitos de rigidez de forma matricial, além de apresentar teorias pedagógicas que norteiam o auxílio do processo de ensino aprendizagem. Com a utilização de análises pedagógicas, verifica-se que o *software* desenvolvido se apresenta como uma ferramenta capaz de auxiliar na aprendizagem do método dos deslocamentos, proporcionando melhorias na absorção e compreensão do conteúdo.

Palavras-chave: Software educacional; Desenvolvimento computacional do Método da rigidez direta; Auxílio na aprendizagem.

ABSTRACT

The current work intends to evaluate the contribution on learning through a software, guided by psychopedagogy foundations. Psychopedagogy is the study area that is dedicated to develop methods along with the institution and professor to solve difficulties towards the student's learning process. In this work, a proposal is made structured in the implementation of a computational resource in the teaching of displacement method for structural analysis, in the civil engineering course, based on creation of a computational tool in Fortran language, to solve flat trusses, at first for educational use. The approach is about the structural analysis and all its concepts of stiffness in matrix form, besides presenting pedagogical theories that guide the aid of teaching-learning process. With pedagogical analysis, it is verified that the developed software presents itself a tool capable of helping on learning the displacement method, providing improvements on absorption and comprehension of the content.

Keywords: Educational software; Computational development of the direct stiffness method; Learning aid

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – ciclo de aprendizagem vivencial -----	23
Figura 2 – Superposição de soluções básicas no método dos deslocamentos -----	37
Figura 3 - A ponte Tacoma-Narrows reconstruída, mostrando as treliças usadas para enrijecer o sistema de piso da pista de rolamento -----	38
Figura 4 - primeira treliça espacial usada no Brasil pelo arquiteto Jorge Wilhelm e pelo engenheiro Raymond Faure em 1969 -----	39
Figura 5 - Diagramas de corpo livre de barras carregadas axialmente e nós adjacentes -----	40
Figura 6 - (a) detalhe de uma treliça; (b) ligação soldada; (c) ligação idealizada; barras conectadas por um pino sem atrito -----	40
Figura 7 - sistema de referência global e local -----	41
Figura 8 - discretização de treliça plana . -----	42
Figura 9 - graus de liberdade da treliça -----	42
Figura 10 - Convenção de sinais das forças na barra -----	43
Figura 11 - sistema global de coordenadas -----	47
Figura 12 - sistema local com inclinação α -----	47
Figura 13 - super matriz com dimensão 2 . GDI/nó -----	52
Figura 14 - alocação das matrizes de rigidez de cada barra dentro da super matriz . -----	52
Figura 15- treliça com forças nodais externas -----	53
Figura 16 – GDL da treliça da figura 15 -----	53
Figura 17 - fluxograma do funcionamento do programa treliça -----	54
Figura 18 - primeiro exemplo usado para validar o software -----	66
Figura 19 - validação da treliça da figura 19 no software <i>Ftool</i> -----	69
Figura 20- exemplo 2 para validação do programa “treliça” -----	70
Figura 21 - validação no software <i>Ftool</i> da treliça da figura 20 -----	75

Quadro 1 - Modelos de estilos de aprendizagem ----- 24

Quadro 2 - Comparação entre método das forças e método dos deslocamentos ----- 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – conectividade da treliça da figura 8 -----	43
Tabela 2 – conectividade da treliça da figura 8 -----	43
Tabela 3 – comparação dos resultados do exemplo 1 pelo programa e pelo <i>Ftool</i> -----	69
Tabela 4 – comparação dos resultados do exemplo 2 pelo programa e pelo <i>Ftool</i> -----	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – porcentagem de alunos que acham o modelo de aula expositiva suficiente -----	59
Gráfico 2 - porcentagem de alunos que aprovam o uso de tecnologias para a aprendizagem ---	59
Gráfico 3 - classificação de diferentes processos metodológicos quanto à melhor aprendizagem dos alunos -----	60
Gráfico 4 - facilidade de acesso à materiais da disciplina sendo o parâmetro 0, igual a difícil acesso e 10 muito fácil acesso -----	60
Gráfico 5 - estilos de aprendizagem que os alunos se identificam -----	61
Gráfico 6 - estimativa da suficiência do modelo de avaliação sendo o parâmetro 0, igual a não suficiente e 10 totalmente suficiente -----	61
Gráfico 7 - sugestões de outros meios de avaliação da aprendizagem -----	62
Gráfico 8 - relação da disciplina teórica com a pratica -----	62
Gráfico 9 - relação da complexidade do conteúdo com a dificuldade de aprendizagem -----	63
Gráfico 10 - relação da extensão do conteúdo com a dificuldade de aprendizagem -----	63
Gráfico 11 - dificuldade de reconhecer a autenticidade dos resultados encontrados-----	64
Gráfico 12 - dificuldade de visualizar situações reais devido à somente exposição da teoria --	64
Gráfico 13 – dificuldade de entender a teoria -----	65

Gráfico 14 - porcentagem de alunos que acham que o acesso a resultados parciais facilita na compreensão do exercício -----	75
Gráfico 15 - interesse no processo de resolução utilizado pelo software -----	76
Gráfico 16 – importância de calcular manualmente e aprender a automatizar sendo que o parâmetro 0 significa calcular manualmente e 10 automatizar -----	76
Gráfico 17-auxílio na aprendizagem do método dos deslocamentos pelo programa desenvolvido	77
Gráfico 18 - abordagem do conteúdo do software -----	77
Gráfico 19 - entendimento da estrutura do software -----	78
Gráfico 20 – coerência do software com a área e nível de ensino -----	78
Gráfico 21 - sugestões de aperfeiçoamento do software -----	79

LISTA DE ABREVIATURAS

GDL- Graus de liberdade

FORTRAN – Formula Translation

MBTI - Myers-Briggs Type Indicator

DA- Dificuldades de aprendizagem

EdA - Estilos de aprendizagem

CA - Conceituação Abstrata

EC - Experiência Concreta

EA - Experimentação Ativa

OR - Observação Reflexiva

LSI - *Learning Style Inventory*

SL-TDI - *Singer Loomis Type Deployment Inventory*

ABPp - Associação Brasileira de Psicopedagogia

TICs - Tecnologias da informação e da comunicação

CAI - Instrução auxiliada pelo computador

LEC- Laboratório de Estudos Cognitivos

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia

BBS - Biblioteca Brasileira de Software

MEC – Ministério da Educação

CUA/UFMT- Campus Universitário do Araguaia/ Universidade Federal do Mato Grosso

QI- Quociente de inteligência

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ – somatório

α – ângulo de inclinação do eixo local

θ - ângulo que o vetor de forças faz com o eixo x global

$| |$ - módulo

σ - representa tensão

ε - deformação

ΔL – variação do deslocamento L

K- Matriz de rigidez da estrutura

U – Vetor de deslocamentos nodais

F – Vetor de cargas nodais

R- Matriz de rotação

X^L – Coordenada x no sistema de referências local

Y^L - Coordenada y no sistema de referências local

Z^L - Coordenada z no sistema de referências local

X - Coordenada x no sistema de referência global

Y - Coordenada y no sistema de referência global

F_{xj} - Força no eixo x, no nó inicial

F_{xk} - força no eixo x, no nó final

j- Nó inicial da barra

k- Nó final da barra

U_{xk}^L - Deslocamento no eixo x de referências local, no nó final

U_{xj}^L - Deslocamento no eixo x de referências local, no nó inicial

(i)- índice que representa uma barra

$F^i{}^L$ - Vetor de forças em uma barra no sistema de referências local

$K^i{}^L$ - Matriz de rigidez de uma barra no sistema local

$U^i{}^L$ – Vetor deslocamento de uma barra no sistema local

P - Vetor genérico

P_x^L - Vetor no sistema de coordenadas x de referência local

P_y^L - Vetor no sistema de coordenadas y de referência local

P_x - Vetor no sistema de coordenadas x global

P_y - Vetor no sistema de coordenadas y global

P^L - Vetor no sistema de coordenadas local

R^T - Matriz de rotação transposta

C_x – Cosseno diretor de x

C_y – Cosseno diretor de y

X_K - Coordenada em x do nó final

X_J - Coordenada em x do nó inicial

Y_K - Coordenada em y do nó final

Y_J - Coordenada em y do nó inicial

$U^{i,L}$ - Deslocamento de uma barra no sistema local

U^i - Deslocamento de uma barra no sistema global

F^i – Vetor de forças de uma barra no sistema global

K^i - Matriz de rigidez de uma barra no sistema global

K – Matriz de rigidez global da estrutura

RM - Reações de apoio

PM - Forças externas atuantes no apoio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 JUSTIFICATIVA	19
4 REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM.....	20
4.1.1 INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS	20
4.1.2 ESTILOS DE APRENDIZAGEM E TIPOS PSICOLÓGICOS.....	23
4.1.3 APRENDIZAGEM PELA PERSPECTIVA DE PIAGET	29
4.2 PSICOPEGAGOGIA	32
4.3 USO DE SOFTWARES NO PROCESSO EDUCATIVO	33
4.3.1 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO.....	33
4.3.2 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO NO BRASIL	36
4.3.3 SOFTWARE EDUCATIVO	36
4.3.4 SOFTWARES NA ENGENHARIA	37
4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL	39
4.5 MÉTODO DA RIGIDEZ DIRETA.....	42
4.6 TRELIÇAS.....	44
5 METODOLOGIA	46
5.1 FORMULÁRIO INICIAL.....	46
5.2 MÉTODO DA RIGIDEZ DIRETA APLICADO À TRELIÇAS.....	46
5.2.1 DISCRETIZAÇÃO DA ESTRUTURA E NUMERAÇÃO DE NÓS E BARRAS	47
5.2.2 CONECTIVIDADES E PROPRIEDADES DAS BARRAS.....	48
5.2.3 MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA BARRA NO SISTEMA LOCAL	49
5.2.4 ROTAÇÃO NO PLANO	51
5.2.5 MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA NO SISTEMA GLOBAL.....	55
5.2.6 MONTAGEM DA SUPER MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL DA ESTRUTURA	55
5.2.7 FORÇAS NODAIS E DESLOCAMENTOS	56
5.2.8 CONDIÇÕES DE CONTORNO	57
5.2.9 REAÇÕES DE APOIO.....	58
5.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	58
5.3.1 ARQUIVO DE ENTRADA.....	59
5.3.2 ARQUIVO DE SAÍDA.....	61
5.4 FORMULÁRIO FINAL.....	61
6 RESULTADOS E DISCURSÕES	61
6.1 FORMULÁRIO INICIAL.....	61
6.2 VALIDAÇÃO DO PROGRAMA “TRELIÇA”	70
6.3 FORMULÁRIO FINAL.....	72
7 CONCLUSÕES	78
8 REFERÊNCIAS	79

1. INTRODUÇÃO

No cotidiano escolar pode-se perceber que o processo de aprendizagem se faz de maneira única e diferente para cada indivíduo, sendo que isso acontece porque cada pessoa tem tipos de inteligência, psicológicos e de aprendizagem diferentes. Em 1983, Gardner definiu alguns desses tipos de inteligência como: verbal ou linguística; lógica ou matemática; musical; visual ou espacial; interpessoal; intrapessoal; e corporal. Sendo que essas estão localizadas em diferentes áreas do cérebro e podem atuar tanto separadas quanto juntas.

Assim, um aluno aprende melhor através de dinâmicas em grupo enquanto outro ao ler livros, o que leva então a surgir dificuldades no processo de aprendizagem, pois as escolas não consideram a variedade dos estilos de aprendizagem em sua complexidade. Nesse contexto, a psicopedagogia surge para tentar resolver essas dificuldades no aprendizado juntamente com o professor.

Uma das ferramentas que pode auxiliar no tratamento dessas dificuldades educacionais, é o software educativo. Aproveitando-se da natureza globalizada do conhecimento nos dias de hoje, o *software* aparece como uma solução capaz de contemplar diferentes tipos de inteligência e estilos de aprendizagem. Vale ressaltar que eles devem ser uma complementação e não substituir as atividades educacionais convencionais padrão.

Em países como os Estados Unidos o uso de ferramentas computacionais no auxílio da aprendizagem já é uma realidade para alunos desde a escola elementar (6 primeiros anos do 1º grau) até os alunos do 2º grau. De um modo geral, algumas escolas proporcionam cerca de 30 horas ou mais de formação em pelo menos uma linguagem de programação como o Basic e também o Fortran, que surgiu por volta dos anos de 1957 e até hoje é muito utilizada por pesquisadores.

No Brasil essa realidade é diferente pois existe um pequeno número de *softwares* educativos no mercado brasileiro. E vale lembrar que desses softwares existentes, a grande maioria é adaptada de outros softwares estrangeiros, ou seja, não foram criados baseados no sistema educacional brasileiro.

Em meio ao uso de softwares para auxiliar no processo educativo, surgiu a necessidade da inserção deles no ensino superior e em especial nos cursos de exatas como a engenharia civil. Para a análise de estruturas, graças a popularização dos computadores, é comum o engenheiro usar e desenvolver ferramentas numéricas capazes de auxiliar de

forma dinâmica e interativa esse processo.

A análise estrutural consiste na determinação de deslocamentos e esforços gerados pelas forças atuantes na estrutura, sendo que, dentre os métodos mais utilizados para análise de estruturas reticuladas tem-se o método das forças e o método dos deslocamentos.

A escolha do método da rigidez direta se dá pela sua simplicidade de implementação, pois objetiva aproximar a sua metodologia dos programas computacionais através de uma formalização matricial do método dos deslocamentos, em que os parâmetros básicos da solução são os deslocamentos e rotações nos pontos notáveis (nós) do modelo da estrutura. Cabe ressaltar que este trabalho contempla apenas soluções de modelos de estruturas reticuladas com consideração de linearidade física.

Por outro lado, a escolha da linguagem Fortran para desenvolvimento do código se dá pela facilidade de interpretação e pela possibilidade de rápido aprendizado da linguagem, uma vez que esta foi desenvolvida especificamente para fins científicos e de engenharia.

A validação do *software* é realizada através de comparação de resultados de exemplos cujos resultados já são conhecidos pela literatura, ou por resultados obtidos por cálculo manual, ou ainda por resultados obtidos por outros *softwares* já consolidados, como o *Ftool*.

A contribuição para com o processo de aprendizagem é aferida através da aplicação de formulários, desenvolvidos com o auxílio de conhecimento técnico pedagógico. De forma preliminar, é feito um levantamento em campo para se verificar a percepção geral dos alunos com relação ao aprendizado dentro da disciplina Teoria das Estruturas II. Em um segundo momento, um novo levantamento é feito a fim de se constatar quais os reais benefícios que o *software* propiciou para a turma.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um programa computacional para análise estrutural, com vistas a auxiliar na aprendizagem do método dos deslocamentos. Tem-se ainda, como objetivo geral, estudar de forma quantitativa e/ou qualitativa, a eficácia do uso da ferramenta computacional no processo de aprendizagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Elaborar um código computacional em linguagem FORTRAN para a solução de estruturas isostáticas e hiperestáticas;
- 2) Validar o código computacional desenvolvido;
- 3) Utilizar a ferramenta computacional desenvolvida, nas salas de aula, junto com alunos da disciplina Teoria das Estruturas II e avaliar a percepção dos alunos sobre os benefícios que a ferramenta computacional propiciou no processo aprendizagem;
- 4) Sugerir diferentes ferramentas pedagógicas, considerando os resultados obtidos.

3 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que o processo de aprendizagem dentro das universidades, em especial no curso de engenharia civil do CUA/UFMT, apresenta grandes dificuldades, fato que pode ser verificado pelo alto índice de retenção de alunos. É alta a ocorrência de reprovações nas disciplinas no decorrer do curso. Baseando-se nessas dificuldades, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um *software* educacional para a disciplina de teoria das estruturas 2, de análise estrutural. A utilização do computador pode desempenhar um papel de grande relevância cognitiva e didática, para que o conteúdo possa ser visualizado de maneira mais clara e objetiva, gerando uma motivação que torna o aprendizado mais eficiente e dinâmico.

Na engenharia civil, as ferramentas computacionais, programas de cálculos e modelagem podem ser utilizados com o objetivo de estimular e simplificar a matemática, onde se é necessário, uma melhor compreensão por parte dos alunos. Assim, o uso de *softwares* educacionais pode estabelecer uma aproximação entre a teoria e prática, fazendo-se um instrumento de ensino-aprendizagem, que auxilia o professor a preparar o estudante para o mercado de trabalho, uma vez que, a informática está intimamente ligada ao dia-a-dia das pessoas, principalmente nos escritórios e construtoras, onde já existe grande dependência tecnológica.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM

Primeiramente Saravali (2005), deixa claro que estudar e pesquisar sobre as dificuldades de aprendizagem (DA) é um processo árduo, podendo ser muitas vezes confuso e ambíguo. Nos últimos anos, depois de muitos estudos e discussões sobre a educação brasileira, foram adotadas algumas medidas governamentais, porém elas se preocuparam em ampliar o número de vagas nas escolas e universidades, e não desenvolveram métodos de garantir o conhecimento eficiente para todos. Assim o fracasso escolar ainda se impõe de forma alarmante, e a tentativa de solucionar as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos ainda é pela reprovação de série. (Silva e Nista-Piccolo, 2010)

Dentro deste quadro, autores como Ciasca (2003) e Neira (2003) apontam que muitos alunos continuam “ sem condições de aprender” mesmo que o número de reprovações tenha diminuído. Assim, Silva e Nista-Piccolo (2010) explicam a complexidade da investigação das dificuldades de aprendizagem por elas serem influenciadas por inúmeras variáveis como o contexto cultural, a diversidade e as peculiaridades apresentadas, que são características inatas do ser humano.

Nessa perspectiva, torna-se possível evidenciar que os estudantes aprendem de formas diferentes e individuais. Deste modo, os tópicos a seguir sintetizam aspectos importantes dos temas referentes à Dificuldades de Aprendizagem, Teoria das Inteligências múltiplas, e Estilos de aprendizagem, assim como suas consequências no processo de aprendizagem.

4.1.1 INTELIGÊNCIAS MULTIPLAS

4.1.1.1 DEFINIÇÃO DE INTELIGÊNCIA

Inteligência é uma palavra que vem do latim *intellectus* e significa entender e compreender. Várias são as definições para ela no dicionário, dentre estas pode-se destacar: “capacidade de compreender e resolver novos problemas e conflitos e adaptar-se a novas situações”. Cronologicamente os conceitos de inteligência foram alterados conforme a evolução de estudos da psicologia do desenvolvimento e estudos sobre a cognição humana. Uma das primeiras proposições de inteligência foi a do psicólogo francês Alfred Binet que

desenvolveu o teste de quociente de inteligência (QI). (SOBRAL, 2013, p. 37)

Por meio de estudos sobre a cognição humana, o psicólogo Howard Gardner (1983), revoluciona ao fugir da concepção de uma única inteligência, e a define como uma virtude singular utilizada para resolver problemas e criar produtos que possam ser significativos para diferentes culturas. (Gardner, 1983)

No sentido mais amplo da palavra, inteligência representa uma capacidade cerebral de pela qual se consegue aprofundar na compreensão das coisas e escolher o melhor caminho. Desse modo os atos vistos como essenciais à inteligência são o juízo, o raciocínio e a formação de ideias. (Antunes, 2003). Evidenciando então que a inteligência é um conjunto de várias capacidades. E de acordo com Gardner (1983) este conjunto de características tem igual importância e independente de resultados de testes, sendo que, o que garantirá o sucesso nas trajetórias acadêmicas é a forma como a pessoa possui e utiliza as inteligências.

4.1.1.2 TEORIA DAS INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS

No livro “Estruturas da mente: Teoria das inteligências múltiplas”, o psicólogo Gardner (1983), propõe a existência de inicialmente sete tipos diferentes de inteligência, e parte do princípio de que somos dotados com todas elas, mas sempre há duas mais desenvolvidas e uma menos. São elas: inteligência linguística; lógico-matemática; espacial; musical; corporal-cinestésica; intrapessoal; e interpessoal. Dentre essas, as mais conhecidas são as duas primeiras que geralmente sempre são colocadas como superiores, por gerarem um melhor resultado em testes de QI.

A inteligência linguística é a que se identifica como a percepção de usar a linguagem de forma adequada para disseminar ideias; a lógico-matemática refere-se a sensibilidade para padrões, ordens, linhas de raciocínio, e sistematizações; a espacial é o senso de um mundo espacial e visual, pensar tridimensionalmente; a musical é a habilidade de apreciar ritmos, compor e tocar instrumentos; a corporal-cinestésica é competência de controlar o corpo com coordenação; a intrapessoal é conseguir conhecer a si mesmo e por fim a interpessoal é interagir com outras pessoas.

No entanto, essas definições são muito amplas, e uma maneira de compreender melhor cada inteligência segundo Rodrigues (2015) é associando-as a personalidades conhecidas, como por exemplo Einstein à lógica-matemática, Pelé à corporal-cinestésica,

Freud à interpessoal, Oscar Niemeyer à espacial, Shakespeare à linguística e assim por diante. Assim, torna-se possível a assimilação das múltiplas inteligências no cotidiano de cada ser humano, e a consideração de que elas devem ser desenvolvidas desde a infância até a vida adulta com auxílio das escolas.

4.1.1.3 MÚLTIPLAS INTELIGÊNCIAS NAS ESCOLAS

Gardner (1983) ao direcionar a teoria das múltiplas inteligências para o ambiente educacional, diz que:

“ Em minha opinião, o propósito da escola deveria ser o de desenvolver as inteligências e ajudar as pessoas a atingirem objetivos de ocupação e passatempo adequados ao seu espectro particular de inteligência. As pessoas que são ajudadas a fazer isso, acredito, que se sentem mais engajadas e competentes, e, portanto, mais inclinadas a servirem à sociedade de uma maneira construtiva. ”
(Pg.16)

A partir dessa afirmação, pode-se deduzir que o conhecimento e uso de todas as inteligências no ambiente de ensino, pode favorecer a aprendizagem nas escolas e universidades, já que as pessoas possuem diferentes habilidades e interesses, além de aprenderem de maneiras diferentes. Desta forma, torna-se necessário a dissociação das concepções de inteligência a algo testável, impondo assim pontos de vistas mais amplos sobre o intelecto.

Antunes (2003), revela que nos dias atuais nota-se a importância de associar a eficiência do ensino com a compreensão de como acontece a aprendizagem, assim o ensino não se totaliza, sem a aprendizagem. Deste modo o papel do professor é de estimular as habilidades das diversas inteligências em seus alunos.

Ainda de acordo com Gardner (1983), a escola é um dos principais pilares para abranger essa variedade de inteligências de um modo correto, pois ao centrar no indivíduo ela cria maneiras diferentes de ensinar assuntos e de adequar o mesmo à vários estilos de vida e de trabalho que existem em sua cultura, ou seja, a escola é a instituição capaz de avaliar as tendências e capacidades individuais.

Nas instituições educacionais do Brasil, utiliza-se diferentes práticas pedagógicas e técnicas, possibilitando a introdução da Teoria das Inteligências Múltiplas, como uma contribuição no desenvolvimento estudantil frente às dificuldades de aprendizagem. Pois essa teoria parte de uma perspectiva de que todas as pessoas possuem habilidades e

competências cognitivas individuais que estão presentes no mesmo ambiente de ensino, assim torna-se capaz de trabalhar a formação pessoal de cada aluno, de forma a atingir objetivos mais adequados ao seu aspecto particular de inteligência. (Antunes e Costa, 2016)

Esse trabalho tenta introduzir a visão de uma escola com métodos de aprendizado semelhantes aos idealizados por Gardner (1983), onde a função dos educadores seria de tentar compreender o máximo possível as capacidades e interesses de um aluno dentro do universo acadêmico. Diante disto, o propósito pedagógico seria o entendimento do perfil de inteligências de cada aluno inclusive suas possíveis deficiências, podendo assim propor alternativas para combater essas dificuldades.

4.1.1.4 APOIADORES DA TEORIA DE GARDNER

No livro intitulado “Tecnologia da informação e comunicação da educação”, Kampff (2009) expõe a teoria de inteligências múltiplas e apoia a criação de um contexto de aprendizagem tão variado quanto às inteligências, possibilitando assim o desenvolvimento de cada tipo de inteligência de formas diferentes. Vale dizer que, para que tal desenvolvimento aconteça é necessário a proposição de projetos e atividades em grupos, e ainda, situações-problema para estimular os indivíduos.

O uso desses projetos no processo de aprendizagem carrega consigo algumas perspectivas pedagógicas relevantes como: oportunizar vivências; mediar o processo; oferecer acesso à amplo material; considerar cada indivíduo em sua singularidade e por fim motivar o sujeito a se dedicar à sua aprendizagem. Assim, Kampff (2009) ressalta que:

“Diversas tecnologias, em especial as da informação e comunicação, devem fazer parte do desenvolvimento dos projetos, oportunizando ampla pesquisa e múltiplos estímulos sensoriais...” (pag. 37)

O Ministério da Educação (1999) também apoia a teoria das inteligências múltiplas de Gardner (1983) e idealiza um modelo de educação diferente do que predomina nas escolas brasileiras, ressaltando que a perspectiva de Gardner possibilita enxergar o aluno de uma forma ampla e ainda, desassociando o indivíduo dos padrões de inteligência logico-matemática ou linguística.

4.1.2 ESTILOS DE APRENDIZAGEM E TIPOS PSICOLÓGICOS

Cada indivíduo além de possuir uma combinação particular das múltiplas

inteligências, possui também um estilo de aprendizagem individual que pode ou não, ser associado ao tipo de personalidade da pessoa. Primeiramente, a definição de estilos de aprendizagem e tipos psicológicos segundo KURI (2004):

“É a forma como cada indivíduo recebe, processa e apresenta as informações e ideias. Já os tipos de personalidades (ou tipos psicológicos) são as preferências individuais, que quando agrupadas formam um determinado tipo”. (Pg.10)

É fácil perceber esses tipos psicológicos e estilos de aprendizagem no cotidiano escolar, bastando observar o fato de alguns alunos preferirem que, para determinada disciplina o professor comece com explicações teóricas e depois realizem trabalhos em grupos para discutir tal assunto, enquanto outro grupo de alunos prefere aprender com a leitura e trabalhos individuais. Essas informações podem ser de grande relevância para explicar que um único método de ensino não favorece todos os alunos, além de ser uma possibilidade para aumentar a eficiência do ensino.

4.1.2.1 TIPOS PSICOLÓGICOS

Muitas são as hipóteses de classificação dos seres humanos segundo seus temperamentos. De acordo com Keirse (1998), uma das primeiras suposições foi a do médico e filósofo Galeno no ano dois antes de cristo, que afirmava que os temperamentos eram definidos pela quantidade de determinado fluido no organismo. Se o sangue predominasse a pessoa é do tipo sanguíneo, ou seja, com temperamento otimista; se a bile amarela fosse predominante, a pessoa é do tipo colérica e o temperamento é apaixonado; aquela com predomínio da fleuma é do tipo Fleumático, ou seja, de temperamento calmo; e por fim pessoas com predomínio da bile negra são do tipo melancólica e temperamento triste.

Desde então várias outras personalidades tentaram definir os tipos psicológicos. O livro “Tipos Psicológicos” do médico e psicólogo clínico Carl Gustav Jung (1875-1961), é um dos destaques no assunto. Neste título, o autor apresenta múltiplos instintos que foram denominados de arquétipos e, foi a partir deste livro que na metade do século 20, desenvolveram um instrumento chamado *Myers-Briggs Type Indicator (MBTI)* para identificar os diversos tipos psicológicos.

De forma resumida, Jung (1991) define três principais tipos psicológicos: o introvertido, o extrovertido e os funcionais. Sendo que os tipos funcionais podem ser de pensamento, sentimento, sensação e intuição. Cada indivíduo é dotado da composição de

dois desses tipos, como sensação extrovertido ou sensação introvertido e assim por diante. O objetivo principal do uso da tipologia não é memorizar todas as descrições dos tipos, mas compreender as principais diferenças entre os indivíduos e usufruí-las de modo construtivo.

Existem várias críticas à classificação de Jung, mas segundo Kuri (2004):

“ Existem muitas formas de categorizar as diferenças humanas, por isso é praticamente impossível uma teoria que contemple todas as formas de avaliação e forneça um entendimento completo da personalidade. Jung indica um caminho possível para o entendimento da personalidade e das diferenças entre os tipos, apresentando uma síntese das inclinações naturais e das funções psicológicas básicas que identificou em quase vinte anos de trabalho profissional. ” (Pg. 59)

4.1.2.2 ESTILOS DE APRENDIZAGEM

Várias são as definições para estilos de aprendizagem (EdA) e, conseqüentemente muitos teóricos do século 20 se arriscaram a tentar explicar esse conceito. DeBello (1990) fez um apanhado das definições, e estabeleceu um conceito genérico: “Estilo de aprendizagem é a maneira pela qual a pessoa absorve, processa e retém a informação “. Assim os modelos de aprendizagem relacionam os estudantes pela forma como eles percebem e processam as informações.

Um dos primeiros modelos de aprendizagem foi desenvolvido por David A. Kolb (mestre e doutor pela *Harvard University* e fundador da *Learning Based Systems*), no qual mostrou as principais diferenças dos indivíduos, e foi denominado de vivencial. Esse modelo tem como foco a função da experiência no processo de aprendizagem e como ela influencia nas novas decisões. Kolb (1984) apresenta a descrição de uma aprendizagem que agrupa comportamento, experiência, cognição e percepção.

Vale ressaltar alguns pontos importantes do modelo de Kolb (1984). O primeiro é que a aprendizagem é considerada um ciclo, portanto ela se repete constantemente. Outro fator se dá por ela ser orientada pelas necessidades e objetivos individuais, assim quando os objetivos não estão bem definidos a aprendizagem será prejudicada. Este modelo possui duas dimensões, sendo a primeira a percepção da informação que é representada pela Conceituação Abstrata (CA) ou pela Experiência Concreta (EC) e, a segunda dimensão sendo formada pela Experimentação Ativa (EA) ou pela Observação Reflexiva (OR).

Tendo como base esses quatro modos de aprendizagem, Kolb (1984) desenvolve o Inventário de Estilo de Aprendizagem (*Learning Style Inventory – LSI*) com o objetivo de

ajudar as pessoas a identificar o estilo de aprendizagem e a qualificar a sua importância. Por meio dos resultados obtidos pelo LSI, Kolb (1984) chegou a definição de quatro estilos de aprendizagem, denominados de convergente, divergente, assimilador e acomodador.

No estilo convergente, o indivíduo prefere trabalhar sozinho e percebe a informação através da conceituação abstrata e a processa dinamicamente, de forma prática, tendo facilidade em tomar decisões rapidamente na resolução de problemas.

As competências de observação reflexiva (OR) combinada com a conceituação abstrata (CA) são predominantes do estilo de aprendizagem assimilador. Neste estilo, o sujeito através da compreensão intelectual, percebe a informação e a processa reflexivamente. Destaca-se o pensamento indutivo e a facilidade de criar modelos teóricos. Suas principais características são de preferir o trabalho individual, organizar, analisar e assimilar as partes de uma informação, reduzindo-a em um todo.

No estilo divergente, a pessoa não necessita de experiência ativa, pois ela processa reflexivamente por via sensorial a informação. Os indivíduos possuem alta capacidade de percepção e imaginação, além de ver as coisas por diferentes pontos de vista. Outra característica desse estilo, segundo KURI (2004), é de ver situações concretas a partir de várias perspectivas e de compreender as pessoas. Os indivíduos que possuem esse estilo dominam as habilidades de experiência concreta (EC) e observação reflexiva (OR).

Por fim, o estilo de aprendizagem denominado de acomodador é dotado da combinação das habilidades de experiência concreta (EC) e experimentação ativa (EA). A percepção da informação no indivíduo ocorre por experimentação concreta e o processamento se dá de maneira ativa. Seu ponto forte está em envolver-se em novas vivências e em “adaptar o aprendido para seu próprio uso, usando a criatividade para mudar e fazer melhor” (Kuri,2004).

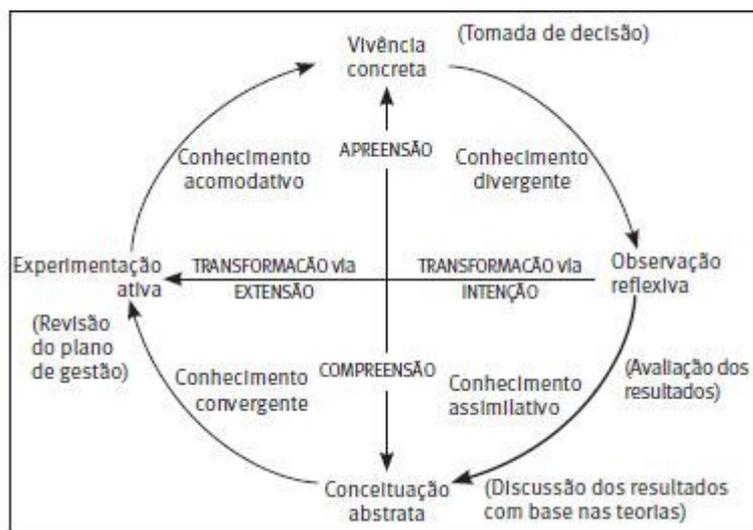


Figura 1 – ciclo de aprendizagem vivencial (Fonte: <http://www.fgv.br/rae/artigos/revista-rae-vol-53-num-5-ano-2013-nid-47385/>)

A figura 1 ilustra o modelo de aprendizagem vivencial, como um ciclo formado por duas dimensões: a primeira é a vivência concreta ou conceituação abstrata; e a segunda é a observação reflexiva ou experimentação ativa. E a partir da relação de dois desses parâmetros, é estabelecido um tipo de conhecimento. Nela também são expostas as principais características de cada elemento das dimensões.

Diante dos estudos de Kolb (1984), pode-se concluir que as pessoas escolhem áreas de atuação profissional de acordo com seus estilos de aprendizagem, optando por aquela mais compatível com seu estilo, sendo portanto, fundamental o conhecimento do estilo de aprendizagem desde a infância.

4.1.2.3 INSTRUMENTOS PARA IDENTIFICAR OS ESTILOS DE APRENDIZAGEM

Um dos instrumentos criados para identificar os estilos de aprendizagem é o *4MAT System* (1979) desenvolvido por Bernice McCarthy, que explica os estilos de ensino e as atividades necessárias para satisfazer os estilos de aprendizagem. McCarthy identifica quatro tipos de estilos: inovadores, analíticos, senso comum e dinâmicos. Outros autores como Myers-Briggs e Felder e Silverman, que também desenvolveram estudos no assunto.

Felder e Silverman (1988) definem a aprendizagem como um processo de duas etapas, sendo que a primeira se baseia na recepção, e a segunda no processamento da informação. Assim, para estes autores, os estilos de aprendizagem são as maneiras como as pessoas preferem receber e processar as informações, podendo ser classificados como:

sensoriais e intuitivos; visuais e auditivos; indutivos e dedutivos; ativos e reflexivos; e sequenciais e globais. Esses estilos podem ser identificados através das seguintes questões:

1. Que tipo de informação o estudante, preferencialmente, percebe:
sensorial (externa) – imagens, sons, sensações físicas, ou
intuitiva (interna) – possibilidades, intuições, palpites?
2. Através de qual canal sensorial a informação externa é percebida mais efetivamente:
Visual – figuras, diagramas, gráficos, demonstrações, ou
auditivo – palavras, sons?
3. Com qual organização da informação o estudante se sente mais confortável:
indutiva – são apresentados fatos e informações e inferidos os princípios básicos, ou
dedutiva – os princípios são dados e as consequências e aplicações são deduzidas?
4. Como o estudante prefere processar a informação:
ativamente – por meio do engajamento em atividade física, discussão; ou
reflexivamente – por meio da introspecção?
5. Como o estudante progride até o entendimento: *sequencialmente* – de uma forma contínua, passo a passo, ou *globalmente* – em grandes saltos, holisticamente?

Quadro 1 – Modelos de estilos de aprendizagem (Fonte: Felder e Silverman, 1988, p. 675)

Outro instrumento criado para identificar os estilos de aprendizagem foi o “*Myers-Briggs Type Indicator*” – *MBTI* (1943), desenvolvido por mãe e filha norte americanas, Isabel Briggs Myers e sua mãe, Katharine Cook Briggs, leigas no assunto até lerem o livro “Tipos psicológicos” de Jung (1991), e dedicarem-se totalmente ao estudo deste assunto. Segundo KURI (2004):

“O principal objetivo do MBTI é identificar quatro preferências básicas.[...] Identificando as diferenças individuais nas atitudes e funções psicológicas, o MBTI pode ser utilizado em educação e indústria para uma variedade de propósitos, incluindo as seguintes: exploração e desenvolvimento de carreiras, resolução de problemas, treinamento em liderança e gerenciamento, desenvolvimento organizacional, construção de equipes, aconselhamento acadêmico, desenvolvimento de currículos, métodos e materiais de ensino, aprimoramento da comunicação interpessoal e da aprendizagem.”(pg. 97)

Desse modo, o instrumento desenvolvido por Myers-Briggs utiliza da tipologia de Jung (1991) para conseguir identificar as diferenças de cada indivíduo por meio da identificação e levantamento das preferências individuais, resultando dezesseis tipos diferentes definidos pelos MBTI. Outro instrumento desenvolvido a partir da teoria de Jung (1991) foi o “*Singer Loomis Type Deployment Inventory*” (SL-TDI), de June Singer e Mary E. Loomis. Este instrumento, diferentemente do MBTI, descreve oito comportamentos diferentes baseados em cento e sessenta itens apresentados em vinte cenários diferentes, visando refletir o que a pessoa realmente faz.

Kolb (1984) também desenvolveu um instrumento, chamado de “*Learning Style Inventory*” - (LSI), para analisar a importância dos quatro tipos de aprendizagem por ele definidos. Este instrumento é composto por um questionário auto descritivo de nove itens, cada um deles formado por quatro escolhas. Desta forma, o inventário visa informar qual modos de aprendizagem o indivíduo tende a destacar. É interessante ressaltar que, alguns conceitos de Jung (1991) foram utilizados por Kolb (1984) para aprimoramento do instrumento.

O desenvolvimento e uso dessas ferramentas tem auxiliado educadores na busca de métodos e modelos de ensino que compreendam os diferentes tipos de aprendizagem no cotidiano da sala de aula. Vários autores usufruíram das ideias e teorias de Jung (1991), relacionando os modelos de aprendizagem e ensino ao desenvolvimento profissional, cabendo citar Kolb (1984), Bridges (1998), Lawrence (1982), Wankat e Oreovicz (1993), Hirsh e Kummerow (1995), Zaccharias (1995) e Berndt e Nagelschmidt (1997).

A importância dos instrumentos para identificar os estilos de aprendizagem por ser observada em Kuri (2004), que resalta que o conhecimento das diferenças individuais dos estudantes é uma ferramenta essencial para o aprimoramento da eficiência do ensino, da comunicação e da aprendizagem. Desta forma, fica evidente que o uso dos estilos de aprendizagem é um grande aliado para auxiliar a superar as dificuldades no processo de aprendizagem.

4.1.3 APRENDIZAGEM PELA PERSPECTIVA DE PIAGET

O processo de desenvolvimento do conhecimento é explicado por Piaget (1976) como fruto das interações do indivíduo com o objeto de conhecimento. Contestando desta forma os antigos paradigmas que se limitavam ao questionamento de que a informação vem dos objetos ou do sujeito. (Saravali e Guimarães, 2007)

De acordo com Araujo (2012) este teórico busca um trabalho interdisciplinar entre ciências, que viabilize maior compreensão sobre o conhecimento humano. A pesquisa de Piaget tem por objetivo provar que as categorias da mente são construídas e que a cooperação entre indivíduos dá origem as normas morais. Assim, ideia central de Piaget é de que o sujeito desenvolve a sua inteligência, seus próprios conhecimentos.

Na concepção de Piaget o papel do professor é de defender a importância dos

métodos ativo no ensino, que proporcionam o conhecimento de modo que ele seja adquirido seja reinventado pelo aluno, e não somente transmitido. Ele afirmava que o propósito da educação não é repetir verdades, mas aprender por si próprio. (Araújo,2012)

4.1.3.1 EQUILIBRAÇÃO

A construção do conhecimento é explicada por Piaget (1976) pelo processo de equilibração, que significa a passagem de estados de menor equilíbrio para estados de maior equilíbrio. Este processo ocorre por meio dos desequilíbrios que ocasionarão novas equilibrações, representando o desenvolvimento do conhecimento. Os desequilíbrios podem ser resultantes de conflitos momentâneos ou podem ser inerentes à constituição dos objetos ou das ações do sujeito. (Saravali e Guimarães, 2007)

Nesse sentido, o processo de equilibração não depende dos propósitos ansiados pelo pensamento e pela ação e motiva o sujeito a buscar novas formas de equilíbrio. Lima (1984) concorda com essa perspectiva ao destacar que “ toda aprendizagem é a modificação de uma estrutura já existente, e por sua vez, modifica a forma de perceber a experiência (pg.35).”

Ainda nesta perspectiva, Coutinho (2001) revela que o desenvolvimento da inteligência se deve ao processo de adaptação do sujeito à sua realidade, que por sua vez é compreendido por dois conceitos: Acomodação e Assimilação. O primeiro conceito é quando ocorre modificações na estrutura devido a adaptação do sujeito aos objetos da sua realidade. Já o segundo, refere-se ao momento em que o sujeito exerce a ação sobre os objetos da sua realidade.

Vale ressaltar que a equilibração entre esses dois conceitos é responsável por desenvolver a aprendizagem, e o desequilíbrio por dificultar a aprendizagem (Coutinho, 2001). Assim, Silva (2010) diz que tanto o equilíbrio quanto o desequilíbrio do processo de aprendizagem estão relacionados a quatro principais períodos: o sensorio-motor; o intuitivo; o período das operações concretas; e o período das operações formais. Estes ocorrem desde o nascimento até a vida adulta, e explicam o desenvolvimento intelectual do indivíduo.

4.1.3.2 CONSTRUTIVISMO

No entendimento piagetiano, o conhecimento é formado através de uma “construção contínua”, ou seja, ele não se encontra pronto e acabado. Mas existe uma elaboração, que se utiliza de elementos internos e externos do sujeito, dessa maneira o conhecimento se dá na relação entre o indivíduo e esses elementos. Assim a natureza da constituição do conhecimento é ativa, pois o sujeito participa do seu processo de conhecimento (Rizzon, 2010)

O conhecimento na teoria piagetiana, segundo Saravali e Guimarães (2007), não deve ser entendido como trazido pelo professor, mas sim como um processo que surge do próprio sujeito, de acordo com suas diferentes formas de agir sobre o meio. De acordo com essa concepção, a aprendizagem tem a capacidade de assimilar conteúdos, e de transformá-los, podendo assim, desenvolver novas formas de assimilá-los. (Saravali e Guimarães, 2007)

Piaget (2000) define o conhecimento como construção, ao afirmar que:

“[...] se procurarmos o segredo da organização racional na organização vital, inclusive em suas superações, o método consiste então em procurar compreender o conhecimento para sua própria construção, o que nada tem de absurdo, pois o conhecimento é essencialmente construção (p. 409).”

Essa perspectiva construtivista do conhecimento no meio pedagógico de acordo com Rizzon (2010) mostra que o papel do professor passa a ser de promotor e articulador do processo de conhecimento. Assim, Becker (2001) ressalta o cunho construtivista da teoria piagetiana ao determinar que o conhecimento acontece através da interação do indivíduo com o meio e o professor é responsável por essa interação.

Nesse contexto, de acordo com Saravali e Guimarães (2007), orientados pela perspectiva construtivista de Jean Piaget, alguns autores definem os problemas de aprendizagem como decorrentes de falhas no processo de interação do sujeito com o meio. Em estudos recentes, esses autores analisaram a concepção de dificuldade de aprendizagem de alunos do curso de psicopedagogia, e a grande maioria acredita que “a dificuldade de aprendizagem refere-se sempre e somente a uma incapacidade do sujeito que não aprende (pg.131)”.

A partir desse estudo, Saravali e Guimarães (2007) revelam que a teoria piagetiana apresenta um o grande potencial de auxílio na formação do psicopedagogo. E ressaltam que

ao partir da concepção construtivista, o ensino deveria direcionar-se para as limitações, erros, potencialidades e ações dos alunos, pois o conhecimento constrói-se juntamente com e pelo sujeito.

4.2 PSICOPEGAGOGIA

A Psicopedagogia, de acordo com Araújo (2014), é vista como “um campo de possibilidades para o enfrentamento das dificuldades de aprendizagem dos alunos”, incentivando os professores a elaborar estratégias significativas objetivando o avanço dos alunos. Em outras palavras, a psicopedagogia analisa o processo de aprendizagem dos indivíduos, através de uma interdisciplinaridade entre a Psicologia e a Pedagogia. Bossa (2011) explica essa relação:

“...da Pedagogia, a Psicopedagogia traz as indefinições e as contradições de uma ciência cujos limites são os da própria vida humana[...] Da Psicologia, a Psicopedagogia herda o velho problema do paralelismo psicofísico, um dualismo que ora privilegia o físico (observável), ora o psíquico (a consciência). Essas duas áreas não são suficientes para apreender o objeto de estudo da Psicopedagogia – o processo de aprendizagem e suas variáveis – e nortear a sua prática. Dessa forma, recorre-se a outras áreas, como a Filosofia, a Neurologia, a Sociologia, a Linguística e a Psicanálise, no sentido de alcançar compreensão desse processo” (pg. 38)

Em outra definição, Porto (2009) acrescenta que a psicopedagogia é uma área que inclui saúde e educação, e oferece as intervenções necessárias (no âmbito individual ou coletivo) baseadas em uma análise sobre as ações e respostas da relação ensino-aprendizagem, se fazendo necessária no momento em que muitos educadores se deparam com a dificuldade de aprendizagem de alguns alunos e não sabem quais medidas tomar para solucionar esse problema.

A psicopedagogia surgiu na França no século XIX devido as dificuldades de aprendizagem apresentadas por um grande número de crianças, tanto cognitivamente, como comportamental. No final da década de 1970, a psicopedagogia surge com o objetivo de complementar a formação dos educadores incluídos nesse processo, dando origem aos primeiros cursos de Psicopedagogia no Brasil.

Nesse contexto, a Associação Brasileira de Psicopedagogia (ABPp) desde essa época vem realizando encontros nacionais para discutir sobre o fracasso escolar e propor melhorias na qualidade de ensino das escolas brasileiras. O psicopedagogo pode atuar em

duas principais vertentes, a educacional e a clínica.

No quesito educacional, o psicopedagogo transita em contextos como o diagnóstico escolar; a busca da identidade do instituto; orientação de coordenadores, professores e diretores a respeito de novas formas de aprendizado; e elaboração de meios de diagnosticar, prevenir e intervir no processo de ensino e aprendizagem.

Vercelli (2012) define a psicopedagogia institucional, ou seja, que acontece nas escolas, como a responsável por prevenir as dificuldades de aprendizagem e, conseqüentemente, o fracasso escolar. Dessa forma Araújo (2014) afirma que, o psicopedagogo contribui com o âmbito escolar, ajudando alunos e famílias no enfrentamento dos problemas sobre o ensino e aprendizagem, propiciando mais segurança na jornada para a formação e capacitação intelectual.

Ao relacionar a psicopedagogia às novas tecnologias, Filho e Costa (2012) deixam claro que para criar um ambiente de ensino-aprendizagem capaz de viabilizar conhecimento, a psicopedagogia deve caminhar juntamente as novas tecnologias para fornecer o mesmo conhecimento de uma forma nova, dinâmica e criativa. Nesse contexto, ressalta-se então o uso do computador como uma ferramenta indispensável nesse processo por conseguir tornar a aula expositiva maçante e sistemática em dinâmica e interativa

4.3 USO DE SOFTWARES NO PROCESSO EDUCATIVO

De acordo com Almeida e Alves (2002), acredita-se que o incitar de um novo conhecimento acontece através de *insights*, segundo psicólogos da Gestalt. É necessário inovar, usando as novas tecnologias, como uma maneira atrativa de conduzir os alunos aos objetivos propostos.

O computador de acordo com WEISS & CRUZ (1999) apresenta algumas vantagens para alunos com dificuldades de aprendizagem. Como ser uma ferramenta instigante e atrativa, faz com que o usuário se sinta parte do mundo moderno, apresenta respostas imediatas, favorece a flexibilidade de pensamento e estimula o desenvolvimento do raciocínio lógico.

4.3.1 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

A velocidade de propagação das informações no mundo contemporâneo, gera grandes possibilidades de desenvolvimento em todos os setores da atividade humana, com destaque para a Educação e as relações sociais. Neste contexto de aprofundamento

tecnológico, a função do educador passa a ser mais exigida, e este deixa de ser o único detentor do conhecimento na situação onde o aluno é o sujeito em que se deposita o conhecimento, reproduzido de maneira mecanizada e sem reflexão (Simor,2015).

Em uma comunidade com princípios tecnológicos em constante mudança e desenvolvimento em ritmo acelerado, é necessário considerar as transformações no modo como as pessoas enxergam e aprendem o mundo, provocadas pelas tecnologias da informação e da comunicação (TICs), e também destacar o potencial pedagógico que essas tecnologias manifestam quando inseridas no meio educativo (Kampff, Machado e Cavedini, 2004, Novas tecnologias na educação).

A informática na educação surge então, como um meio de ajudar a contemplar os diferentes estilos de aprendizagem e de inteligência, estando claramente ligada ao desenvolvimento tecnológico presente em várias áreas do conhecimento. Segundo os autores Bernardes, Andreatta-da-Costa e Ramiro (2014) “...a informática assume uma função importante em termos de apoio pedagógico, torna se cada vez mais indispensável nos cursos universitários, principalmente na área de exatas”.

Entretanto, somente a presença do computador com ferramentas/*softwares* educacionais na escola não representa uma melhoria na qualidade de ensino. Esta depende de vários fatores, podendo destacar entre esses, a qualidade do *software* e o papel do professor (Graebin,2009).

Dessa forma a implantação da informática no meio educativo de acordo com Valente (1989) é baseada em três pilares: o computador, o professor adequadamente capaz de ensinar o uso do computador e por fim o *software* educacional. Ele ainda revela dois tipos de uso da informática na educação, o ensino da informática (“*computer literacy*”) e o ensino pela informática.

O ensino da informática (“*computer literacy*”) segundo Valente (1989) são os conhecimentos de conceitos computacionais, como os fundamentos de funcionamento do computador e programação. Porém esta definição não delimita o quão aprofundado pode ser esse conhecimento. Isto tem feito com que este modelo se torne somente uma estratégia de marketing, já que a maioria das escolas oferecem cerca de 1 hora por semana para uso do computador provendo uma “conscientização do estudante para a informática” em vez do conhecimento computacional em si.

Essa situação faz com que esse modo de ensino seja bastante criticado. Por dois

principais fatores: viver em uma sociedade computadorizada torna desnecessário conhecimentos superficiais de computador; e com esses conhecimentos o estudante não alcança um profundo conhecimento de programação e seus conceitos. Por isso a solução proposta por Valente (1989) é de “aprofundar mais os cursos e oferecer uma possibilidade vocacional, ou eliminá-los de uma vez”. Esse método de “*computer literacy*” é o mais utilizado na maioria das escolas brasileiras que possuem computadores.

O outro modelo definido por Valente (1989) é de ensino através do uso de *softwares* educacionais em diversas áreas como a matemática, ciências, leitura, artes e estudos sociais. Por sua vez, esse método pode ser separado em duas vertentes: a instrução auxiliada pelo computador (CAI) e a aprendizagem por descoberta (“*discovery-learning*”).

Por definição de Valente (1989), a instrução auxiliada pelo computador é:

“uma versão computadorizada dos métodos de instrução programada tradicionais. As categorias mais comuns desta modalidade são programas de reforço ou exercício (“*drill-and-practice*”) e programas tutoriais”.

Geralmente esses programas de exercício citados acima por Valente (1989), são utilizados para revisar o conteúdo exposto nas salas de aulas pelos professores, tendo destaque para material que inclui memorização e repetição, por exemplo os conteúdos de aritmética e vocabulário.

Os programas de estilo CAI’s (instrução auxiliada pelo computador) tendem a usar cada vez mais, princípios de inteligência artificial, que facilitam a análise de erros, a avaliação de estilos de aprendizagem e oferecem uma solução para a dificuldade do aluno. No entanto o problema de programas com esse tipo de sistema é o tamanho e capacidade de recursos computacionais que eles exigem.

Já o outro tipo de ensino pela informática, a aprendizagem por descoberta, é definida por Valente (1989) como “a exploração auto - dirigida ao invés da instrução explícita e direta”. Ou seja, os mentores desse método de ensino defendem que o indivíduo aprende melhor quando tem a liberdade de descobrir relações de maneira independente, em vez de ser ensinado. Os *softwares* que contemplam a “*discovery-learning*” são os jogos, simulações, *Logo* entre outros.

O uso da informática, de forma positiva dentro de um ambiente educacional, irá variar de acordo com a proposta que está sendo utilizada em cada caso e com a dedicação dos profissionais envolvidos (Tajra 2004). Para a utilização do computador como uma ferramenta educativa é necessária a capacitação dos professores, pois é a forma como o

computador é trabalhado pelo educador que indica se essa ferramenta está sendo utilizada apenas para ensinar conceitos básicos de informática, ou se está auxiliando no processo de ensino-aprendizagem.

4.3.2 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO NO BRASIL

No início da década de 70, assim como em outros países, algumas experiências em faculdades começaram a usar o computador para educação no Brasil. Em 1971, ocorreu um seminário sobre o uso de computadores para o ensino de Física na Universidade Federal de São Carlos (SP), ministrado por E. Huggins, especialista da Universidade de Dartmouth, EUA (Valente 1999).

Logo em seguida, no ano de 1973 a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), usou um *software* de simulação no ensino da disciplina de Química, no Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde e o Centro Latino-Americano de Tecnologia Educacional (Nutes/Clates). No mesmo ano foram realizadas experiências com *software* de simulação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Em 1981, foi a vez do *Logo* ser intensamente utilizado no Laboratório de Estudos Cognitivos (LEC) da UFRGS, por um grupo de pesquisadores liderados pela profa. Léa da Cruz Fagundes. Assim, o princípio dos anos 80 foi marcado por várias iniciativas do uso da informática na educação brasileira e, juntamente com o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), despertou-se o interesse de pesquisadores e do governo na aplicação da informática em programas educacionais (Valente 1999)

Em 1989, Valente apontou que a Biblioteca Brasileira de Software (BBS), empresa de São Paulo com a maior diversidade de programas computacionais, tinha cerca de 5000 *softwares* catalogados. Desde essa época então, vem surgindo uma preocupação tanto por parte do MEC quanto pelos professores em incentivar o desenvolvimento de *softwares* educacionais.

4.3.3 SOFTWARE EDUCATIVO

Como dito anteriormente, a inserção de *softwares* no processo educacional brasileiro se iniciou nos anos 80 e desde então está em constante crescimento. Isso ocorre devido a necessidade de novos meios de entendimento e explicação que possam compreender e disponibilizar as informações para o maior número possível de alunos. Nesse sentido, o

software educacional surge como um importante instrumento para disseminação do conhecimento graças à sua vantagem pedagógica (Dall'Asta, Brandão, 2004).

Do ponto de vista de Valente (1989) o *software* educativo é o que torna o computador uma ferramenta computacional. Ele deve ser criado conforme alguns padrões estabelecidos pela comunidade educacional, como: proporcionar engajamento com o usuário; medidas de controle de aprendizado; programação sólida e efetiva; documentação, e por fim ao tratamento obrigatório do valor do erro que deve “seguir um plano consistente e explicitamente determinado”.

Vale ressaltar que essas características citadas acima são propostas para se desenvolver um *software* educativo, porém é quase impossível possuir todas elas. No Brasil, um pequeno número de *softwares* educativos foi desenvolvido. Mas a maioria deles foram adaptados de programas estrangeiros e conforme Valente (1989) “isto significa que este programa, provavelmente, tem muito pouco em comum com o nosso sistema educacional ou com nossa cultura”.

Os autores Bernardes, Andreatta-da-Costa e Ramiro (2014) destacam que:

“De uma forma geral, os *softwares* educacionais ajudam a realizar uma sequência lógica de aprendizagem, onde se identificam os erros e analisa-se os resultados, possibilitando através de seu uso levantar hipóteses e estabelecer estratégias de ação, ocorrendo assim o processo de aprendizado”.

Os alunos tendem a aprender melhor quando estão em contato com um ambiente habitual ao seu cotidiano, vocabulário pertinente e possuem liberdade para descobrir a relação entre a teoria do que se aprende e a prática da realidade onde vive. Dessa forma, o uso de *softwares* educacionais é visto como uma colaboração ao processo de ensino e aprendizagem (Fialho e Matos, 2010).

Um *software* educacional bem estruturado possibilita ao aluno: construção e organização do seu próprio raciocínio lógico; revisão de conteúdos expostos na sala de aula; desenvolvimento em grupos e a troca de ideias; estimulação do intelecto e da habilidade na resolução de problemas; melhora na aprendizagem com informações apresentadas de maneira mais atraente (Dall'Asta e Brandão, 2004).

4.3.4 SOFTWARES NA ENGENHARIA

MASSUKADO e SCHALCH (2007) relatam que nos cursos de engenharia, está

começando a se adotar cada vez mais a tecnologia de informação como componente essencial para o desenvolvimento. No entanto, esse processo é lento e gradual e muitas instituições ainda utilizam somente o sistema expositivo de repetição e transmissão de conhecimentos como forma de ensinar, sem desenvolver atividades que incentivem a investigação por parte dos alunos.

Em disciplinas do curso de engenharia civil, como Mecânica dos Sólidos, Isostática e Hiperestática, a informática pode ser uma grande aliada, por servir como ferramenta motivadora, ajudando no desenvolvimento cognitivo, e trabalhando conceitos e fundamentos aprendidos em outras disciplinas. Martha (2010) afirma que:

“Desde a década de 1960 o computador tem sido utilizado na análise estrutural, embora inicialmente somente nos institutos de pesquisa e universidades. Nos anos setenta essa utilização passou a ser corriqueira, e nos anos oitenta e noventa, com a criação de programas gráficos interativos, a análise estrutural passou a ser feita com uso de computador em praticamente todos os escritórios de cálculo estrutural e empresas de consultoria”. (Pg.10)

Os recursos tecnológicos da informática são acessados através de *softwares* pagos (na maioria das vezes inviáveis por causa do seu alto custo), ou *softwares* gratuitos, que muitas vezes estão facilmente disponíveis na internet. De acordo com Andreatta-da-Costa, Bernardes e Ramiro (2014), o uso de *softwares* educacionais torna se cada vez mais relevante nas tarefas de cálculos e modelagens, facilitando a compreensão do problema, por trabalhar em um ambiente virtual, em que ele possa ser melhor analisado. Assim as ferramentas computacionais direcionadas para a engenharia, proporcionam aos alunos um melhor entendimento e fixação, sendo então ferramentas poderosas no ensino de engenharia.

Ainda que a repetição seja uma alternativa eficiente para se obter o aprendizado, deve-se ter cautela no processo de repetição, pois este pode provocar o desinteresse do aluno. Observe que o uso de ferramentas simples, como planilhas de cálculo, pode tornar esses procedimentos repetitivos em algo interessante para os alunos.

Em estudos sobre o uso *softwares* educacionais para ensino de estruturas de concreto, Carvalho, Filho e Junior concluíram que essas ferramentas motivaram os alunos a se dedicarem no aprendizado do conteúdo em questão, de forma a prepara-los melhor para a atuação prática no mercado de trabalho.

4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL

Martha (2010) denomina análise estrutural como a etapa do projeto estrutural na qual é realizada a determinação de esforços na estrutura, de maneira a prever o possível comportamento dela. Decorrente dos avanços tecnológicos atuais, a análise estrutural pode ser vista como uma simulação computacional do comportamento de estruturas. Um dos principais objetivos da análise estrutural é relacionar as ações atuantes com os deslocamentos, de modo a identificar o comportamento da estrutura, utilizando modelos obtidos a partir de simplificações do sistema estrutural e também fazendo uso das propriedades dos materiais. (Soriano, 2006).

Outra definição para o conceito de análise estrutural é dada por Sussekind (1974):

“...a parte da Mecânica que estuda as estruturas, consistindo este estudo na determinação dos esforços e das deformações a que elas ficam submetidas quando solicitadas por agentes externos (cargas, variações térmicas, movimento de seus apoios, etc.). (Pg. 1)”.

É através do projeto estrutural que a estrutura será dimensionada, levando-se em consideração fatores como a segurança, a construção, a economia, a estética, o ambiente, o tipo de utilização e a legalidade. De acordo com Martha (2010) no processo de análise estrutural existem quatro níveis de abstração. O primeiro é a estrutural real, da forma como é construída. Em seguida está o modelo estrutural ou modelo matemático que representa matematicamente a estrutura, ou seja, baseado em leis da física como a relação entre tensão, deslocamento e deformação, a relação de equilíbrio de forças e tensões. Este modelo descreve o comportamento da estrutura em diferentes situações.

Esse procedimento de criação do segundo nível de abstração conforme Martha (2010) é uma das etapas mais importantes da análise estrutural, por depender do tipo de estrutura e de sua relevância, costuma ser bastante complexo. Existem diversas opções para a concepção desse modelo analítico, e para estruturas reticuladas (formadas por barras), a idealização matemática do comportamento estrutural já está quase sempre definida.

O terceiro nível de abstração descrito por Martha (2010) é o modelo discreto, nele o comportamento do modelo estrutural é substituído por soluções analíticas contínuas, que são representadas pelos valores discretos dos parâmetros adotados, dando origem ao modelo discreto. Os parâmetros usados neste modelo dependem do método utilizado e a transição do modelo estrutural para o modelo discreto é comumente chamada de discretização.

Os métodos mais usados para a análise de estruturas reticuladas hiperestáticas são:

o Método das Forças (ou da Flexibilidade) e o Método dos Deslocamentos (ou da Rigidez Direta). As soluções para os modelos discretos no primeiro método são feitas de forma manual, já o segundo método tem uma formalização matricial que é conveniente para uma implementação computacional (Martha, 2010).

Finalmente, o último nível de abstração é o modelo computacional que está presente na análise estrutural desde os anos oitenta, por meio da criação de programas gráficos interativos. Martha (2010) ainda ressalta que “não se concebe atualmente executar as tarefas de análise estrutural, mesmo para o caso de estruturas reticuladas, sem o uso de computador e de Computação Gráfica”. Para a implementação computacional, alguns livros indicam o Método da Rigidez Direta (que é uma formalização matricial do Método dos Deslocamentos) e o Método dos Elementos Finitos.

Em “Métodos básicos de análise de estruturas”, Martha (2010) aponta as principais diferenças entre o método das forças e o método dos deslocamentos. Esse quadro de comparação está a seguir:

Método das Forças	Método dos Deslocamentos
<p>Idéia básica: Determinar, dentro do conjunto de soluções em forças que satisfazem as condições de equilíbrio, qual a solução que faz com que as condições de compatibilidade também sejam satisfeitas.</p> <p>Metodologia: Superpor uma série de soluções estaticamente determinadas (isostáticas) que satisfazem as condições de equilíbrio da estrutura para obter uma solução final que também satisfaz as condições de compatibilidade.</p> <p>Incógnitas: Hiperestáticos: forças e momentos associados a vínculos excedentes à determinação estática da estrutura.</p> <p>Número de incógnitas: É o número de incógnitas excedentes das equações de equilíbrio, denominado <i>grau de hiperestaticidade</i>.</p>	<p>Idéia básica: Determinar, dentro do 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.</p> <p>Metodologia: Superpor uma série de soluções cinematicamente determinadas (configurações deformadas conhecidas) que satisfazem as condições de compatibilidade da estrutura para obter uma solução final que também satisfaz as condições de equilíbrio.</p> <p>Incógnitas: Deslocabilidades: componentes de deslocamentos e rotações nodais que definem a configuração deformada da estrutura.</p> <p>Número de incógnitas: É o número de incógnitas excedentes das equações de compatibilidade, denominado <i>grau de hipergeometria</i>.</p>

<p><i>Estrutura auxiliar utilizada nas soluções básicas:</i> Sistema Principal (SP): estrutura estaticamente determinada (isostática) obtida da estrutura original pela eliminação dos vínculos excedentes associados aos hiperestáticos. Essa estrutura auxiliar viola condições de compatibilidade da estrutura original.</p> <p><i>Equações finais:</i> São equações de compatibilidade expressas em termos dos hiperestáticos. Essas equações recompõem as condições de compatibilidade violadas nas soluções básicas.</p> <p><i>Termos de carga das equações finais:</i> Deslocamentos e rotações nos pontos dos vínculos liberados no SP devidos à solicitação externa (carregamento).</p> <p><i>Coefficientes das equações finais:</i> Coeficientes de flexibilidade: deslocamentos e rotações nos pontos dos vínculos liberados no SP devidos a hiperestáticos com valores unitários atuando isoladamente.</p>	<p><i>Estrutura auxiliar utilizada nas soluções básicas:</i> Sistema Hipergeométrico (SH): estrutura cinematicamente determinada (estrutura com configuração deformada conhecida) obtida da estrutura original pela adição dos vínculos necessários para impedir as deslocabilidades. Essa estrutura auxiliar viola condições de equilíbrio da estrutura original.</p> <p><i>Equações finais:</i> São equações de equilíbrio expressas em termos das deslocabilidades. Essas equações recompõem as condições de equilíbrio violadas nas soluções básicas.</p> <p><i>Termos de carga das equações finais:</i> Forças e momentos (reações) nos vínculos adicionados no SH devidos à solicitação externa (carregamento)</p> <p><i>Coefficientes das equações finais:</i> Coeficientes de rigidez: forças e momentos nos vínculos adicionados no SH para impor configurações deformadas com deslocabilidades isoladas com valores unitários.</p>
--	--

Quadro 2 - Comparação entre método das forças e método dos deslocamentos (Martha,2010, pg. 32)

O modelo estrutural deve satisfazer algumas condições matemáticas para reproduzir corretamente o comportamento da estrutura em situações reais. Os métodos de análise estrutural se apoiam nessas condições. A seguir estão alguns grupos dessas condições de acordo com Martha (2010):

- “- condições de equilíbrio;
- Condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações;
- Condições sobre o comportamento dos materiais que compõem a estrutura (leis constitutivas dos materiais)” (pg. 18 e 19).

As condições de equilíbrio garantem o equilíbrio estático de qualquer parte da estrutura e dela como um todo. Para estruturas reticuladas esse equilíbrio deve ocorrer globalmente, ou seja, em cada barra e em cada nó isolado considerando toda a estrutura. No entanto somente elas, não são capazes de determinar os esforços no modelo estrutural, é

necessário então a utilização das outras condições citadas acima (Martha,2010).

O segundo grupo de condições, as de compatibilidade entre deslocamentos e deformações, segundo Martha (2010), garantem “que a estrutura, ao se deformar, permaneça contínua (sem vazios ou sobreposição de pontos) e compatível com seus vínculos externos”. Elas são expressas por relações geométricas que são aplicadas no modelo estrutural, de modo a garantir a conservação no domínio da estrutura real. Vale lembrar que essas condições não se relacionam com as propriedades de resistência dos materiais da estrutura.

As condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações, podem ainda ser divididas em dois grupos: as condições externas, que representam os vínculos externos, e garantem que as hipóteses adotadas sejam equivalentes às deformações e deslocamentos na estrutura; e as condições internas, capaz de permitir que as barras continuem unidas pelos nós que as interligam (Martha,2010).

Por fim, as condições sobre o comportamento dos materiais que constituem a estrutura, são um conjunto de leis constitutivas que definem o comportamento dos materiais. Algumas dessas relações matemáticas são: a Teoria da Elasticidade (Timoshenko & Goodier 1980) e a Lei de Hooke (Beer & Johnston 1996, Féodosiev 1977).

4.5 MÉTODO DA RIGIDEZ DIRETA

O método da rigidez direta (White, Gergely e Sexsmith 1976) é uma versão em forma matricial do método dos deslocamentos, onde sua estrutura permite que a estrutura seja resolvida por uma repetição de cálculos bem definidos, possibilitando a implementação computacional. Essa formalização também é conhecida como calculo matricial das estruturas ou análise matricial das estruturas. As principais referências desse assunto são expostas por Martha (2010):

“Mas não se pode deixar de mencionar o livro clássico de Weaver e Gere (1990), cuja primeira edição foi publicada em 1967. Outros autores consagrados nessa área são Przemieniecki (1985), com publicação original em 1968, Wang (1970) e Meek (1971). No Brasil, os livros dos professores Fernando Venâncio Filho (1975) e Domicio Falcão Moreira (1977) foram pioneiros nesse assunto”. (Pg. 6)

A primeira etapa desse método, conhecida como discretização, é exemplificada por Martha (2010), através da figura abaixo:

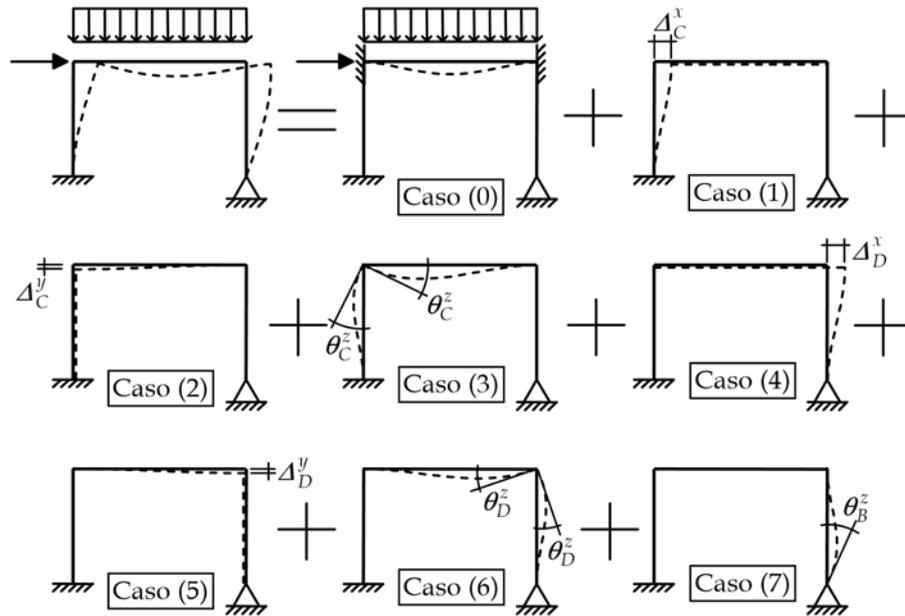


Figura 2 – Superposição de soluções básicas no método dos deslocamentos (Martha, 2010, pg. 4)

Percebe-se pela figura 2 que a solução dos deslocamentos da estrutura é alcançada pela superposição das deformações dos casos (0) a (7) mostrados na figura. Os parâmetros usados nesta discretização são as rotações e os deslocamentos dos nós no modelo estrutural. Estes componentes de deslocamentos e rotações nodais livres são chamadas de deslocabilidades, e são responsáveis por determinar a forma deformada, ou seja, elas são as incógnitas do método dos deslocamentos.

Outra definição para deslocabilidade é (Martha (2010)):

“parâmetros que definem o comportamento cinemático” usada quando são consideradas deformações nas restrições das barras. Quando se refere ao método da rigidez direta, as deslocabilidades são comumente chamadas de “graus de liberdade”.

Martha (2010) adota esse nome “grau de liberdade” para qualquer componente de deslocamento ou rotação nodal, incluindo as livres e as restritas por apoios. Após definir os graus de liberdade da estrutura, estabelece-se um sistema de coordenadas generalizadas e locais das barras. Por definição de Martha (2010):

“Coordenadas generalizadas são direções associadas aos graus de liberdade (ou deslocabilidades) de uma barra ou de uma estrutura. As coordenadas generalizadas globais são as direções utilizadas para definir os graus de liberdade globais (da estrutura). As coordenadas generalizadas locais (do elemento de barra) são as direções utilizadas para definir as deslocabilidades locais”. (Pg. 16)

É por meio da sobreposição da resolução do sistema global com as resoluções do sistema local de cada barra que é alcançada a solução completa de um modelo estrutural pelo método da rigidez direta. Ou seja, em função dos deslocamentos de cada nó em

equilíbrio, é desenvolvido o Método da Rigidez Direta. E como dito anteriormente, as incógnitas desse método são os deslocamentos. A equação básica do Método da Rigidez Direta é:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{U}$$

onde \mathbf{K} é a matriz de rigidez da estrutura, \mathbf{U} vetor de deslocamentos nodais, e \mathbf{F} o vetor de cargas nodais.

4.6 TRELIÇAS

Segundo Martha (2010) “uma treliça é um modelo estrutural reticulado que tem todas as ligações entre barras articuladas, isto é, existem rótulas em todos os nós”. Desse modo, ao analisar esse tipo de estrutura são consideradas cargas atuantes somente nos nós, o que faz com que ela apresente somente esforços internos axiais (normal de tração ou compressão), ou seja, normalmente são consideradas ligações por pinos e sem atrito.

As treliças surgiram como uma alternativa de sistema estrutural mais econômico que as vigas, capazes de vencer vãos maiores ou suportar cargas mais pesadas. Esta economia inclui comparação entre materiais, mão-de-obra, equipamentos de execução, etc. Adota-se como a treliça ideal aquela cujas cargas estão aplicadas nos nós e suas barras possuem todas extremidades rotuladas. Esta consideração é possível pois na estrutura real as cargas chegam às treliças através de outras peças estruturais, que se apoiam nos nós delas (Sussekind ,1974).



Figura 3: A ponte Tacoma-Narrows reconstruída, mostrando as treliças usadas para enrijecer o sistema de piso da pista de rolamento (Leet, Uang, Gilbert, Fundamentos da Análise Estrutural,2010).

O emprego de treliças espaciais iniciou-se por volta dos anos de 1930 na Alemanha,

por uma indústria chamada Mero. A partir de então, nos anos seguintes, essas estruturas espaciais começaram a ser usadas por indústrias americanas e europeias. No Brasil, a primeira treliça espacial em grandes dimensões foi construída no Pavilhão de Exposição do Parque Anhembi, em São Paulo (Figura 4), no ano de 1969 (Druzian,2015)



Figura 4: primeira treliça espacial usada no Brasil pelo arquiteto Jorge Wilhelm e pelo engenheiro Raymond Faure em 1969. (Fonte: <https://revistaaluminio.com.br/os-primordios-do-anhembi/>)

As barras de treliças espaciais são definidas em eixos cartesianos X, Y e Z, sendo que as barras e as cargas podem se localizar em qualquer direção no espaço. Já as treliças planas têm suas barras dispostas em um plano de eixos cartesianos X e Y. Para se obter uma estrutura de apoio leve e eficiente, padroniza-se as barras em áreas triangulares (Leet, Uang, Gilbert, 2010).

Os esforços axiais em uma barra isolada podem ser melhor compreendidos pelo diagrama de corpo livre abaixo:

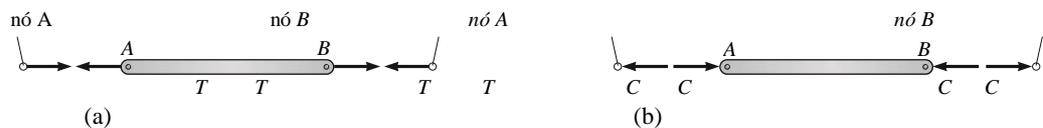


Figura 5: Diagramas de corpo livre de barras carregadas axialmente e nós adjacentes: (a) barra AB em tração; (b) barra AB em compressão (Leet, Uang, Gilbert, Fundamentos da Análise Estrutural,2010).

Na prática, a hipótese adotada de que as cargas atuam somente em cima dos nós é desrespeitada, devido ao peso próprio da estrutura, mas, a proximidade do modelo estrutural com situações reais ainda é mantida graças à configuração das ligações com os eixos das barras que convergem para um único ponto (figura 6). Assim a hipótese prevalece, ou seja, os esforços de cortante e momento fletor são mínimos comparados aos esforços axiais.

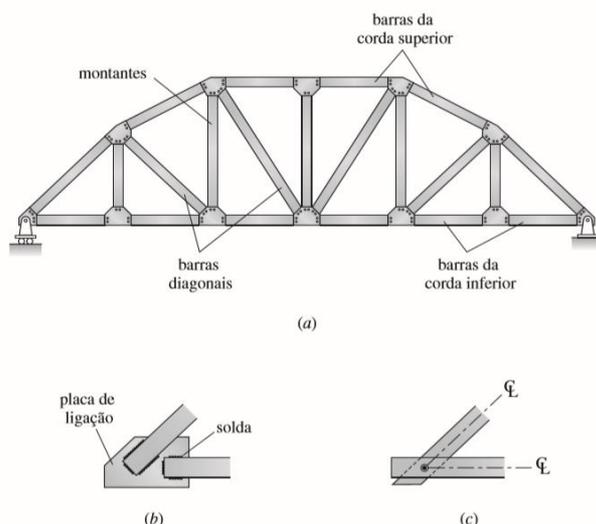


Figura 6: (a) detalhe de uma treliça; (b) ligação soldada; (c) ligação idealizada; barras conectadas por um pino sem atrito (Leet, Uang, Gilbert, Fundamentos da análise estrutural, 2010, pg. 142)

5 METODOLOGIA

A seguir será apresentada toda a metodologia utilizada nesse trabalho de conclusão de curso desenvolvida a fim de cumprir os objetivos estabelecidos.

5.1 FORMULÁRIO INICIAL

Primeiramente, com o auxílio de conhecimentos técnicos pedagógicos, foi elaborado um formulário em plataforma digital para identificar, por meio de questões objetivas e em escala linear, os estilos de aprendizagem, e as dificuldades encontradas na disciplina quando o método usado para o ensino é somente aulas expositivas com resolução de exercícios.

O formulário foi aplicado para uma turma de 16 alunos da disciplina de teoria das estruturas 2, antes do contato com a ferramenta computacional desenvolvida por esse trabalho para auxiliar nos processos de cálculo que estão presentes no método dos deslocamentos para estruturas de treliças planas.

O formulário utilizado para essa etapa se encontra no ANEXO A desse trabalho.

5.2 MÉTODO DA RIGIDEZ DIRETA APLICADO À TRELIÇAS

No método do deslocamento estuda-se primeiro o comportamento individual de cada barra, para assim, ao considerar as interações entre elas, obter-se a matriz de rigidez

da estrutura, que irá definir o comportamento da estrutura como um todo.

No comportamento de cada barra, as equações de compatibilidade são representadas através da matriz de rigidez de cada barra, que relaciona as forças externas que atuam nas barras e os deslocamentos dos nós.

A metodologia de cálculo é bem mais simples que o Método das Forças de acordo com Begnis (2015), pois o cálculo dos coeficientes de rigidez do sistema de equações finais de equilíbrio é mais simples, e realiza-se a soma direta de coeficiente de rigidez de barras.

5.2.1 DISCRETIZAÇÃO DA ESTRUTURA E NUMERAÇÃO DE NÓS E BARRAS

A fase inicial do processo de resolução de estruturas pelo método dos deslocamentos é a discretização. De forma resumida, significa dividir a estrutura em um número finito de nós, cujos deslocamentos possam representar o comportamento da estrutura real. Para isso, são necessárias informações como os graus liberdade da estrutura - que são as direções nas quais ocorrem os deslocamentos. A quantidade de graus de liberdade da estrutura, são responsáveis por definir o número de equações que constituem o problema.

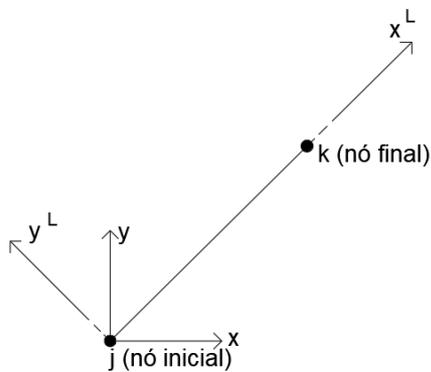


Figura 7 – sistema de referência global e local

Na figura 7 acima estão exemplificados o eixo global e o eixo local de uma barra, além do nó inicial e nó final. O eixo local X^L coincide com o eixo baricêntrico da barra orientada do nó inicial para o nó final. O eixo local Y^L coincide com o eixo principal de inercia da seção transversal da barra e o eixo Z^L também coincide com um dos eixos principais de inercia (perpendicular ao plano da estrutura).

Para treliças planas tem-se apenas um tipo de solicitação possível, a axial, que pode ser de tração ou de compressão.

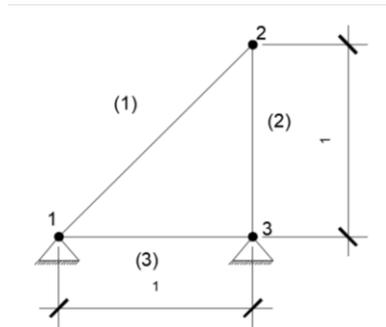


Figura 8 – discretização de treliça plana

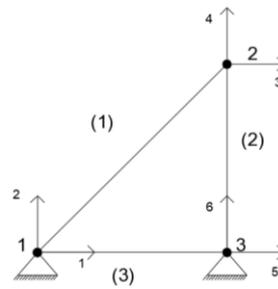


Figura 9 – graus de liberdade da treliça

Desta forma, um nó rotulado de uma treliça plana apresenta duas possibilidades de deslocamento: uma translação na direção 'X', uma translação na direção 'Y' no espaço onde está inserida. Os graus de liberdade da estrutura seguem a numeração dos nós de forma a facilitar a implementação computacional.

A partir da figura 8 e sua discretização na figura 9, pode-se perceber que para cada nó discretizado, tem-se o primeiro grau de liberdade corresponde à translação em x (números ímpares) e o segundo corresponde à translação em y (números pares). De forma simplificada, o “nome” do grau de liberdade obedece a relação:

$$\text{Grau de liberdade em } y = (\text{número do nó} \times 2)$$

$$\text{Grau de liberdade em } x = (\text{grau de liberdade } y - 1)$$

Na treliça da figura 8, o número de graus de liberdade é 6 (2GLD/nó), como nota-se na figura 9. Devido à essa relação de dois graus de liberdade por nó, e como cada barra possui dois nós (nó inicial e nó final), as matrizes e vetores terão dimensão 4 (matrizes 4x4, e vetores 4x1).

O grau de liberdade total será dado por:

$$GDL \text{ total} = \text{número de nó} \times 2GLD/\text{nó} \quad (1)$$

Portanto este, será o número de equações do sistema:

$$\text{Matriz de rigidez total} = GDL \text{ total} \times GDL \text{ total} \quad (2)$$

5.2.2 CONECTIVIDADES E PROPRIEDADES DAS BARRAS

Para essa etapa é indispensável o conhecimento da geometria, o número de nós e de barras da estrutura, as condições de apoio, as propriedades físicas do material, as forças externas e a área da seção transversal das barras.

Após a numeração dos nós e das barras, estabelece-se a conectividade das barras. Para isto primeiramente se determina o nó inicial e final de cada barra. Baseando na treliça plana da Figura 8, descreve-se a conectividade através das tabelas 1 e 2 a seguir:

BARRA	NÓ INICIAL	NÓ FINAL
1	1	2
2	2	3
3	1	3

Tabela 1 – conectividade da treliça da figura 8

NÓ	COORDENADA X (m)	COORDENADA Y(m)
1	0	0
2	1	1
3	1	0

Tabela 2 – conectividade da treliça da figura 8

Na figura 10 está representada a convenção de sinais adotada para uma barra em seu sistema de coordenadas local. As forças F_{x_j} e F_{x_k} estão no sentido do eixo local, sendo que no nó “j”, e “k” respectivamente se encontram em direções positivas.

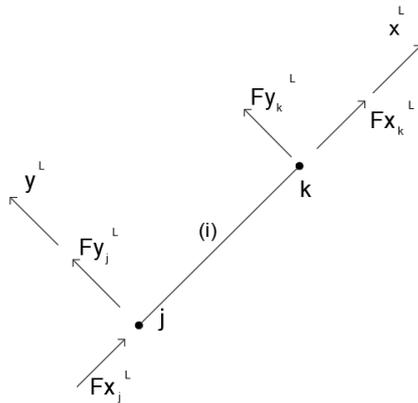


Figura 10 - Convenção de sinais das forças na barra

5.2.3 MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA BARRA NO SISTEMA LOCAL

Considerando que não haja deformação inicial na treliça,

$$\Delta L = U_{x_k}^L - U_{x_j}^L$$

Sendo U_{XK}^L , o deslocamento no nó K (nó final), na direção X^L (direção x no sistema local); U_{XJ}^L , o deslocamento no nó J (nó inicial), na direção X^L (direção x no sistema local); e ΔL a variação do deslocamento.

Considerando “A” a área da seção transversal da barra e “E” o módulo de elasticidade longitudinal do material, L o comprimento da barra, de acordo com as equações da resistência dos materiais, para a barra tem-se:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad , \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad , \quad (6)$$

$$F/A = E \cdot \Delta L/L, \quad (7)$$

Isolando a variável “F” na equação 7, tem-se:

$$F = \frac{E \cdot A \cdot \Delta L}{L} \quad \text{ou} \quad F = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \Delta L. \quad (8)$$

Para uma barra tracionada, a equação 8 se torna:

$$F x_j^L = - \frac{E \cdot A}{L} \cdot \Delta L \quad i, e \quad (9)$$

$$F x_k^L = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \Delta L \quad i, \quad (10)$$

Ou seja:

$$F x_j^L = - \frac{E \cdot A}{L} \cdot (U x_k^L - U x_j^L), e \quad (11)$$

$$F x_k^L = \frac{E \cdot A}{L} \cdot (U x_k^L - U x_j^L). \quad (12)$$

Onde o índice (i) representa a barra.

Considerando que não existe transferência de solitação na direção do eixo Y^L , pode-se escrever na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} F x_j^L \\ F y_j^L \\ F x_k^L \\ F y_k^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & 0 & -\frac{E \cdot A}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{E \cdot A}{L} & 0 & \frac{E \cdot A}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U x_j^L \\ U y_j^L \\ U x_k^L \\ U y_k^L \end{bmatrix} \quad (13)$$

A equação 13 representa a forma matricial da barra (i) em coordenadas locais, e

expressa as forças de extremo da barra – solicitações “ F^{iL} ”, em função dos deslocamentos “ U^{iL} ”.

A matriz que relaciona “ F^{iL} ” e “ U^{iL} ”, é chamada de matriz de rigidez da barra no sistema de coordenadas locais “ K^{iL} ”. De forma compacta a equação 13 pode ser representada por:

$$F^{iL} = K^{iL} \cdot U^{iL} \quad (14)$$

Conforme mostra a equação 15 abaixo, a matriz de rigidez de uma barra de treliça no sistema local (K^{iL}) é simétrica, e como já dito anteriormente soma-se a contribuição de cada barra no sistema global para alcançar a solução do sistema estrutural.

$$K^{iL} = \frac{E.A}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Quanto aos elementos da matriz de rigidez de cada barra (K^{iL}), tem-se que as duas primeiras linhas e colunas são relativas ao nó inicial da barra e portanto, as duas últimas relativas ao nó final. Sendo que a primeira e a terceira linha correspondem ao eixo de coordenadas X^L , enquanto a segunda e a quarta linha correspondem ao eixo de coordenadas Y^L .

5.2.4 ROTAÇÃO NO PLANO

Sabe-se que o equilíbrio da estrutura é obtido no sistema de referência global, no entanto a matriz de rigidez de uma barra e as forças nodais são obtidas em um sistema de coordenadas chamado de local, que estão exemplificados na figura 12 abaixo:

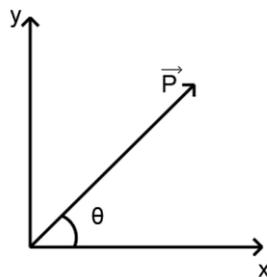


Figura 11 – sistema global com inclinação θ

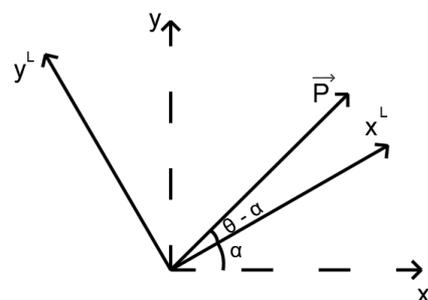


Figura 12- sistema local com inclinação α

Considerando um vetor \mathbf{P} genérico cuja sua localização nos sistemas global e local estão representadas nas figuras 11 e 12, e seu sistema local (X^L, Y^L) possui inclinação α , a decomposição do vetor para o sistema local pode ser escrita de acordo com a equação 16 e 17 abaixo:

$$P_X^L = P \cdot \cos(\theta - \alpha) \quad (16)$$

$$P_Y^L = P \cdot \sin(\theta - \alpha) \quad (17)$$

Utilizando relações trigonométrica e realizando as devidas substituições, as equações 16 e 17 podem ser escritas da seguinte forma:

$$P_X^L = P_X \cdot \cos \alpha + P_Y \cdot \sin \alpha, \quad (18)$$

$$P_Y^L = P_X \cdot \sin \alpha - P_Y \cdot \cos \alpha. \quad (19)$$

Outra maneira das equações acima serem representadas é através da formalização matricial que pode ser observada a seguir:

$$\begin{bmatrix} P_X^L \\ P_Y^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \end{bmatrix}, \quad (20)$$

Onde a matriz da equação 20 que considera o ângulo α é chamada de matriz de rotação (\mathbf{R}):

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Portanto, de forma resumida a equação 21 pode ser expressa por:

$$\mathbf{P}^L = \mathbf{R} \cdot \mathbf{P}, \quad (22)$$

Onde \mathbf{P}^L é a matriz do vetor no sistema local,

\mathbf{R} é a matriz de rotação (considera o ângulo de rotação do sistema local),

\mathbf{P} é a matriz do vetor no sistema global.

Sendo que para realizar a conversão das variáveis acima do sistema global para o sistema local utiliza-se a seguinte equação:

$$\mathbf{P} = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{P}^L, \quad (23)$$

Onde \mathbf{P} é a matriz do vetor no sistema global,

\mathbf{R}^T é a matriz de rotação transposta,

\mathbf{P}^L é a matriz do vetor no sistema local

Considerando que o sistema local concorda com os eixos geométricos, pode-se escrever $\cos \alpha$ e $\sin \alpha$ em função das coordenadas dos nós das barras, da seguinte maneira:

$$Cx = \cos \alpha = \frac{X_K - X_J}{L} \quad (24)$$

$$Cy = \sin \alpha = \frac{Y_K - Y_J}{L} \quad (25)$$

Onde, X_K é a coordenada na direção x do nó final

X_J é a coordenada na direção x do nó inicial

Y_K é a coordenada na direção y do nó final

Y_J é a coordenada na direção y do nó inicial

Cx e Cy são os cossenos diretores das barras,

L é o comprimento da barra que pode ser definido através das coordenadas dos nós pela seguinte formula:

$$L = \sqrt{(X_K - X_J)^2 + (Y_K - Y_J)^2} \quad (26)$$

Logo a matriz de rotação \mathbf{R} passa a ser escrita da seguinte forma:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} Cx & Cy \\ -Cy & Cx \end{bmatrix} \quad (27)$$

O vetor genérico \mathbf{P} pode representar tanto solicitações quanto deslocamentos. Assim os deslocamentos (\mathbf{U}) do nó final (k) e inicial (j) da barra da treliça plana podem ser escritos como sendo, para o nó inicial:

$$\begin{bmatrix} U_{xj}^L \\ U_{yj}^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cx & Cy \\ -Cy & Cx \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{xj} \\ U_{yj} \end{bmatrix}, \text{ e} \quad (28)$$

para o nó final:

$$\begin{bmatrix} U_{xk}^L \\ U_{yk}^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cx & Cy \\ -Cy & Cx \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{xk} \\ U_{yk} \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Englobando as matrizes acima em uma única matriz, tem-se:

$$\begin{bmatrix} Uxj^L \\ Uyj^L \\ Uxk^L \\ Uyk^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cx & Cy & 0 & 0 \\ -Cy & Cx & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Cx & Cy \\ 0 & 0 & -Cy & Cx \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Uxj \\ Uyj \\ Uxk \\ Uyk \end{bmatrix} \quad (30)$$

Representando a equação 30 de uma forma compacta, para cada grau de liberdade da barra de uma treliça plana, pode-se relacionar os vetores da seguinte maneira:

$$\mathbf{U}^{i,L} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{U}^i \quad (31)$$

Onde: $\mathbf{U}^{i,L}$, é o vetor de deslocamentos nodais na barra (i) no sistema local;

\mathbf{U}^i , é o vetor de deslocamentos nodais da barra (i) no sistema global;

\mathbf{R} é a matriz de rotação da barra:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} Cx & Cy & 0 & 0 \\ -Cy & Cx & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Cx & Cy \\ 0 & 0 & -Cy & Cx \end{bmatrix} \quad (32)$$

Da mesma maneira dos esforços, a matriz de rotação (32) pode ser empregada para a transformação das forças no sistema local ($\mathbf{F}^{i,L}$) e no sistema global (\mathbf{F}^i):

$$\mathbf{F}^{i,L} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{F}^i, \text{ ou } \mathbf{F}^i = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{F}^{i,L} \quad (33)$$

Sendo, $\mathbf{F}^{i,L}$ o vetor de solicitações da barra (i) no sistema de coordenadas locais, e \mathbf{F}^i , o vetor nas coordenadas locais. Substituindo a equação acima na equação do equilíbrio ($\mathbf{F}^{i,L} = \mathbf{K}^{i,L} \cdot \mathbf{U}^{i,L}$) temos:

$$\mathbf{F}^i = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{K}^{i,L} \cdot \mathbf{U}^{i,L} \quad (34)$$

Substituindo $\mathbf{U}^{i,L}$ (equação 31) na equação acima, teremos:

$$\mathbf{F}^i = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{K}^{i,L} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{U}^i \quad (35)$$

Assim podemos escrever a equação fundamental do equilíbrio no sistema global para o caso de uma treliça plana sem forças atuantes nos nós:

$$\mathbf{F}^i = \mathbf{K}^i \cdot \mathbf{U}^i \quad (36)$$

Onde \mathbf{F}^i , é o vetor de solicitações no externo da barra (i) no sistema global; \mathbf{K}^i , é a matriz de rigidez da barra (i) dada em coordenadas globais; \mathbf{U}^i , é o vetor de deslocamentos nos nós da barra (i).

5.2.5 MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA NO SISTEMA GLOBAL

A matriz de rigidez da barra, \mathbf{K}^i , é dada pela transformação:

$$\mathbf{K}^i = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{K}^{i,L} \cdot \mathbf{R} \quad (37)$$

Assim, para a barra de treliça obtêm-se:

$$\mathbf{K}^i = \frac{E.A}{L} \cdot \begin{bmatrix} Cx^2 & CxCy & -Cx^2 & -CxCy \\ CxCy & Cy^2 & -CxCy & -Cy^2 \\ -Cx^2 & -CxCy & Cx^2 & CxCy \\ -CxCy & Cy^2 & CxCy & Cy^2 \end{bmatrix} \quad (38)$$

Esta é a matriz de rigidez da barra de treliça no sistema global. Muito utilizada para o processo manual, já que dispensa o duplo produto matricial.

5.2.6 MONTAGEM DA SUPER MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL DA ESTRUTURA

A partir dos conceitos apresentados anteriormente de matriz de rigidez de cada barra no sistema global e matriz de rotação, torna-se possível montar a matriz de rigidez global da estrutura \mathbf{K} .

Com as matrizes de rigidez de cada barra da estrutura no sistema de coordenadas global, a matriz de rigidez global \mathbf{K} de uma treliça plana é montada, através do seguinte procedimento: cada grupo de 2 linhas e 2 colunas farão referência a um nó da estrutura (2GDL/nó), assim os coeficientes de rigidez de barra em coordenadas globais de cada barra i (\mathbf{K}^i) são colocados nas respectivas posições dentro da matriz \mathbf{K} , em função da numeração dos graus de liberdade.

Para cada grau de liberdade de um nó, no qual concorram duas ou mais barras, os correspondentes coeficientes de rigidez devem ser somados. Assim, obtêm-se a super matriz composta por sub matrizes, a fim de considerar a contribuição de cada barra. Analisando o exemplo da figura 8, a dimensão da super matriz será 6x6 (2GDL/nó * 3 nós), e baseando-se na numeração dos GDL de cada barra, a super matriz será definida como na figura 13 abaixo:

$$\mathbf{K} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{array} \right] \end{matrix} ,$$

Figura 13 – super matriz com dimensão 2 GDL/nó

Onde os índices nas linhas e colunas representam a numeração arbitrada dos graus de liberdade da treliça (Figura 9).

Em seguida são alocadas da seguinte forma as contribuições das matrizes de rigidez de cada barra (\mathbf{K}^i) de acordo com as posições dos GDL dos nós :

$$\mathbf{K} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{array} \right] \end{matrix} + \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{array} \right] \end{matrix} + \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{array} \right] \end{matrix}$$

Barra 1
Barra 2
Barra 3

Figura 14 – alocação das matrizes de rigidez de cada barra dentro da super matriz

Dessa forma percebe-se que a super matriz \mathbf{K} é formada da contribuição das matrizes de rigidez de cada barra da estrutura, alocadas de acordo com a numeração arbitrada dos graus de liberdade do nó inicial e nó final da barra.

5.2.7 FORÇAS NODAIS E DESLOCAMENTOS

A montagem do vetor de forças nodais e dos deslocamentos é orientada pela numeração dos nós (GDL) e os sinais são referenciados ao sistema de coordenadas globais. Considere o exemplo abaixo:

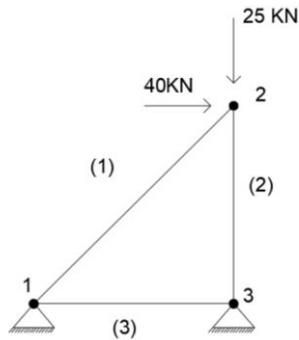


Figura 15- treliça com forças nodais externas

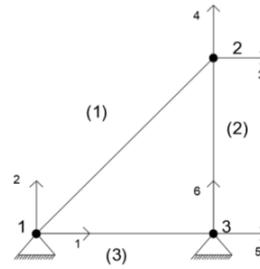


Figura 16 – GDL da treliça da figura 15

O vetor de forças nodais no sistema global para a estrutura da figura 15, se apresenta como:

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -40 \\ -25 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (39)$$

E o vetor dos deslocamentos no sistema global da estrutura é descrito por:

$$U = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_3 \\ U_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (40)$$

5.2.8 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A matriz de rigidez global da estrutura (\mathbf{K}) é única e possui o sistema de equações indeterminado, por isso não se considera as ligações da estrutura com o meio externo. Assim retira-se a matriz \mathbf{K} as linhas e colunas relativos aos deslocamentos conhecidos. Para após a resolução do sistema, obter-se os deslocamentos nodais.

O primeiro passo na determinação das solicitações em uma barra (i), é calcular o vetor de forças externas atuantes na barra (F^i), referenciado no sistema global, como feito na seção acima e exposto na equação 39. Por conseguinte, utiliza-se da equação fundamental de equilíbrio (equação 36), para determinação do vetor F^i , possibilitando o cálculo as solicitações na barra pela equação:

$$\mathbf{F}^{i,L} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{F}^i \quad (41)$$

5.2.9 REAÇÕES DE APOIO

O procedimento para encontrar as reações de apoio ocorre utilizando as forças nodais encontrados no sistema global. O procedimento para encontrar as reações de apoio consiste em realizar o equilíbrio entre: a reação, ações locais de extremidade devido à deformação e de forças aplicadas diretamente no apoio (ações nodais associadas ao carregamento externo).

Assim:

$$RM = -PM + \sum_i \mathbf{F}^i \quad (43)$$

Onde i é o número de barras ligadas ao nó;

PM é o vetor de forças aplicadas diretamente ao nó;

$\sum_i \mathbf{F}^i$ é a soma das solicitações globais que concorrem ao nó.

5.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

O desenvolvimento do programa “Trelica” se deu na linguagem Fortran utilizando o compilador Microsoft Visual Studio 2017. Seu objetivo é analisar e resolver, baseando-se no método da rigidez direta, estruturas de treliças planas. E como resultado, apresentar todo o desenvolvimento matricial necessário para analisar a estrutura, como as matrizes de rigidez das barras, os deslocamentos dos nós, e as reações de apoio.

Os arquivos de entrada e saída de dados estão em formato “.txt”, padrão do Bloco de Notas do Microsoft Windows. O código computacional foi estruturado em sub-rotinas, responsáveis por efetuar diferentes tarefas e organizar as operações utilizadas pela linguagem de programação e pelo microprocessador para resolver o sistema estrutural.

O programa “Trelica” utiliza um arquivo de entrada (“entrada”) e um arquivo de saída de resultados (“saída”).

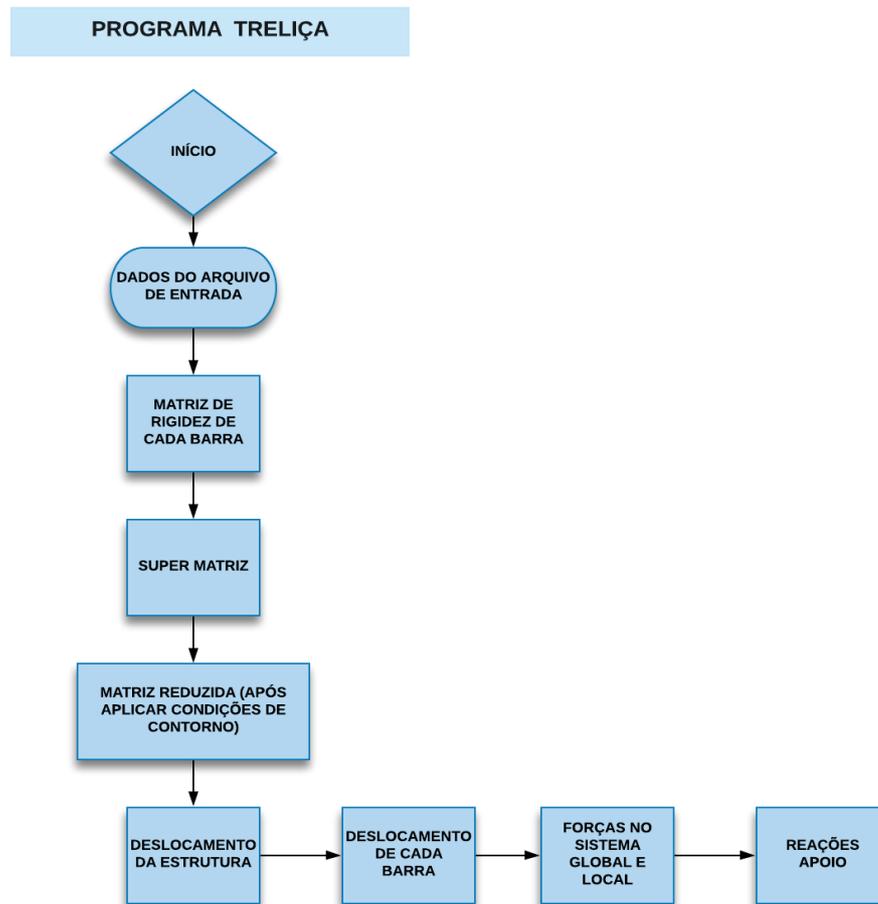


Figura 17 – fluxograma do funcionamento do programa “treliça”

5.3.1 ARQUIVO DE ENTRADA

O arquivo de entrada possui todos os dados da estrutura necessários para realizar a análise dele pelo método computacional do método dos deslocamentos. São esses: número de nós, número de barras, número de nós com apoios, número de nós com forças prescritas, nó inicial e nó final de cada barra, coordenadas dos nós, área e módulo de elasticidade das barras, tipo de restrição dos nós apoiados e forças externas aplicadas nos nós.

De forma genérica, o arquivo de entrada apresenta o seguinte conteúdo:

Programa para resolver treliça - Método dos deslocamentos
 N de barras,n de nós,n nós apoiados,n nós com forças aplicadas

[inteiro],[inteiro],[inteiro],[inteiro]

Barra, Área, Módulo de Elasticidade, nó inicial, nó final

[inteiro],[real],[real],[inteiro],[inteiro]
 [inteiro],[real],[real],[inteiro],[inteiro]
 [inteiro],[real],[real],[inteiro],[inteiro]
 [inteiro],[real],[real],[inteiro],[inteiro]
 [inteiro],[real],[real],[inteiro],[inteiro]

nó,Coord. X, Coord. Y

[inteiro],[real],[real]
 [inteiro],[real],[real]
 [inteiro],[real],[real]
 [inteiro],[real],[real]

Nó Apoiado, Restrição X,Restrição Y
 (0- sem restrição, 1- com restrição)

[inteiro],0,0
 [inteiro],0,0

Nó com força prescrita,Força em X, Força em Y

[inteiro],[real],[real]

As informações entre colchetes devem ser preenchidas pelos valores respectivos da treliça analisada, respeitando os critérios numéricos pré-estabelecidos. É importante ressaltar que a escolha das unidades dos dados é responsabilidade do usuário. Assim ao se definir o módulo de elasticidade em kN/m², as demais informações devem estar em metros para assim respostas fornecidas pelo arquivo de saída serem adequadas.

No arquivo de entrada também são fornecidas opções para o usuário escolher quais respostas ele deseja visualizar no arquivo de saída. Assim, ele pode escolher em visualizar os resultados parciais da resolução do método, como a matriz de rigidez de cada barra no sistema local e/ou global, o vetor de forças no sistema local e/ou global, a matriz de rigidez da estrutura, o vetor deslocamento da barra, o vetor deslocamento da estrutura, a matriz de rigidez reduzida, e as reações de apoio. Ou somente optar por visualizar uma dessas etapas. Vale lembrar que o programa deve ser uma complementação ao processo de aprendizagem,

por isso é importante a visualização dos resultados parciais para que o aluno possa localizar o seu próprio erro.

5.3.2 ARQUIVO DE SAÍDA

Ao se executar o aplicativo “Trelica” o arquivo de saída é gerado automaticamente no formato “txt.”. Ele segue o fluxograma de funcionamento do programa (figura 17) exibindo então primeiramente a matriz de rigidez de cada barra, seguido da super matriz, da matriz reduzida (após aplicar as condições de contorno), do deslocamento de toda estrutura, do deslocamento de cada barra, dos vetores de forças nos sistema global e local, e por fim das reações de apoio.

Vale lembrar que esses resultados só serão exibidos se o usuário marcar a opção “1 para imprimir” no arquivo de saída, para a respectiva etapa de resolução do método da rigidez direta.

5.4 FORMULÁRIO FINAL

Para concluir esse trabalho e conseguir analisar de forma pedagógica a utilidade do *software* desenvolvido, será aplicado um formulário final com a intenção de saber, por parte dos alunos, se o *software* auxiliou no processo de aprendizagem do conteúdo de treliças pelo método dos deslocamentos. Além de recolher opiniões para melhoramento do mesmo.

Assim como o formulário utilizado na turma antes do uso do *software*, esse também foi elaborado com a ajuda de uma pedagoga. Medir o quanto a ferramenta computacional auxiliou no aprendizado dos alunos além de sugerir diferentes ferramentas pedagógicas, considerando os resultados obtidos. Esse formulário consta no anexo B desse trabalho.

6 RESULTADOS E DISCURSÕES

6.1 FORMULÁRIO INICIAL

A seguir estão os gráficos que representam um resumo geral das respostas obtidas após a aplicação do formulário para 16 alunos num universo de 21 alunos da turma de teoria da estrutura 2.

O modelo tradicional de aula (expositiva com resolução de exercícios) é SUFICIENTE para um bom aproveitament... disciplina Teoria das estruturas 2?

16 respostas

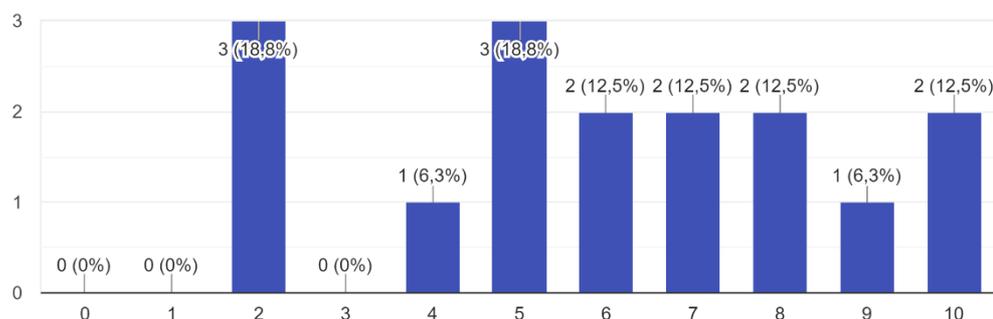


Gráfico 1 – análise da suficiência do modelo de aula expositiva. (Fonte: autor)

O uso de tecnologias variadas é benéfico à aprendizagem do conteúdo de Teoria das estruturas 2?

16 respostas

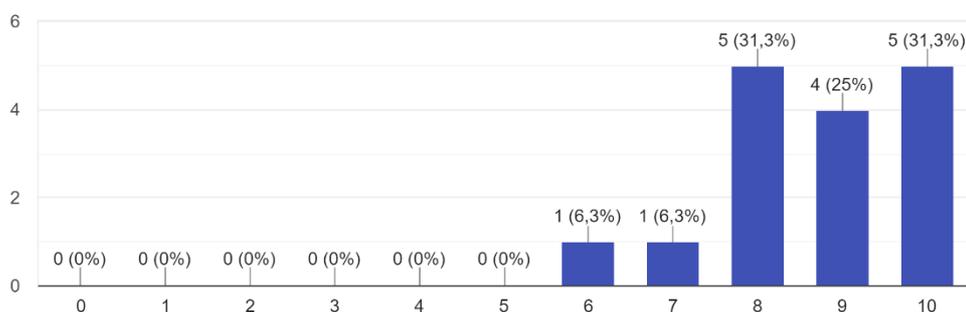


Gráfico 2 – percentagem de alunos que aprovam o uso de tecnologias para a aprendizagem. (Fonte: autor)

Os resultados exibidos nos gráficos 2 revelam que cerca de 100% nos alunos acham o uso de várias tecnologias benéfico à aprendizagem do conteúdo do método dos deslocamentos, ainda que pela análise do gráfico 1, a maioria dos alunos achem que a metodologia tradicional utilizada pelo professor seja suficiente para o aprendizado. O resultado do gráfico 1 foi inesperado, pois contradiz os argumentos pedagógicos expostos nesse trabalho de que a metodologia de aula deve contemplar vários estilos de aprendizagem, e o modelo tradicional de aula com somente exposição do conteúdo e resolução de exercícios não cumpre esse quesito. Uma hipótese para esse resultado, é de quando o método de aula expositivo é analisado individualmente os alunos o acham suficiente, no entanto ao compará-lo com outros procedimentos metodológicos, ele não

apresenta tanta eficiência assim, como mostra o gráfico 3 abaixo. Outro fator que contesta o resultado do gráfico 1 é o alto índice de reprovação da disciplina quando é utilizado somente o método de prova escrita como avaliação da aprendizagem.

Já o resultado do gráfico 2, ressalta as teorias expostas por esse trabalho de que o uso de diferentes tecnologias é favorável ao processo de aprendizagem por contemplar diferentes estilos de aprendizagem, despertar o interesse e a motivação do aluno, além de já estar inserida no cotidiano do aluno.

O gráfico 3 a seguir apresenta os resultados da avaliação dos alunos sobre a eficiência da utilização dos seguintes procedimentos metodológicos para a sua própria aprendizagem.

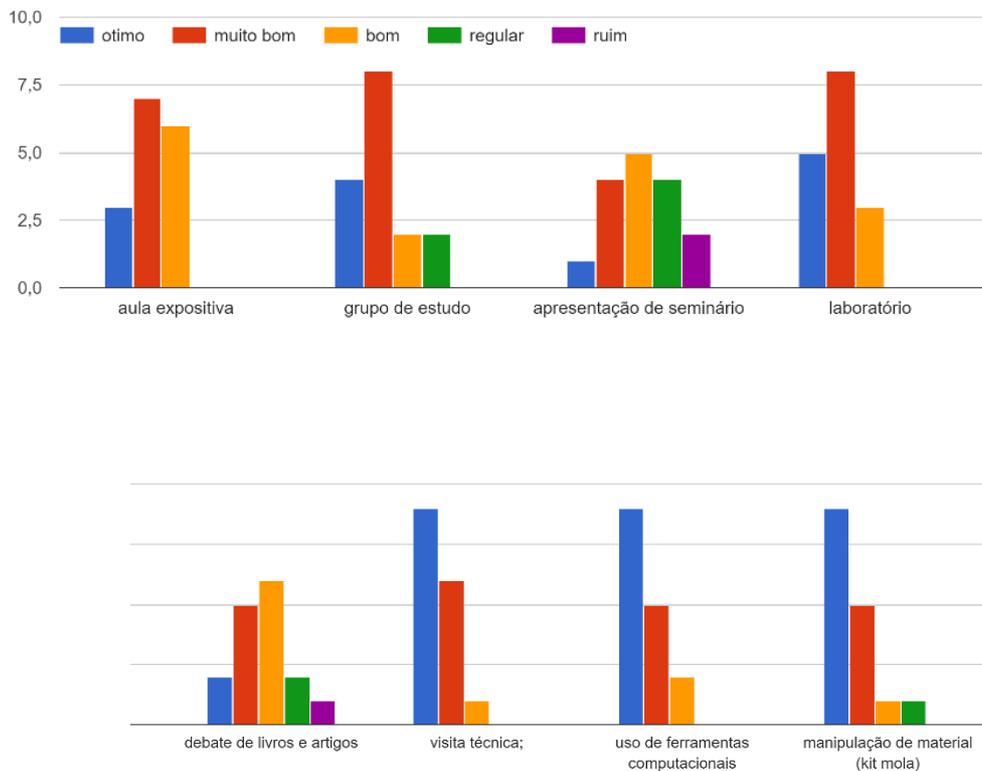


Gráfico 3 – classificação de diferentes processos metodológicos quanto à melhor aprendizagem dos alunos. (Fonte: autor)

O acesso (internet, biblioteca, livrarias, etc) aos materiais com conteúdos relevantes à disciplina Teoria das estruturas 2 é fácil?

16 respostas

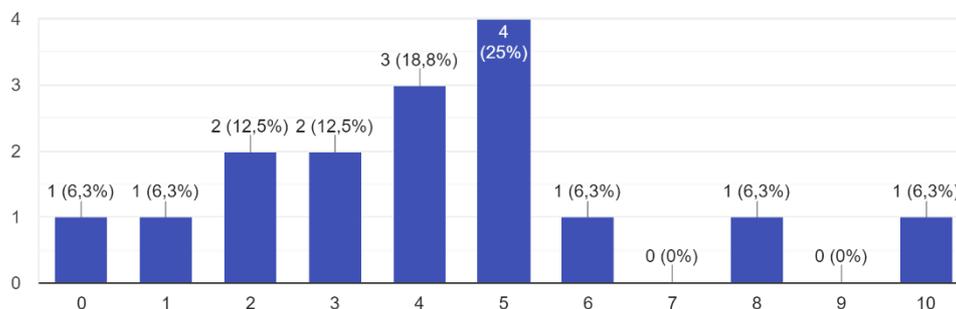


Gráfico 4 – facilidade de acesso à materiais da disciplina sendo o parâmetro 0, igual a difícil acesso e 10 muito fácil acesso. (Fonte: autor)

O resultado obtido no gráfico 3 confronta o resultado do gráfico 1 ao mostrar que os alunos classificaram o processo metodológico de aula expositiva (modelo tradicional) como “muito bom” e “bom”, enquanto os processos como o uso de ferramentas computacionais, visita técnica e manipulação de material concreto (kit mola) possuem avaliações predominantes de “ótimo” para aprendizagem.

Assim o resultado exibido no gráfico 3 foi esperado por esse trabalho, e ressalta as teorias expostas anteriormente das diversas preferências que existem em uma sala de aula devido as diferentes formas que ocorrem a aprendizagem para um indivíduo. Comprovando a referências utilizadas nesse trabalho sobre a existência de estilos variados de inteligência, de tipos psicológicos e de estilos de aprendizagem, ao mostrar que determinados procedimentos metodológicos são melhores para uns alunos e piores para outros.

Já o gráfico 4 apresenta, com mais de 50% dos votos, que é difícil o acesso à materiais didáticos que sejam relevantes ao conteúdo do método dos deslocamentos, constituindo assim mais um obstáculo ao processo de aprendizagem.

De acordo com os estilos de aprendizagem a seguir, qual se enquadra em seu perfil?

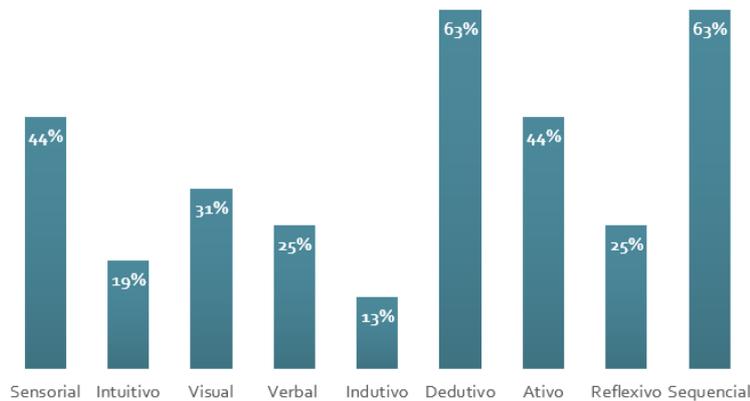


Gráfico 5- estilos de aprendizagem que os alunos se identificam. (Fonte: autor)

O modelo de avaliação (prova escrita) é SUFICIENTE para o professor verificar a aprendizagem do conteúdo da disciplina Teoria das estruturas 2 ?

16 respostas

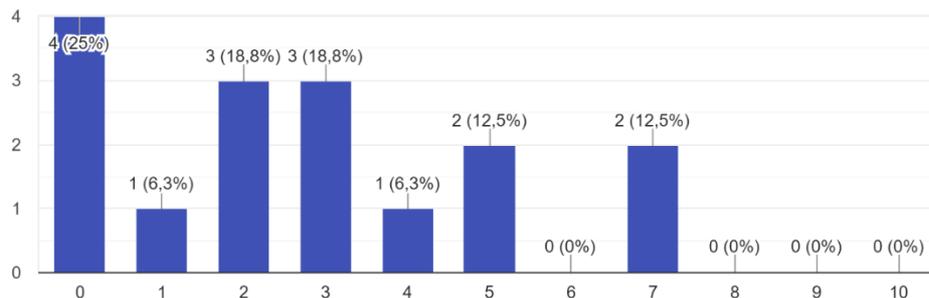


Gráfico 6 – estimativa da suficiência do modelo de avaliação. (Fonte: autor)

Toda a teoria dos diferentes estilos de aprendizagem exposta por esse trabalho é evidenciada pelo resultado do gráfico 5 ao mostrar a variedade de estilos de aprendizagem com as quais os alunos se identificam (podendo se identificar mais de um estilo). Destaca-se então que a maioria se identificou com os estilos sequencial e dedutivo, ou seja, eles preferem começar com os princípios gerais e, então, deduzir suas consequências e aplicações (estilo dedutivo), e aprendem melhor quando a matéria é apresentada em uma progressão contínua de complexidade (estilo sequencial).

O essencial desse resultado é ressaltar a enorme variedade de estilos de aprendizagem em um universo relativamente pequeno de 16 alunos. Desse modo, para este trabalho, que foca em turmas de engenharia civil da Universidade Federal do Mato Grosso que se iniciam com uma média de 60 alunos, essa variedade se torna um fator primordial

na definição dos processos metodológicos que auxiliem na aprendizagem dos conteúdos. E conforme as referências utilizadas nesse trabalho, o papel do educador é se conscientizar dessa variedade para assim utilizados método mais eficientes no processo de aprendizagem.

Nesse contexto, ao comprovar os diferentes estilos de aprendizagem em uma turma, o resultado do gráfico 6 é esperado, pois destaca que somente um único modelo de avaliação (prova escrita) não é suficiente para avaliar todos os alunos em suas diferenças individuais. Sendo então um dos principais motivos da reprovação dos alunos na disciplina.

Das alternativas abaixo, selecione quais outras atividades você gostaria que o professor de Teoria das estrutu...como meio de avaliação além da prova

16 respostas

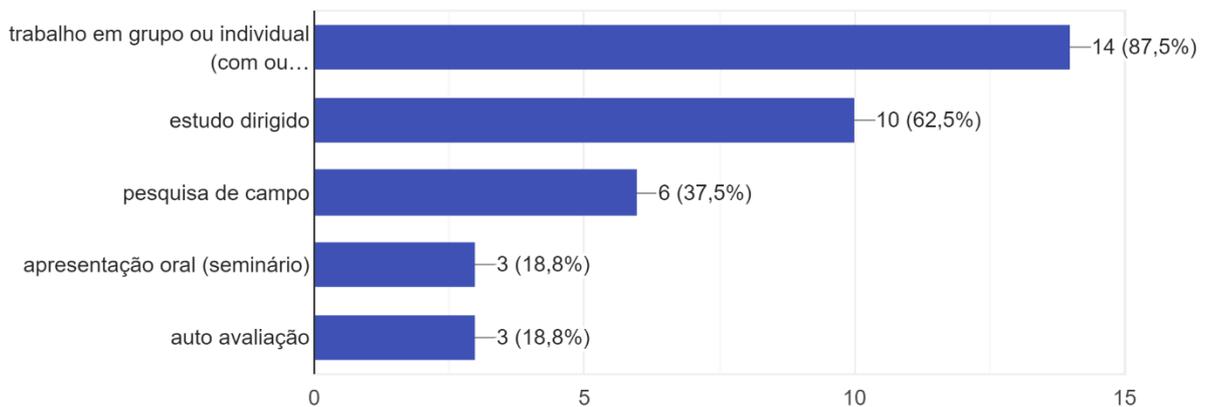


Gráfico 7 – Sugestões de outros meios de avaliação da aprendizagem. (Fonte: autor)

Em geral, na disciplina de teoria das estruturas 2, os conceitos são ensinados de forma que

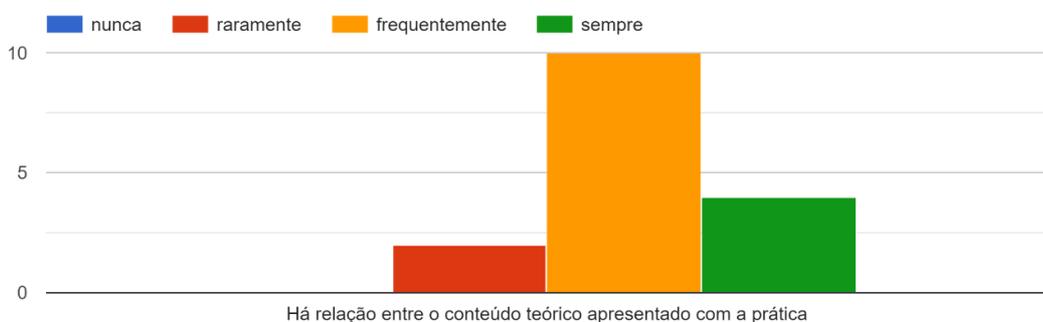


Gráfico 8 – Relação da disciplina teórica com a prática. (Fonte: autor)

O gráfico 7 apresenta a preferência da adoção de métodos como o trabalho em grupo como uma complementação ao processo de avaliação utilizado (prova escrita) já que a maioria da turma não acha esse método de avaliação totalmente suficiente. Assim, outros métodos de avaliação podem influenciar diretamente no índice de aprovação dos alunos na disciplina de teoria das estruturas 2, já que como já comprovado pelos resultados anteriores, existem diferenças individuais no processo de aprendizagem e assim o método de avaliação deve contemplar essas diversidades.

A seguir estão apresentadas as respostas da seguinte questão: Quais são as dificuldades que você encontra nessa disciplina? Assim os alunos associaram as seguintes opções à sua dificuldade, sendo que nas duas primeiras alternativas, o zero representa que não tem relação com a minha aprendizagem; de 1 a 5 = raramente tem relação com a minha aprendizagem; de 6 a 9= frequentemente tem relação com a minha aprendizagem; e 10= sempre tem relação com a minha aprendizagem

complexidade do conteúdo

16 respostas

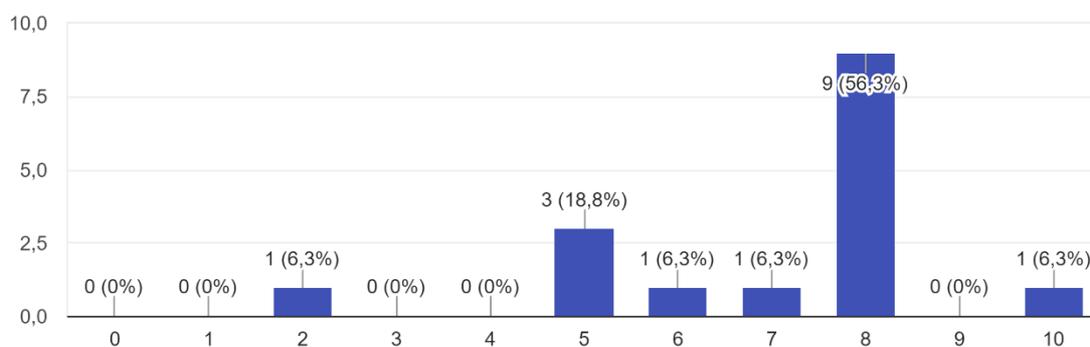


Gráfico 9 – Relação da complexidade do conteúdo com a dificuldade de aprendizagem. (Fonte: autor)

extensão do conteúdo

16 respostas

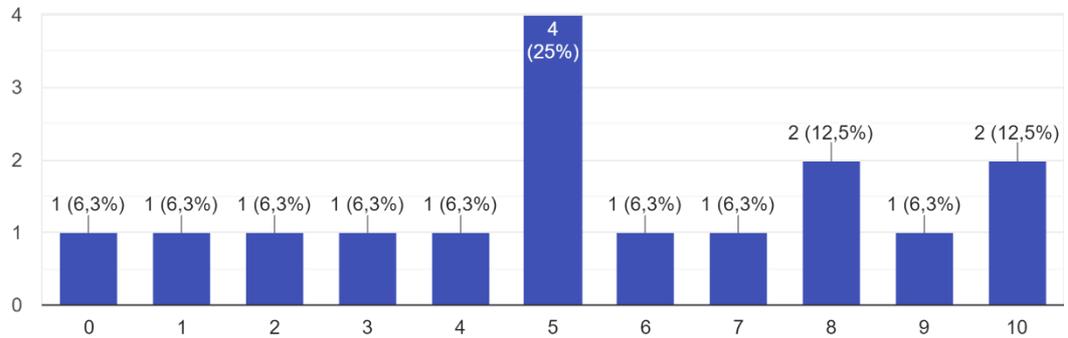


Gráfico 10 – Relação da extensão do conteúdo com a dificuldade de aprendizagem.

(Fonte: autor)

Nas três últimas opções dessa questão, os índices de 0 a 5 representavam que o aluno não tinha dificuldade ou tinha pouca dificuldade no item apresentado, e os item de 0 a 5 representavam que o aluno tinha dificuldade e o tamanho dessa dificuldade.

reconhecer por si só que os resultados da atividade estão certos

16 respostas

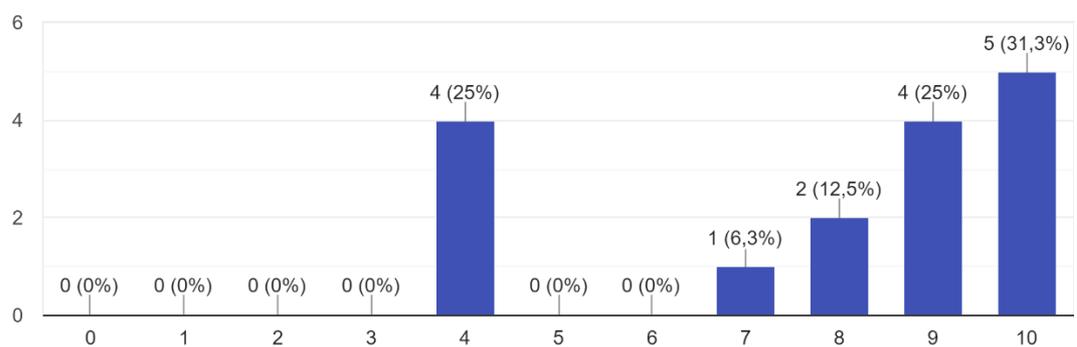


Gráfico 11- Dificuldade de reconhecer a autenticidade dos resultados encontrados.

(Fonte: autor)

difficuldade de visualizar os esforços na estrutura quando a explicaçã se dá somente de forma teórica

16 respostas

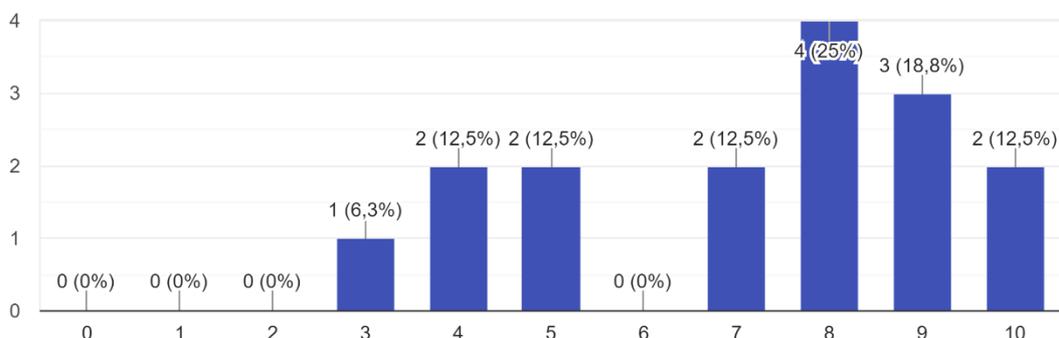


Gráfico 12 – Dificuldade de visualizar situações reais devido à somente exposição da teoria. (Fonte: autor)

compreender os conceitos teóricos

16 respostas

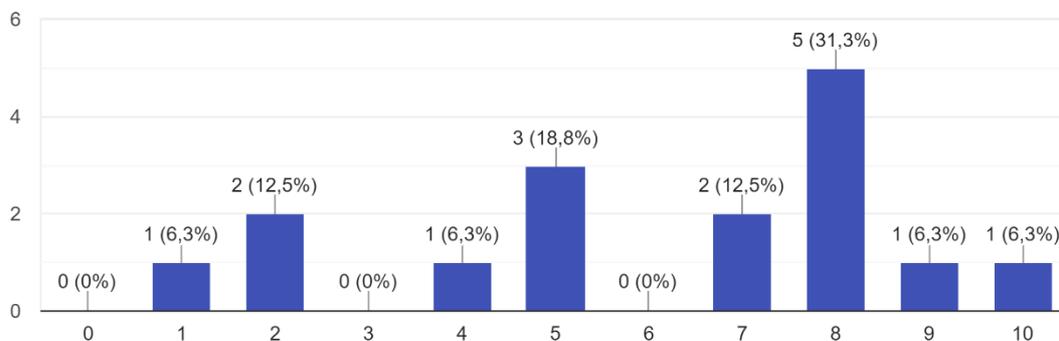


Gráfico 13 – Dificuldade de entender a teoria. (Fonte: autor)

Os gráficos 9,10,11,12, e 13 apontam as principais dificuldades encontradas pelos alunos para a aprendizagem do conteúdo do método dos deslocamentos. Destacam-se como predominantes, as dificuldades relacionadas com a complexidade do conteúdo e a dificuldade de reconhecer por si só que os resultados das atividades estão certos.

Esse trabalho se baseia nessa dificuldade de reconhecer a autenticidade dos resultados ao desenvolver um programa que mostra os resultados parciais dos exercícios. O

gráfico 13 aponta ainda, que cerca de 56% da turma apresenta dificuldade de compreender os conceitos teóricos mesmo que estes sejam frequentemente relacionados com a prática (gráfico 8).

6.2 VALIDAÇÃO DO PROGRAMA “TRELICA”

O código computacional desenvolvido em linguagem Fortran foi validado no software Ftool. A seguir estão os exemplos usados para essa validação:

Exemplo 1: Treliça plana

Discretização: - 3 barras;

- 3 nós;

- 3 nós apoiados;

- 1 nó com força.

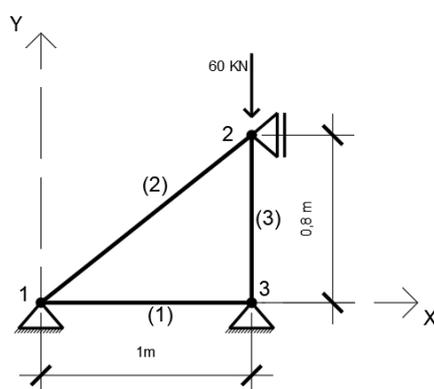


Figura 18 – primeiro exemplo usado para validar o software

REAÇÕES OBTIDA NO PROGRAMA			REAÇÕES OBTIDAS NO <i>Ftool</i>		
	REAÇÃO EM X (KN)	REAÇÃO EM Y (KN)		REAÇÃO EM X (KN)	REAÇÃO EM Y (KN)
NÓ 1	14.70	11.76	NÓ 1	14.70	11.8
NÓ 2	-14.70	-60.00	NÓ 2	-14.70	0.0
NÓ 3	0.00	48.24	NÓ 3	0.0	48.2

Tabela 3 – comparação dos resultados do exemplo 1 pelo programa e pelo *Ftool*

Validação do exemplo 1 no *Ftool*: verifica-se então que foram encontrados os mesmos valores de reações nos apoios, tanto pelo programa “treliça” quanto pelo software *Ftool*

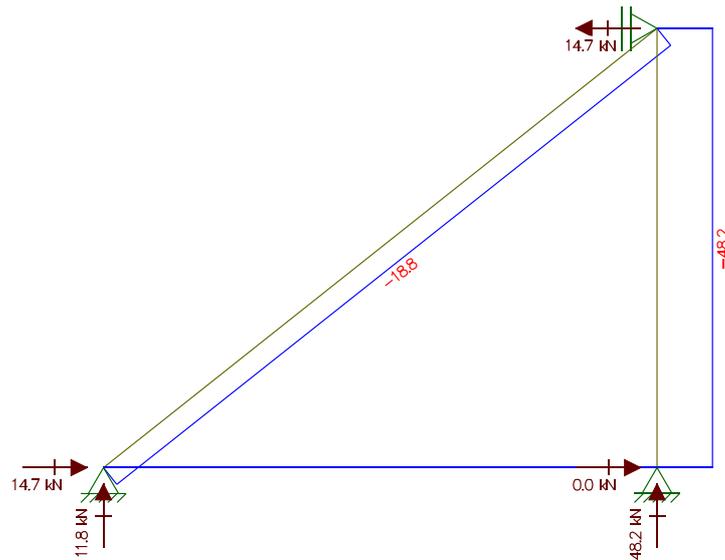


Figura 19 – validação da treliça da figura 19 no software *Ftool*

Exemplo 2:

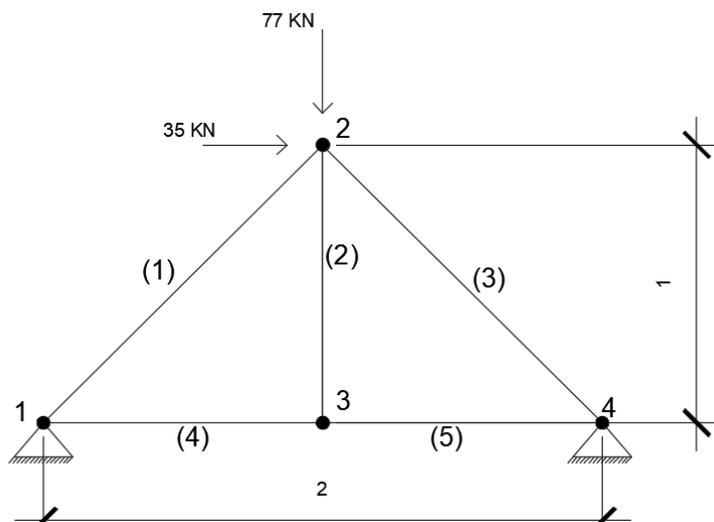


Figura 20 - exemplo 2 para validação do programa “treliça”

REAÇÕES OBTIDAS PELO PROGRAMA			REAÇÕES OBTIDAS PELO <i>Ftool</i>		
	REAÇÃO EM X (KN)	REAÇÃO EM Y (KN)		REAÇÃO EM X (KN)	REAÇÃO EM Y (KN)
NÓ 1	21.00	21.00	NÓ 1	21.00	21.00
NÓ 4	-56.00	56.00	NÓ 4	56.00	56.00

Tabela 4 – comparação dos resultados do exemplo 2 pelo programa e pelo *Ftool*

Validação do exemplo 2 pelo *Ftool*:

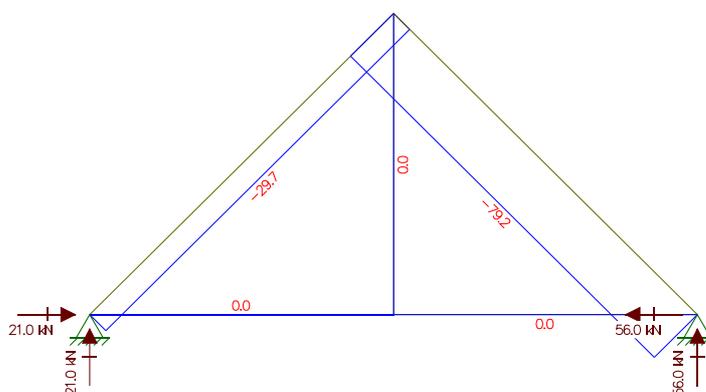


Figura 21 – validação no software *Ftool* da treliça da figura 20

A partir dos exemplos expostos nessa seção, comprova-se que o programa “treliça” é válido na resolução de estruturas de treliças, destacando-se ao expor não somente os resultados finais, mas também os resultados parciais do processo de resolução pelo método dos deslocamentos.

6.3 FORMULÁRIO FINAL

A seguir estão os gráficos das respostas do formulário final (anexo B), que foi respondido por 12 alunos num universo de 16 alunos que utilizaram o software, numa turma de 21 alunos.

O acesso à resultados parciais facilita na resolução e na compreensão de um exercício?

12 respostas

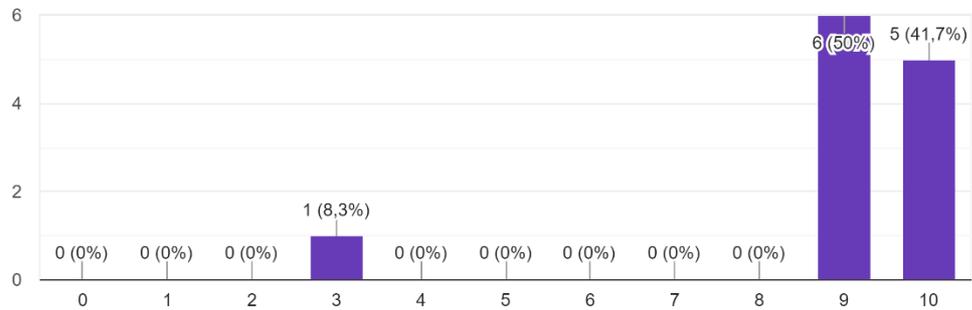


Gráfico 14 –Análise se a obtenção de resultados parciais facilita na compreensão do exercício. (Fonte: autor)

O software de cálculo estrutural fornece os resultados finais do dimensionamento. Tenho GRANDE inter...btenção dos resultados do software

12 respostas

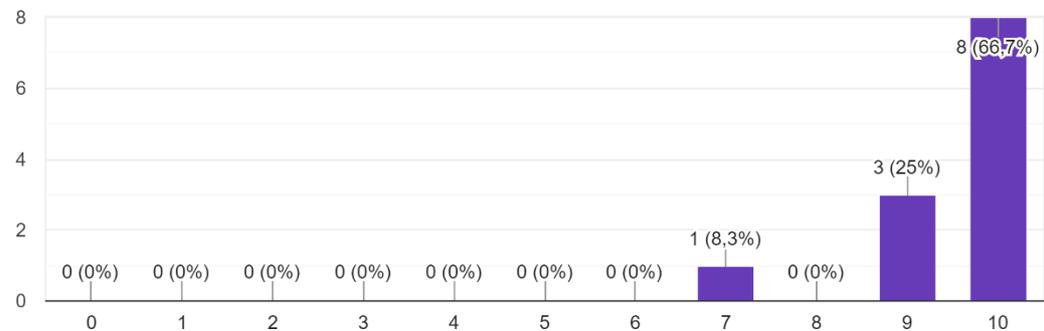


Gráfico 15 – Interesse no processo de resolução utilizado pelo software. (Fonte: autor)

Aprender a calcular uma estrutura manualmente é mais importante do que aprender a automatizar o processo de cálculo

10 respostas

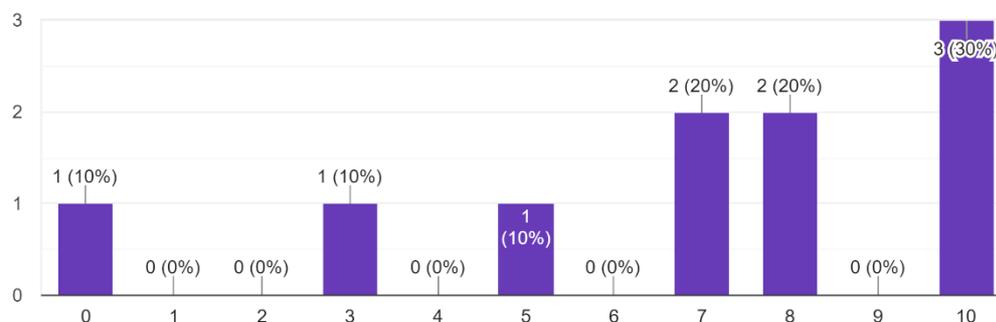


Gráfico 16 – Importância de calcular manualmente e aprender a automatizar sendo que o parâmetro 0 significa calcular manualmente e 10 automatizar. (Fonte: autor)

O gráfico 16 comprova as teorias expostas por esse trabalho de que o uso de um software educacional é benéfico ao processo de aprendizagem ao mostrar que a maioria dos alunos acham importante aprender a automatizar os cálculos (processo realizado pelo software)

No gráfico 15 os alunos destacam o interesse no processo de obtenção dos resultados do software, ou seja, além dos resultados parciais exibidos, o processo que gerou esses resultados também deve, segundo os alunos, ser exposto no programa. Se tornando assim uma sugestão para aperfeiçoamento, visto que o objetivo de auxiliar na compreensão do conteúdo do método dos deslocamentos já foi alcançado por meio do acesso a somente os resultados parciais (gráfico 14).

O uso do software auxiliou no aprendizado do método dos deslocamentos?

11 respostas

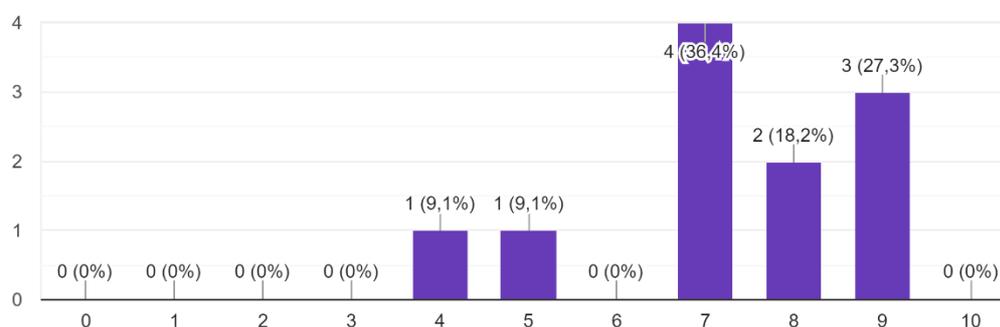


Gráfico 17 – Auxílio na aprendizagem do método dos deslocamentos pelo programa desenvolvido. (Fonte: autor)

O software apresenta o conteúdo de forma

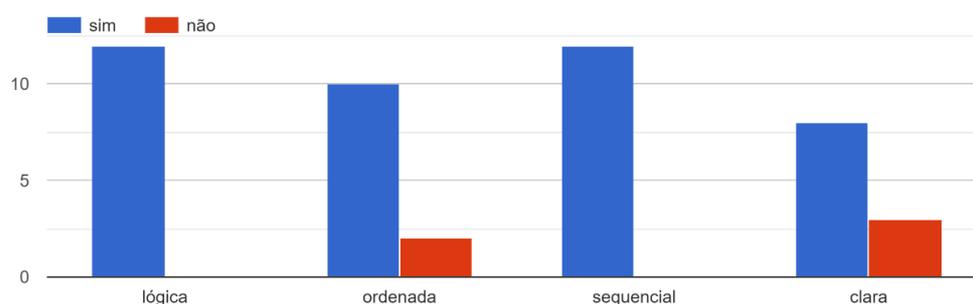


Gráfico 18 – Abordagem do conteúdo do software. (Fonte: autor)

O gráfico 17 resume todo este trabalho de conclusão de curso ao comprovar que o uso de um software educacional auxiliou no processo de aprendizagem do método dos deslocamentos, pois de acordo com teorias expostas anteriormente ele é capaz de abranger mais de um estilo de aprendizagem e ser utilizado como um recurso para tentar diminuir as dificuldades nesse processo de aprendizagem.

A estrutura e o uso do software são de fácil entendimento?

12 respostas

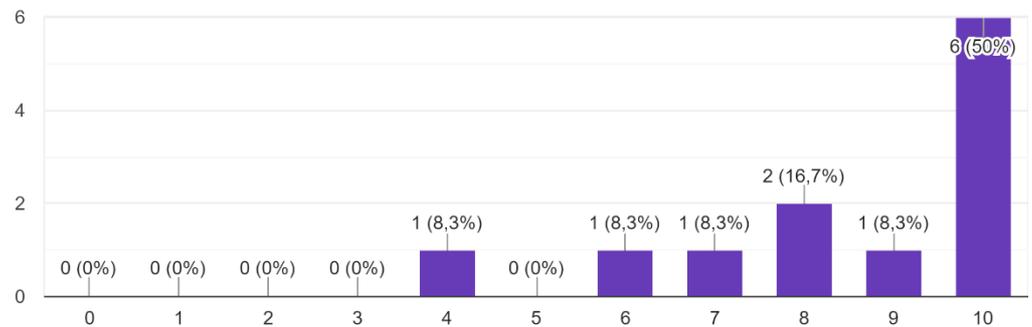


Gráfico 19 – Entendimento da estrutura do software. (Fonte: autor)

O conteúdo do software é coerente com a área e o nível de ensino proposto?

12 respostas

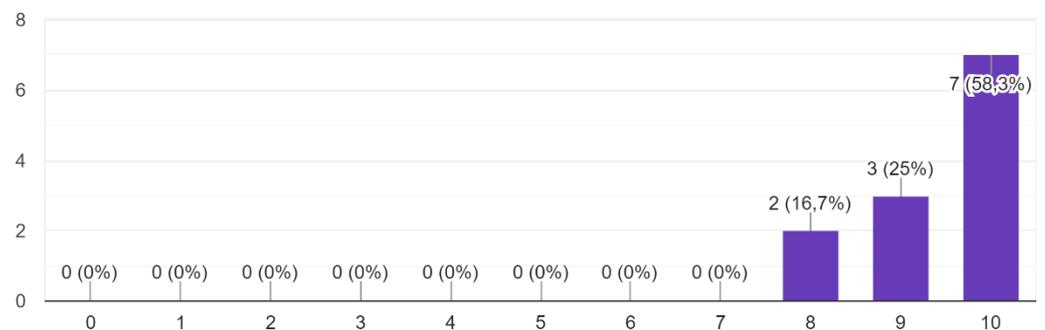


Gráfico 20 – Coerência do software com a área e nível de ensino. (Fonte: autor)

Os gráficos 18,19, e 20 remetem a avaliação da estrutura do programa por parte dos alunos. De acordo com esses resultados, o objetivo de elaboração de um programa para alunos de engenharia civil foi alcançado ao se comprovar que o programa desenvolvido é de fácil entendimento, possui linguagem e estrutura clara, lógica, ordenada e sequencial, além de abranger o nível e área de ensino proposta.

Sugestões para o aperfeiçoamento do software

12 respostas

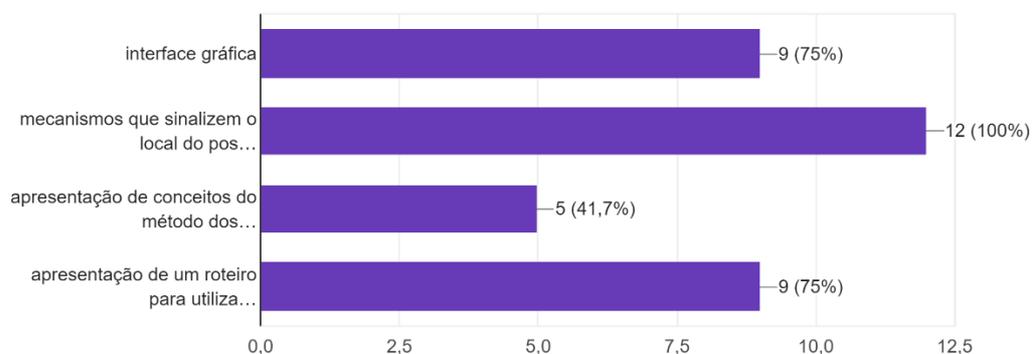


Gráfico 21 – Sugestões de aperfeiçoamento do software. (Fonte: autor)

Outras sugestões de aperfeiçoamento do software foram:

- “Interface que gere o número de barra para o preenchimento das informações de cada uma”
- “Uma forma mais interativa de fornecer os dados”

7 CONCLUSÕES

Pode-se concluir, através das análises das respostas do formulário inicial e final, que o uso do *software* educacional por alunos de engenharia civil, foi capaz de auxiliar no processo de aprendizagem do conteúdo de método dos deslocamentos.

O método dos deslocamentos realizado por rotinas computacionais gerou dinamicidade para a análise estrutural. Mas é importante lembrar que essa é uma ferramenta complementar e não deve substituir os cálculos manuais, principalmente porque é por meio do entendimento manual que se verifica os resultados dos programas computacionais. Assim, os *softwares* educacionais servem de apoio ao processo didático por fornecer agilidade no cálculo.

Em relação à aprendizagem do conteúdo do método dos deslocamentos, a abordagem pedagógica do formulário inicial apresentou as principais dificuldades dos alunos para aprender esse conteúdo, que estão relacionadas de maneira indireta ou direta aos diferentes estilos de aprendizagem.

Vale destacar que ao utilizar o programa os alunos manifestaram alto interesse e entusiasmo, esse fato evidencia as vantagens do uso do *software* como uma ferramenta motivadora capaz de melhorar a aprendizagem com informações apresentadas de maneira mais atraente.

Por fim, como sugestões para o *software* educacional, destacou-se a implementação de mecanismos que sinalizem o local do possível erro, além de outras sugestões como a implantação de uma interface gráfica e a apresentação de um roteiro para utilização do programa. Outra possibilidade para futuros trabalhos seria a implementação do *software* para outros tipos de estruturas como os pórticos e as vigas.

Em resumo, enfatiza-se que este trabalho de conclusão de curso teve grande relevância para a estudante, que aprendeu novas abordagens de temas apresentados no decorrer da graduação. Isso aumentou consideravelmente seu nível de conhecimento na área de engenharia.

8 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P.F.C. A psicopedagogia seria uma possibilidade para o enfrentamento das dificuldades de aprendizagem?, São Bernardo do Campo – SP, 2014.

ARAÚJO, Z. P., Análise das contribuições dos teóricos Piaget e Vygotsky à formação profissional e à aprendizagem humana. 2012.

ANTUNES, Celso. As inteligências múltiplas e seus estímulos. Campinas-SP. Editora Papirus, 2003

ANTUNES, E.G.S., COSTA, C.B., Inteligências Múltiplas. Conhecimento e Educação. ALMEIDA, Siderly do Carmo Dahle de; CAETANO, Camilla Barreto Rodrigues Cochia; LAZILHA, Fabricio Ricardo; SILVA, Ludhiana Ethel Kendrick Matos (Orgs.). Maringá-Pr.: CESUMAR, 2016.

BECKER, Fernando. Educação e construção do conhecimento. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BEGNIS, A. P., Desenvolvimento de um programa computacional para análise de estruturas reticuladas, Santa Cruz do Sul (RS), dezembro de 2015.

BOSSA, Nadia A. A Psicopedagogia no Brasil: contribuições a partir da prática. 4 ed. Rio de Janeiro: Wak Editora, 2011.

BERNARDES, J.A.; ANDREATTA-DA-COSTA, L.; RAMIRO, F.S. Softwares educacionais – seu uso e importância no ensino-aprendizagem dos alunos de engenharia civil. In: COBENGE MÚLTIPLOS SABERES E ATUAÇÕES. 2014.

DALL’ASTA, R.J.; BRANDÃO E.J.R. , A transposição didática em Softwares educacionais. 2004.

DeBELLO, T.C. Comparison of eleven major learning styles models: variables, appropriate populations, validity of instrumentation and the research behind them. *Journal of Reading, Writing and Learning Disabilities*, 6:203-222, 1990.

DRUZIAN, B.M. Rotina computacional para análise de treliças espaciais, Santa Maria –RS, 2015.

FELDER, R.M.; SILVERMAN, L.K. Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engineering Education*, 78(7), April 1988, p. 674-681.

FIALHO, N. N. ; MATOS, E. L. M. A arte de envolver o aluno na aprendizagem de ciências utilizando softwares educacionais, *Educar em Revista*, Curitiba, Brasil, n. especial 2, p. 121-136, 2010. Editora UFPR.

FILHO, F. M.; COSTA, R. A. Uma proposta de Método para a avaliação de Softwares educacionais através de uma visão psicopedagógica, *Revista Tecnologias na Educação – Ano 4- número 7 – Dezembro*, 2012.

GARDNER, Howard. Estruturas da mente. A Teoria das Inteligências Múltiplas. Porto Alegre. Artes Médicas, 1994.

GAEZLER, R., Introdução ao Fortran 90/95, 12 de abril de 2010, Pelotas-RS.

GRAEBIN, C. Critérios pedagógicos, ambiente educacional, programa curricular e os aspectos didáticos: critérios relevantes na avaliação de softwares educacionais, CINTED-UFRGS, Novas Tecnologias na Educação, V. 7 Nº 1, Julho, 2009.

HUCZYNSKI, A.; JOHNSTON, S. P. Engineering students' use of Computer Assisted Learning (CAL). European Journal of Engineering Education, v. 30, n. 2, p. 287-298, 2005.

JUNG, C. G. Tipos Psicológicos. Petrópolis: Vozes, 1991 (Obras completas de C.G. Jung, v.6).

KAMPFF, A. J. C. Tecnologia da informação e comunicação na educação, Curitiba – PR, 2009.

KAMPFF, A.J.C.; MACHADO, J.C.; CAVEDINI, P. Novas Tecnologias e Educação Matemática, CINTED-UFRGS, Novas Tecnologias na Educação , V.2 Nº2, Novembro, 2004.

KEIRSEY, D. Please Understand Me II: Temperament Character Intelligence, 1ª ed., Prometheus Nemesis Book Company, Del Mar, CA, 1998.

KOLB, D. A. Experiential Learning: experience as the source of learning and development. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1984.

KURI, N. P. Tipos de personalidade e estilos de aprendizagem: proposições para o ensino de engenharia. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.2004.

LEET, K. M.; UANG, C-M.; GILBERT, A.M. Fundamentos da Análise Estrutural, tradução AMGH , 2010

MARTHA, L.F. Método da rigidez direta para modelos estruturais lineares e elásticos, Rio de Janeiro-RJ.

MASSUKADO, L. M.; SCHALCH, V. , *Simulação no ensino de engenharia – avaliando a aplicação do software simgere sob o paradigma do “aprender a aprender”*, Revista de Ensino de Engenharia, v. 26, n. 2, 40-46, 2007.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, Múltiplas inteligências na prática escolar, Brasil, 1999.

MYERS, I.B., MYERS, P.B. , Ser humano é ser diferente : valorizando as pessoas por seus dons especiais .Tradução Eliana Rocha, Ilda Schuller, São Paulo: Gente 1997.

PRAVIA, Z.M.C; KRIPKA, M., *Proposta metodológica para o uso e desenvolvimento de ferramentas computacionais no ensino de estruturas*, Passo Fundo.

PORTO, Olívia. Psicopedagogia Institucional: teoria, prática e assessoramento

psicopedagógico. 3. ed. Rio de Janeiro: Wak Editora, 2009.

RODRIGUES, L. G. Um estudo sobre a Teoria das Inteligências Múltiplas, São Paulo, 2015.

SARAVALI, E.G., GUIMARÃES, K. P., Dificuldades de aprendizagem e conhecimento: um olhar à luz da teoria piagetiana, Olhar de professor, Ponta Grossa, 2007, Disponível em <<http://www.uepg.br/olhardeprofessor>>

SILVA, V. L. T., NISTA-PICCOLO, V. L. Dificuldade de aprendizagem na perspectiva das inteligências múltiplas: um estudo com um grupo de crianças brasileiras. São Paulo. Rev. Port. de Educação v.23 n.2 Braga 2010

SIMOR, M. T. B. , Mídias sociais na educação – aprendizagem mediada pela tecnologia, Porto Alegre –RS,2015.

SORIANO, H. L. Análise de Estruturas - Formulação Matricial e Implementação Computacional. [S.l.]: Ciência Moderna, 2005.

SUSSEKIND, J.C. Curso de Análise Estrutural. 7a edição. v.3. São Paulo. Editora Globo, 1974.

TAJRA, S. F. Informática na Educação. 5. ed. São Paulo: Érica, 2004.

VALENTE, J.A, Questão do Software: parâmetros para o desenvolvimento de Software Educativo, Campinas-SP, NIED - Memo N° 24, 1989.

VALENTE, J. A. O computador na sociedade do conhecimento, Coleção informática para mudança na educação, 1999.

VERCELLI, L. C. A. O trabalho do psicopedagogo institucional, Revista Espaço Acadêmico – N° 139 – Dezembro de 2012.

ANEXO A

Formulário inicial

Formulário para identificar os estilos de aprendizagem e o modo de aprendizagem sem o uso de ferramentas auxiliaadoras nesse processo

*Obrigatório

1. O modelo tradicional de aula (expositiva com resolução de exercícios) é **SUFICIENTE** para um bom aproveitamento da disciplina T2? * Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não é suficiente	<input type="radio"/>	é totalmente suficiente									

2. O uso de tecnologias variadas é benéfico à aprendizagem do conteúdo de T2? * Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não traz benefícios	<input type="radio"/>	é muito benéfico									

3. Como você avalia a eficiência da utilização dos seguintes procedimentos metodológicos para a sua aprendizagem *

Marcar apenas uma oval por linha.

	ótimo	muito bom	bom	regular	ruim
aula expositiva	<input type="radio"/>				
grupo de estudo	<input type="radio"/>				
apresentação de seminário	<input type="radio"/>				
laboratório	<input type="radio"/>				
debate de livros e artigos	<input type="radio"/>				
visita técnica;	<input type="radio"/>				
uso de ferramentas computacionais	<input type="radio"/>				
manipulação de material (kit mola)	<input type="radio"/>				

4. O acesso (internet, biblioteca, livrarias, etc) aos materiais com conteúdos relevantes à disciplina T2 é fácil? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
difícil acesso	<input type="radio"/>	fácil acesso									

5. De acordo com os estilos de aprendizagem a seguir, qual se enquadra em seu perfil?(pode ser marcada mais de uma alternativa) * Marque todas que se aplicam.

Sensorial: você tende a ser concreto e metódico, aprecia fatos?

10. **extensão do conteúdo** * Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não tem relação	<input type="radio"/>	tem relação										

11. **reconhecer por si só que os resultados da atividade estão certos** * Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não tenho dificuldade	<input type="radio"/>	tenho muita dificuldade										

12. **dificuldade de visualizar os esforços na estrutura quando a explicação se dá somente de forma teórica** *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não tenho dificuldade	<input type="radio"/>	tenho muita dificuldade										

13. **compreender os conceitos teóricos** * Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não tenho dificuldade	<input type="radio"/>	tenho muita dificuldade										

ANEXO B

Formulário final

*Obrigatório

1. O acesso à resultados parciais facilita na resolução e na compreensão de um exercício? *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não facilita	<input type="radio"/>	facilita muito									

2. O software de cálculo estrutural fornece os resultados finais do dimensionamento. Tenho GRANDE interesse no processo de obtenção dos resultados do software * Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não tenho interesse	<input type="radio"/>	tenho grande interesse									

3. Aprender a calcular uma estrutura manualmente é mais importante do que aprender a automatizar o processo de cálculo * Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
manualmente é mais importante	<input type="radio"/>	automatizar é mais importante									

4. O uso do software auxiliou no aprendizado do método dos deslocamentos? * Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não auxiliou	<input type="radio"/>	auxiliou muito									

5. O software apresenta o conteúdo de forma * Marcar apenas uma oval por linha.

	sim	não
lógica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ordenada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
sequencial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
clara	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. A estrutura e o uso do software são de fácil entendimento? * Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
difícil entendimento	<input type="radio"/>	fácil entendimento									

7. O conteúdo do software é coerente com a área e o nível de ensino proposto? * Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
não é coerente	<input type="radio"/>	é coerente										

8. Sugestões para o aperfeiçoamento do software * Marque todas que se aplicam.

- interface gráfica
- mecanismos que sinalizem o local do possível erro apresentação de
- conceitos do método dos deslocamentos apresentação de um roteiro
- para utilização do software

9. Outras sugestões de aperfeiçoamento do software

ANEXO C

Exemplo 1 de validação do programa.

Arquivo de entrada do programa “trelica”:

```

Programa para resolver treliça - Método dos deslocamentos
N de barras,n de nós,n nós apoiados,n nós com forças aplicadas
-----
3,3,3,1
-----
Barra, Área, Módulo de Elasticidade, nó inicial, nó final
-----
1,.0003,200000000.,1,3
2,.0003,200000000.,1,2
3,.0003,200000000.,3,2
-----
nó,Coord. X, Coord. Y
-----
1,0.,0.
2,1.,.8
3,1.,0.
-----
Nó Apoiado, Restrição X,Restrição Y
              (0- sem restrição, 1- com restrição)
-----
1,1,1
2,1,0
3,1,1
-----
Nó com força prescrita,Força em X, Força em Y
-----
2,0.,-60.
-----
Deseja imprimir as matrizes de rigidez das barras?
Barra, (0-não, 1-sim)
-----
1,1
2,1
3,1
-----
Deseja imprimir a Super Matriz completa? (0-não, 1-sim)
-----
1
-----
Deseja imprimir a Super Matriz reduzida? (0-não, 1-sim)
-----
1

```



```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 1
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 2
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      18.83
      -0.00
     -18.83
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 3
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      48.24
      0.00
     -48.24
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Reacoes de apoio
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
no      reacao x      reacao y
1         14.70         11.76
2        -14.70        -60.00
3           0.00         48.24

```

ANEXO D

Exemplo 2 de validação do programa

Arquivo de entrada do programa “treliça”

```

Programa para resolver treliça - Método dos deslocamentos
N de barras,n de nós,n nós apoiados,n nós com forças aplicadas
-----
5,4,2,1
-----
Barra, Área, Módulo de Elasticidade, nó inicial, nó final
-----
1,.0003,200000000.,1,2
2,.0003,200000000.,3,2
3,.0003,200000000.,4,2
4,.0003,200000000.,1,3
5,.0003,200000000.,3,4
-----
nó,Coord. X, Coord. Y
-----
1,0.,0.
2,1.,1.
3,1.,0
4,2.,0.
-----
Nó Apoiado, Restrição X,Restrição Y
              (0- sem restrição, 1- com restrição)
-----
1,1,1
4,1,1
-----
Nó com força prescrita,Força em X, Força em Y
-----
2,35.,-77.
-----
Deseja imprimir as matrizes de rigidez das barras?
Barra, (0-não, 1-sim)
-----
1,1
2,1
3,1

```

4,1
5,1

Deseja imprimir a Super Matriz completa? (0-não, 1-sim)

1

Deseja imprimir a Super Matriz reduzida? (0-não, 1-sim)

1

Deseja imprimir o vetor de forças completo? (0-não, 1-sim)

1

Deseja imprimir o vetor de forças reduzido? (0-não, 1-sim)

1

Deseja imprimir o vetor de desl. da estrutura? (0-não, 1-sim)

1

Deseja imprimir o vetor de desl. da barra?

Barra,(0-não, 1-sim)

1,1
2,1
3,1
4,1
5,1

Deseja imprimir o vetor de forcas. da barra no sistema global?

Barra,(0-não, 1-sim)

1,1

2,1
3,1
4,1
5,1

Deseja imprimir o vetor de forcas. da barra no sistema local?

Barra,(0-não, 1-sim)

1,1
2,1
3,1
4,1
5,1

Deseja imprimir as reacoes de apoio?

nó apoiado, (0-não, 1-sim)

1,1
4,1

Arquivo de saída do programa “treliça”

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Matriz de Rigidez da Barra 1
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      21213.20      21213.20      -21213.20      -21213.20
      21213.20      21213.20      -21213.20      -21213.20
     -21213.20     -21213.20      21213.20      21213.20
     -21213.20     -21213.20      21213.20      21213.20
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Matriz de Rigidez da Barra 2
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00      0.00      0.00      0.00
      0.00     60000.00      0.00     -60000.00
      0.00      0.00      0.00      0.00
      0.00     -60000.00      0.00     60000.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Matriz de Rigidez da Barra 3
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      21213.20     -21213.20     -21213.20      21213.20
     -21213.20      21213.20      21213.20     -21213.20
     -21213.20      21213.20      21213.20     -21213.20
      21213.20     -21213.20     -21213.20      21213.20
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Matriz de Rigidez da Barra 4
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      60000.00      0.00     -60000.00      0.00
      0.00      0.00      0.00      0.00
     -60000.00      0.00     60000.00      0.00
      0.00      0.00      0.00      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Matriz de Rigidez da Barra 5
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      60000.00      0.00     -60000.00      0.00
      0.00      0.00      0.00      0.00
     -60000.00      0.00     60000.00      0.00
      0.00      0.00      0.00      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

Matriz de Rigidez da Estrutura sem aplicacao das condicoes de contorno
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      81213.20      21213.20     -21213.20     -21213.20     -60000.00      0.00      0.00      0.00
      21213.20      21213.20     -21213.20     -21213.20      0.00      0.00      0.00      0.00
     -21213.20     -21213.20     42426.41      0.00      0.00      0.00     -21213.20     21213.20
     -21213.20     -21213.20      0.00     102426.41      0.00     -60000.00     21213.20     -21213.20
     -60000.00      0.00      0.00      0.00     120000.00      0.00     -60000.00      0.00
      0.00      0.00      0.00     -60000.00      0.00     60000.00      0.00      0.00
      0.00      0.00     -21213.20     21213.20     -60000.00      0.00     81213.20     -21213.20
      0.00      0.00     21213.20     -21213.20      0.00      0.00     -21213.20     21213.20

```

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Matriz de Rigidez da Estrutura COM aplicacao das condicoes de contorno
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      42426.41      0.00      0.00      0.00
      0.00     102426.41      0.00     -60000.00
      0.00      0.00     120000.00      0.00
      0.00     -60000.00      0.00     60000.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas sem aplicacao das condicoes de Contorno
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      35.00
     -77.00
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas COM aplicacao das condicoes de Contorno
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      35.00
     -77.00
      0.00
      0.00

```



```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema global da barra 2
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema global da barra 3
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
     -56.00
      56.00
      56.00
     -56.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema global da barra 4
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema global da barra 5
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 1
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
     29.70
      0.00
    -29.70
     -0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 2
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 3
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
     79.20
     -0.00
    -79.20
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 4
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      0.00
      0.00
      0.00
      0.00
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Vetor de forcas no sistema LOCAL da barra 5
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
      0.00
      0.00
      0.00
      0.00

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Reacoes de apoio
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
no      reacao x      reacao y
1          21.00      21.00
4          -56.00      56.00

```