



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Eduardo da Cunda Fernandes

DESIGN NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE INTERFACE:
Aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de
estruturas tridimensionais por barras

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2020

EDUARDO DA CUNDA FERNANDES

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de estruturas tridimensionais por barras

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre

2020

Catálogo da Publicação

Fernandes, Eduardo da Cunda

DESIGN NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DEINTERFACE:
Aprimorando o processo de modelagem em programas de análise
de estruturas tridimensionais por barras / Eduardo da Cunda
Fernandes. -- 2020.

230 f.

Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-
Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Design de Interface. 2. Análise Estrutural.
3. Modelagem Preditiva do Comportamento Humano. 4. Heurísticas
da Usabilidade. 5. KLM-GOMS. I. Teixeira, Fábio Gonçalves,
orient. II. Título.

FERNANDES, E. C. **Design no desenvolvimento de um projeto de interface:** aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

Eduardo da Cunda Fernandes

DESIGN NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE INTERFACE: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 31 de janeiro de 2020

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira**

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS (PGDesign-UFRGS)

Prof. Dr. Fernando Batista Bruno

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG-UFRGS)

Prof. Dra. Clariana Fischer Brendler

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG-UFRGS)

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS (PGDesign-UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Fábio Teixeira Gonçalves pela orientação, pelo conhecimento passado, pelas críticas construtivas, pela compreensão e pela paciência, com os quais foi possível enfrentar as dificuldades oriundas de um trabalho como uma dissertação.

Aos professores Régio Pierre da Silva e Tânia Luisa Koltermann da Silva que, além de participarem da banca, deram muito suporte, incentivo e foram fundamentais para a realização deste trabalho.

A banca examinadora, de um modo geral, pelas críticas construtivas e sugestões que permitiram contribuir muito para a qualidade da pesquisa.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a qualidade do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Design, os quais deram oportunidade e condições para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos colegas Fernando, Guilherme, Martina, Flora e Felipe pelas conversas e pelo apoio que ajudaram muito na conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Martha e Paulo, por todo suporte, amor, coragem, valores e exemplos de vida.

A minha irmã Luísa que, apesar da distância, é uma das pessoas mais importantes na minha vida, pelo apoio e pelo exemplo de que, com vontade, atitude, disposição e insistência é possível alcançar nossos sonhos mais distantes.

A minha noiva Thayse por me aguentar e apoiar nos momentos mais difíceis.

Ao meu enteado Guilherme pelos momentos de distração cujo valor é inestimável.

Ao meu sogro e sogra, Sérgio e Emelisa, por todo carinho e por todo exemplo de prestatividade que vejo ser dado todo dia.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) -Código de Financiamento 001”

RESUMO

FERNANDES, E. C. **Design no desenvolvimento de um projeto de interface:** aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

O presente trabalho tem por objetivo criar um protótipo de interface para um software de análise de estruturas tridimensionais por barras, promovendo a usabilidade e reduzindo a carga cognitiva dos usuários no processo de modelagem por meio das heurísticas de usabilidade e da modelagem preditiva do comportamento humano. Para tal, o levantamento bibliográfico compreende temas como Ergonomia, Usabilidade, Modelagem Preditiva do Comportamento Humano, Heurísticas de Usabilidade, Interface Gráfica do Usuário e levantamento de softwares de análise estrutural por barras, através dos quais se busca entender os procedimentos de modelagem estrutural. Para atingir o objetivo geral foram traçados objetivos específicos, os quais consistem na identificação e análise dos procedimentos de modelagem, na verificação de dificuldades de interação e proposição de alternativas para melhoria. A verificação das dificuldades foi realizada através da ferramenta KLM-GOMS (Keystroke-Level Model - Goals, Operators, Methods, Selection Rules), a qual apresenta uma metodologia para mensurar a carga cognitiva, através do tempo de interação necessário, de interação com uma interface para realização de atividades específicas) e das heurísticas da usabilidade. Para tal, foram estabelecidas atividades que deviam ser cumpridas pelos softwares selecionados, resultando em um grande volume de dados. A partir destes dados, foram desenvolvidas alternativas as quais foram concebidas iterativamente, e resultaram em 3 opções: a primeira sugere a mescla dos procedimentos adotados pelos softwares estudados, selecionando-se os que apresentaram os melhores resultados em termos de redução da carga cognitiva. A segunda alternativa abrange esses mesmos procedimentos, porém com melhorias realizadas de acordo com os problemas encontrados através dos tempos mensurados. E a terceira alternativa consiste em considerações de usabilidade, as quais resultam na concepção da reutilização de conceitos e na geração de alternativas diferentes para melhorar o desempenho da modelagem. Esta terceira alternativa da origem ao protótipo que é objetivo da pesquisa. Seu desenvolvimento foi realizado através do Adobe XD, uma ferramenta de prototipagem de interfaces. Durante a criação do protótipo todos os passos obtidos através do KLM-GOMS foram revisados e ajustados, passando de uma

ferramenta teórica para prática. O protótipo resultante diminuiu o tempo previsto de modelagem de uma estrutura em cerca de 33% em relação ao melhor resultado obtido pelos softwares estudados. As principais alterações referem-se à interação de modelagem geométrica, aplicação das restrições, e aplicação das cargas. Nessas duas últimas, o resultado foi um novo paradigma de modelagem, o qual apresenta, como principal característica, uma configuração visual e geométrica em detrimento dos formulários normalmente utilizados. Também foi realizada a implementação de catálogos de materiais e seções, os quais apresentam impacto significativo na redução da carga cognitiva.

Palavras-chave: Design de Interface. Análise Estrutural. Modelagem Preditiva do Comportamento Humano. Heurísticas da Usabilidade. KLM-GOMS. CAE.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

ABSTRACT

FERNANDES, E. C. **Design no desenvolvimento de um projeto de interface:** aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras. 142 f. Dissertação Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

The present work aims to create a prototype of an interface for software analysis of three-dimensional structures by bars, promoting usability and reducing the cognitive load of users in the modeling process through usability heuristics and predictive modeling of human behavior. To this end, the bibliographic survey comprises topics such as Ergonomics, Usability, Predictive Modeling of Human Behavior, Usability Heuristics, Graphical User Interface and survey of structural analysis software by bars, through which one seeks to understand the structural modeling procedures. To achieve the general objective, specific objectives were drawn up, which consist of the identification and analysis of the modeling procedures, the verification of interaction difficulties and the proposition of alternatives for improvement. The verification of difficulties was performed using the KLM-GOMS tool (Keystroke-Level Model - Goals, Operators, Methods, Selection Rules), which presents a methodology to measure the cognitive load, through the necessary interaction time, interaction with a interface for carrying out specific activities) and usability heuristics. To this end, activities were established that should be performed by the selected software, resulting in a large volume of data. From these data, alternatives are developed which were designed iteratively, and resulted in 3 options: the first suggests the mixture of the procedures adopted by the studied software, selecting the ones that presented the best results in terms of reducing the cognitive load. The second alternative covers these same procedures, but with improvements made according to the problems found through the measured times. And the third alternative consists of usability considerations, which result in the conception of the reuse of concepts and in the generation of different alternatives to improve the performance of the modeling. This third alternative from the origin to the prototype that is the objective of the research. Its development was carried out through Adobe XD, an interface prototyping tool. During the creation of the prototype, all steps obtained through KLM-GOMS were reviewed and adjusted, moving from a theoretical to a practical tool. The resulting prototype reduced the estimated time for modeling a structure by about 33% in relation to the best result obtained by the studied software. The main changes refer to the

interaction of geometric modeling, application of restrictions, and application of loads. In these last two, the result was a new modeling paradigm, which presents, as its main characteristic, a visual and geometric configuration to the detriment of the forms normally used. Catalogs of materials and sections were also implemented, which have a significant impact on reducing cognitive load.

Keywords: Interface Design. Structural Analysis. Predictive Modeling of Human Behavior. Usability Heuristics. KLM-GOMS. CAE.

This Study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) – Finance Code 001”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A interface simples do software Ftool, software de análise de estruturas 2D de barras.....	26
Figura 2 – A interface do Robot apresenta muitas informações.....	26
Figura 3 – Interdisciplinaridade da IHC.....	39
Figura 4 – Ciclo de desenvolvimento centrado no uso.....	43
Figura 5 – Visão geral do modelo humano de solução de problemas.....	44
Figura 6 – Visão mais detalhada da decisão e execução.....	44
Figura 7 – Diagrama da metodologia adotada no levantamento dos princípios de usabilidade.....	56
Figura 8 – Exemplo de Ícone retirado do Ftool, cuja função é ativar a ferramenta para criar uma carga concentrada em um nó.....	61
Figura 9 – Exemplo de Menu retirado do programa Robot da Autodesk.....	62
Figura 10 – Exemplo de barras de ferramentas retirado do programa Inventor da Autodesk..	62
Figura 11 – Exemplo de formulário utilizado no programa TRAME.....	63
Figura 12 – Exemplo de caixa de diálogo retirado do software Ftool.....	63
Figura 13 – Processo linear de modelagem.....	68
Figura 14 – Processo não-linear de modelagem.....	68
Figura 15 – Diagrama e relação das etapas previstas para a pesquisa.....	72
Figura 16 – Quantidade de passos para a realização das Atividades 1.....	88
Figura 17 – Dimensões da seção W200x22,5 e da seção retangular 20x25.....	90
Figura 18 – Quantidade de passos para a realização das Atividades 2.....	90
Figura 19 – Pórtico Plano e Pórtico Espacial utilizados para a modelagem nos softwares 2D e 3D respectivamente.....	92
Figura 20 – Quantidade total e unitária de passos para a realização da Atividade 3.....	93
Figura 21 – Identificação dos nós para aplicação das restrições na modelagem 2D.....	94
Figura 22 – Identificação dos nós para aplicação das restrições na modelagem 3D.....	95
Figura 23 – Quantidade total e unitária de passos para a realização da Atividade 4.....	95
Figura 24 – Esquema do lançameto nos pórticos planos, realizada no Ftool.....	97
Figura 25 – Esquema do lançameto nos pórticos planos, realizada no Robot.....	97
Figura 26 – Quantidade total e unitária de passos para a realização da Atividade 5.....	98
Figura 27 – Modelo de área de trabalho do Inventor após todas as atividades realizadas.....	106

Figura 28 – Modelo de área de trabalho do SAP2000 após todas as atividades realizadas ...	106
Figura 29 – Modelo de área de trabalho do Robot após todas as atividades realizadas	107
Figura 30 – Conceito para criação e definição de seções do TRAME	107
Figura 31 – Conceito excessivamente simples do Ftool para modelagem das seções	108
Figura 32 – Conceito do Robot mais atraente, porém pouco eficiente na comparação com o TRAME	108
Figura 33 – Objetos de auxílio para a modelagem da geometria da estrutura.....	109
Figura 34 – Formulário para configuração e entrada das coordenadas para criação do objeto cubo.....	110
Figura 35 – Formulários para aplicação e definição de novas restrições no Robot	110
Figura 36 – Aba para configuração das restrições no TRAME.....	110
Figura 37 – Formulários do SAP2000 para utilização das restrições.....	111
Figura 38 – Formulário para entrada de dados de cargas pontuais em barras no SAP2000 ..	112
Figura 39 – Formulário para entrada de dados de cargas distribuídas em barras no SAP2000	112
Figura 40 – Formulário do Robot para seleção do tipo de carga que será realizado.....	113
Figura 41 – Formulários do Robot para preenchimento de cargas concentradas em nós e barras.....	113
Figura 42 – Formulários do Robot para modelagem de cargas distribuídas em barras.....	113
Figura 43 – Linha de comando existente no Autodesk AutoCAD	120
Figura 44 – Árvores de inspeção de elementos do Robot e do Inventor	122
Figura 45 – Representação 2D das restrições seguindo convenção	124
Figura 46 – Representação das restrições em 3D baseadas nas 2D.....	124
Figura 47 – Página inicial do protótipo desenvolvido	128
Figura 48 – Formulário para seleção ou criação de um aço	130
Figura 49 – Formulário para seleção ou criação de um concreto	131
Figura 50 – Formulário para definição ou criação de seções I.....	132
Figura 51 – Formulário para definição ou criação de seções retangulares.....	133
Figura 52 – Implementação de Geometrias de Apoio, Modificar e Camadas.....	134
Figura 53 – Barra de comando durante o preenchimento de um vértice na execução do comando Caixa	135
Figura 54 – Abas de visualização apresentam 3 planos além do visualização em perspectiva	136
Figura 55 – Aba de visualização Perspectiva	136

Figura 56 – Cabeçado da árvore de inspeção	137
Figura 57 – Nichos utilizados para conversão de Linhas em Barras, e também para definição de barras e nós sem auxílio de Geometrias de Apoio	137
Figura 58 – Exemplo de resultado após a conversão de linhas em barras.....	137
Figura 59 – Etapa de configuração da restrição	139
Figura 60 – Etapa de seleção de nós para aplicação da restrição configurada	139
Figura 61 – Formulário de configuração de carregamento.....	140
Figura 62 – Formulário de configuração de carregamento.....	141
Figura 63 – Formulário de configuração da direção da carga nodal	142
Figura 64 – Formulário de configuração da magnitude da força nodal.....	142
Figura 65 – Formulário de configuração de uma carga distribuída.....	143
Figura 66 – Formulário de configuração geométrica de uma carga distribuída.....	144
Figura 67 – O local para configuração dos botões de Cargas-Padrão são situados ao lado das cargas	144
Figura 68 – Modelagem da estrutura realizada no protótipo.....	145
Figura 69 – Tempo dispendido pela modelagem em cada software considerando os tempos unitários	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Operadores no modelo KLM.....	50
Quadro 2 – Heurísticas de utilização do operador M.....	52
Quadro 3 – Descrição de dois dos métodos que podem ser utilizados para edição de palavras no Microsoft Word®	54
Quadro 4 – Outros operadores levantados para o modelo KLM-GOMS	55
Quadro 5 – Descrição da atividade 1, que compreende a definição de um material, bem como definição de qual material deve ser configurado nesta tarefa, seguido das especificações técnicas que devem ser utilizadas.....	76
Quadro 6 – Simplificação da organização das ramificações das fichas para catalogação	82
Quadro 7 – Resumos dos tempos necessários para realização das atividades propostas	101
Quadro 8 – Graduação dos tempos, onde 10 significa melhor desempenho, e 0 o pior.....	101
Quadro 9 – Verificação das Heurísticas em cada software	104
Quadro 10 – Tempos mensurados para as Alternativas desenvolvidas.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de definição do passo-a-passo para a atividade de definição de material pelo Ftool	78
Tabela 2 – Exemplo de quantificação do passo-a-passo para a atividade de definição de material pelo Ftool	80
Tabela 3 – Passos para configurar carga-padrão	125
Tabela 4 – Tempo para chamada de carga-padrão previamente configurada	125

LISTA DE SIGLAS

2D – Duas Dimensões

3D – Três Dimensões

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAD – Computer-Aided Design

CAE – Computer-Aided Engineering

CAM – Computer-Aided Manufacturing

GOMS – Goals, Operator, Methods, Selection Rules

GPU – Graphical Processor Unit

GUI – Graphical User Interface

IDE – Integrated Development Environment

IEA – International Ergonomics Association

IHC – Interação Humano-Computador

ISO – Internation Organization for Standardization

KLM – Keystroke Level Mode

NBR – Norma Brasileira

UI – User Interface

UX – User Experience

VCL – Visual Component Library

LISTA DE SÍMBOLOS

l_D – comprimento total da soma de todos os segmentos de linhas

n_D – quantidade de segmentos de linhas

D – Operador que descreve o ato de desenhar linhas retas

H – Operador que descreve a mudança das mãos de um dispositivo físico para outro

M – Operador que descreve o tempo que uma pessoa gasta para se preparar para executar uma ação

K – Operador que descreve pressionamento de botão ou tecla

K_s – Operador que descreve pressionamento de botões que compõe comandos abreviados

P – Operador que descreve o ato de apontar o ponteiro do mouse para um objeto

PAN – Operador que descreve o pressionamento da roda do mouse para mover a área de trabalho na tela

R – Operador que descreve o tempo de espera para o sistema responder à uma ação solicitada

SC – Operador que descreve a utilização do *scroll* do mouse

t – tempo, em segundos

T_D – tempo total gasto, sem segundos, relacionado com o operador D durante uma tarefa

T_e – tempo de execução

T_H – tempo total gasto, sem segundos, relacionado com o operador H durante uma tarefa

T_M – tempo total gasto, sem segundos, relacionado com o operador M durante uma tarefa

T_K – tempo total gasto, sem segundos, relacionado com o operador K durante uma tarefa

T_P – tempo total gasto, sem segundos, relacionado com o operador P durante uma tarefa

T_R – tempo total gasto, sem segundos, relacionado com o operador R durante uma tarefa

Z – Operador que descreve dar *zoom* através do mouse, sendo sua prática através do pressionamento do botão direito e depois movimento do mouse para ampliar ou diminuir o *zoom*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 A IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE ESTRUTURAL E SUA APLICAÇÃO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	22
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO	24
1.3 DEMARCAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS OBJETIVAS	28
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	30
1.5 PROBLEMA DE PESQUISA	33
1.6 HIPÓTESE.....	33
1.7 OBJETIVOS	33
1.7.1 Objetivo principal	33
1.7.2 Objetivos secundários	33
1.8 JUSTIFICATIVAS	34
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	38
2.1 INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR	38
2.2 ENGENHARIA DE USABILIDADE	41
2.2.1 Modelagem preditiva do comportamento humano.....	45
2.2.1.1 Goals, Operators, Methods and Selection Rules - GOMS	46
2.2.1.2 KLM-GOMS	47
2.2.2 As heurísticas da usabilidade	56
2.2.3 Abordagem ao problema de usabilidade	58
2.3 PROJETO DE AVALIAÇÃO E PLANO DE TESTES.....	59
2.4 INTERFACE GRÁFICA DO USUÁRIO – GUI	60
2.5 CAMADA DE INTERFACE COM USUÁRIO	63
2.6 PROCESSO DE MODELAGEM.....	65
2.6.1 Observações	67
2.7 VALIDAÇÃO DE ARTEFATOS	70
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	72
3.1 PRIMEIRA ETAPA: COMPREENSÃO.....	74
3.2 SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE	79
3.3 TERCEIRA ETAPA: PROPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO.....	82

3.4 QUARTA ETAPA: REFINO E MODELO FINAL	84
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
4.1 COMPREENSÃO DOS PROCEDIMENTOS DE MODELAGEM.....	86
4.1.1 Atividade 1 – Definição dos Materiais.....	87
4.1.2 Atividade 2 – Definição das Seções	89
4.1.3 Atividade 3 – Desenho da geometria da estrutura	91
4.1.4 Atividade 4 – Configuração das Restrições	94
4.1.5 Atividade 5 – Configuração das Cargas.....	96
4.2 ANÁLISE DAS MODELAGENS	99
4.3 PROPOSIÇÃO DE UM NOVO MODELO DE INTERAÇÃO.....	114
4.3.1 Alternativa 1	116
4.3.2 Alternativa 2	116
4.3.3 Alternativa 3	118
4.4 IMPLEMENTAÇÃO E REFINO DO PROTÓTIPO FINAL	126
4.4.1 Página principal/inicial.....	127
4.4.2 Criação e definição de materiais.....	130
4.4.3 Criação e definição de seções	132
4.4.4 Procedimento de modelagem geométrica	134
4.4.5 Configuração das restrições	138
4.4.6 Definição dos carregamentos e atribuição das cargas	140
4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	145
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	150
REFERÊNCIAS.....	155
APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DE SOFTWARES PARA ANÁLISE ESTRUTURAL POR BARRAS	161
APÊNDICE B – LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO DOS PASSOS DE MODELAGEM	170
APÊNDICE C – LEVANTAMENTO DA CARGA COGNITIVA (KLM-GOMS)	210
APÊNDICE D – PASSOS E CARGAS COGNITIVAS MENSURADAS, COM KLM- GOMS, DURANTE A GERAÇÃO DA ALTERNATIVA 2.....	216
APÊNDICE E – KLM-GOMS DA ALTERNATIVA 3 / PROTÓTIPO FINAL.....	224

1 INTRODUÇÃO

No projeto de edificações ou produtos, uma das etapas mais importantes que devem ser consideradas é a análise da estrutura em estudo, objetivando verificar sua viabilidade e/ou otimizá-la, seja com fins construtivos ou em função de seus gastos, considerando inclusive as questões logísticas. Inicialmente, como mostram as grandes construções e monumentos erigidos pelos egípcios, gregos e romanos, a análise de uma estrutura era realizada através dos conhecimentos oriundos da própria experiência do construtor. Com o tempo, diversas ferramentas, atualmente consideradas triviais, tal qual o caso do sistema numérico decimal e dos teoremas e leis que, posteriormente, dão bases para origem da teoria das estruturas¹. A partir de então é que a análise estrutural passa a ser utilizada teórico-racionalmente. Hoje, o resultado desses avanços é aplicado computacionalmente com vistas na necessidade de soluções cada vez mais rápidas de sistemas estruturais cada vez mais complexos.

A análise estrutural é uma atividade complexa devido seu teor físico-numérico, e apesar de haver softwares no mercado que busquem mitigar as dificuldades provenientes disso, existem outros aspectos que não são considerados de maneira apropriada nesses sistemas. Neste ponto sugere-se que o design apresenta as disciplinas necessárias para aprimorar esses programas, facilitando o desenvolvimento das atividades profissionais dos engenheiros estruturais, através do design de interface.

O design, assim como a engenharia, busca melhorar produtos. Enquanto a engenharia estrutural, por exemplo, trabalha para otimizar uma estrutura, o design procura melhorar e/ou desenvolver produtos. O objetivo do design de interface, por exemplo, é aumentar a produtividade dos usuários de algum produto, buscar soluções inovadoras, reduzir custos, prever falhas e resolver problemas (BAXTER, 2000). Em outras palavras, busca desenvolver uma solução que facilite a interação de uma interface, otimizando e estimulando seu uso.

¹ Uma definição para Teoria das Estruturas não pôde ser encontrada, apesar de ser citada com frequência na bibliografia que trata de estudos sobre as estruturas. Apesar disso, baseando-se no livro Teoria das Estruturas (CAMPANARI, 1985) nota-se que ela abrange todos os conhecimentos adquiridos que partem desde o estudo de esforços solicitantes (forças e momentos), vinculações (apoios simples, duplos, engastes), classificação e sistemas de estruturas (isostática, hipostática, hiperestática) e métodos para o cálculo de estruturas.

1.1 A IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE ESTRUTURAL E SUA APLICAÇÃO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

O projeto de uma estrutura visa desenvolver um artefato digital com a finalidade de verificar se ela é capaz de satisfazer a necessidade para qual é destinada, considerando questões de segurança, utilização, estética, fatores econômicos e ambientais. Para tal devem ser respeitadas condições técnicas construtivas, normas e restrições legais. O produto é um artefato digital com todas as especificações necessárias para construção, tais como documentações de especificação de materiais, cálculos, montagens, locação, desenhos e todos detalhamentos necessários (MARTHA, 2017a).

Por conseguinte, a análise estrutural, propriamente dita, é a fase cujo desenvolvimento deve ser meticuloso, preciso e completo, com todas as dificuldades inerentes de atividades complexas de cálculos físicos e matemáticos. Isto, pois, é onde ocorre a idealização do comportamento da estrutura, e cujo cálculo deve comportar diversas fases de construção e montagens, considerando tensões, deformações e deslocamentos na estrutura. O objetivo da análise estrutural é determinar os esforços internos (esforços cortantes, momentos fletores, etc) e externos (como cargas e reações), e suas correspondentes tensões, deslocamentos e deformações específicas e globais. Estas análises devem ser feitas para cada estágio de carregamentos e solicitações que a estrutura pode sofrer durante sua vida útil, devendo ser previstos pelo profissional (MARTHA, 2017a).

O projeto estrutural e a análise estrutural, como resultado racional da Teoria das Estruturas, têm origem na década de 1930, época em que métodos matriciais passam a ser utilizados na indústria aeronáutica, métodos os quais são adotados atualmente nos softwares de análise estrutura por barras. Esses métodos foram desenvolvidos para resolver equações de aeroelasticidade, buscando solucionar os problemas de vibração nos aviões da época, que passavam por rápidas evoluções para aumentar velocidade e autonomia. Neste período, os aviões eram superdimensionados em relação à resistência de seus componentes, sem análise estática de tensões da estrutura e, portanto, os defeitos mais recorrentes eram relacionados à propulsão e aerodinâmica (FELIPPA, 2001).

O desenvolvimento da análise estática tem origem na 2ª Guerra Mundial, época em que a velocidade, as manobras aéreas e os danos estruturais passavam a ser pontos fundamentais a

serem considerados, porém poucas informações a esse respeito foram liberadas nesse período. Na sequência, aplicações cada vez mais avançadas eram necessárias e, concomitantemente, recursos computacionais foram sendo desenvolvidos, bem como novos modelos de cálculo numérico-matemáticos capazes de otimizar cada vez mais o processamento. O resultado é a análise matricial através do método da rigidez direta, método numérico usado até os dias de hoje em softwares de análise estrutural, e que passou a ser utilizado também no cálculo de estruturas relacionadas a construção civil, finalmente expandindo-se a análise estrutural por computador além da indústria aeroespacial (FELIPPA, 2001).

Alguns autores atribuem o início da aplicação do computador aos problemas de engenharia a partir da década de 1960 (ELLWANGER, 2006). Isto ocorre pois durante a 2ª Guerra Mundial, seguida da Guerra Fria, era fundamental manter em sigilo o desenvolvimento de ferramentas tão importantes quanto computadores, e por isso poucas referências são encontradas (FELIPPA, 2001). O destaque, portanto, ocorre com a criação de sistemas como o STRESS (desenvolvido em 1964 no MIT, programa para análise estática linear de estruturas reticuladas, i.e., estruturas formadas por barras retas), o ICES-STRUDL (desenvolvido em 1968 no MIT, programa para análise através de elementos finitos) e o NASTRAN (criado pela NASA em 1971 para análises de estabilidade, estática e dinâmica) (ELLWANGER, 2006; FENVES *et al.*, 1964; MACNEAL, 1974; WELLS, 1967).

Este período pode ser destacado muito mais pelas evoluções computacionais do que pelas questões teóricas ou práticas da simulação. Apesar disso, não foram só os avanços na computação que tiveram grande importância nas simulações numéricas. O constante desenvolvimento dos algoritmos numéricos também colaborou consideravelmente no aumento da eficiência computacional. De 1949 até 2018, a capacidade dos computadores de realizarem operações aumentou mais de um quadrilhão de vezes (GARRETT, 2018; SCHÄFER, 2006). Isto resulta na possibilidade de realizar simulações mais realistas, bem como proporcionar a capacidade de focar em outros aspectos que visam melhorar a análise estrutural, bem como, a interação e a interface dos softwares.

Dentro do contexto da análise estrutural por computador, os softwares devem apresentar certas características capazes de suprir satisfatoriamente os requisitos inerentes a análise estrutural, bem como a sua utilização pelo profissional capacitado. Dentre elas está a capacidade de simular estruturas complexas para análise e otimização, apresentar capacidade de ser utilizado

com diversos propósitos, dispor de algoritmos robustos e eficientes, oferecer confiabilidade e capacidade de cálculo numérico-computacional, e ainda permitir que sejam realizadas as devidas operações de modo amigável pelo usuário (GU *et al.*, 1999).

Percebe-se, através da pesquisa de Gu *et al.* (1999), que começa a aparecer preocupação com usuário, uma vez que a satisfação deste passa a ser uma das variáveis que mais causa impacto no uso dos softwares de cálculo estrutural em detrimento da velocidade de processamento ou dos métodos teóricos utilizados. Como afirma Kurrer (2012), as mudanças na disciplina de análise estrutural começam pela moderna mecânica das estruturas – entendida como a possibilidade de realizar análises mais complicadas graças as melhorias nos computadores e algoritmos – redefinindo o cálculo estrutural, adicionando as etapas de anteprojeto, cálculo, dimensionamento e detalhamento visando o uso, reuso, reparos e disposição do produto gerado. Ou seja, a disciplina de análise estrutural ultrapassa a simples análise, e passa a ser considerada como uma etapa mais completa dentro de todo processo de projeto de produto. Ainda que este último autor apresente outra ênfase em seu livro, esta afirmação chama atenção ao aumento de trabalho ao engenheiro estrutural, o que também reforça a necessidade de facilitar as atividades que são exercidas por este profissional.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente existem diversos softwares para análise estrutural, dos quais pode-se facilmente perceber que seus objetivos se situam na capacidade de realizar as mais diversas e complexas análises estruturais possíveis – ver Apêndice A, página XX, para a lista de softwares levantados por este pesquisador. Isso é resultado da alta demanda de tais funcionalidades, o que por sua vez é resultado da importância e difusão da atividade de análise estrutural. Contudo, nota-se que a integração das diversas ferramentas de análise dentro de um software torna seu uso complexo e trabalhoso, especialmente quando se analisa que a interação destes chega a ficar, em alguns casos comprometida, especialmente, para usuários iniciantes.

Apesar disso, é possível encontrar alguns poucos desenvolvedores que afirmam considerar a facilidade no uso de seu software como um dos fatores-chave em seu desenvolvimento. Um exemplo é o iStructure®, da Daystar®, que afirma apresentar um corpo de engenheiros de

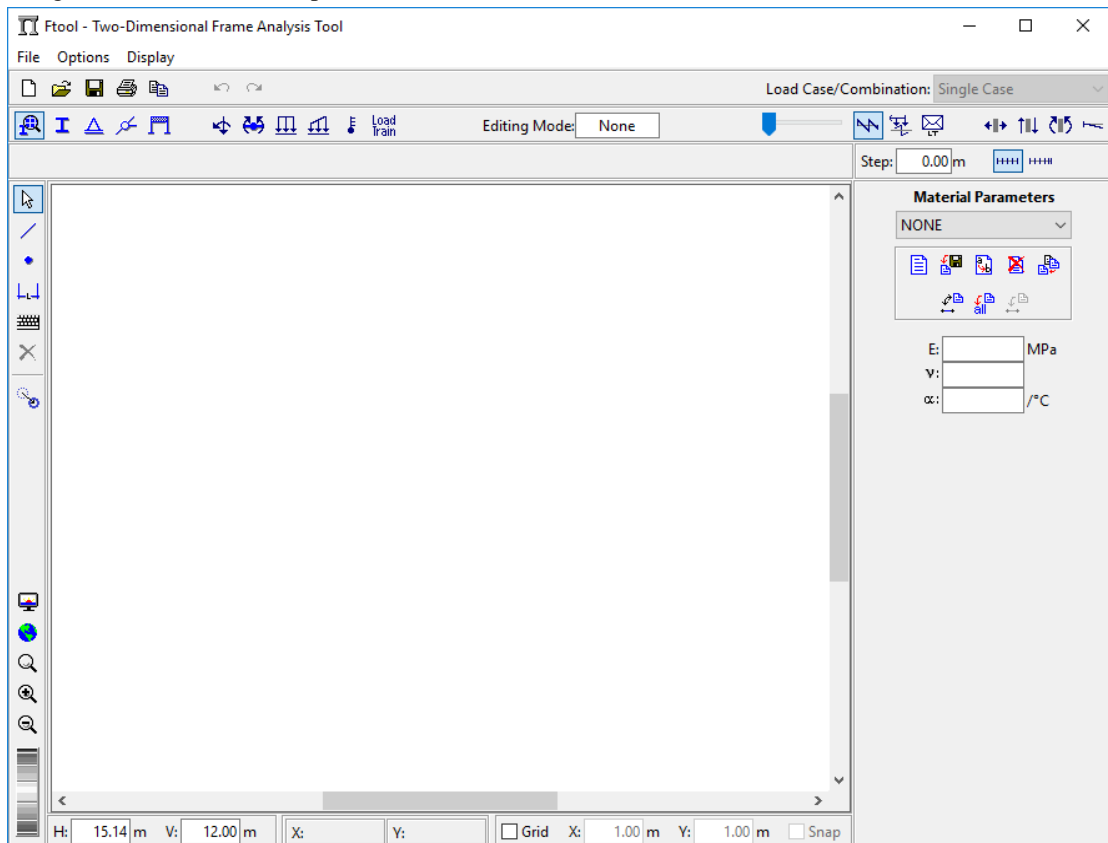
usabilidade, e que “(...) por isso, seu software é realmente o de mais fácil uso” (DAYSTAR SOFTWARE INC, 2019).

Dos softwares mais populares conhecidos, poucos são adotados nas universidades para auxiliar no ensino das disciplinas de análise estrutural. Os exemplos mais usados são o Ftool (MARTHA, 2017b) e o TRAME (ORMONDE; SOUZA, 2018), os quais tratam-se de softwares simplificados e que trabalham com a modelagem de estruturas em 2D. Os demais softwares, especialmente os mais usados no mercado de trabalho, costumam especializar-se em estruturas 3D de concreto ou metálica, e chegam a incluir inclusive ferramentas para gerar detalhamento das peças estruturais resultantes da simulação. Deste último caso, se destacam os softwares TQS (TQS INFORMÁTICA LTDA, 2019) e Eberick (ALTOQI, 2019), por exemplo.

O resultado é que os softwares adotados nas universidades apresentam ferramentas básicas e apresentam interface simples (figura 1), enquanto os utilizados nos escritórios de projeto estrutural apresentam alto grau de complexidade, especialmente o excesso de menus (figura 2). Ainda que sejam feitos para usuários avançados, esses softwares mais complexos indicam baixo enfoque no desenvolvimento das interfaces considerando as disciplinas de Design, pois apresentam diversos problemas, em especial quando analisados sob a perspectiva das Heurísticas da Usabilidade. O resultado são softwares que apresentam as ferramentas necessárias, e qualquer profissional com tempo pode aprender a manuseá-los, porém não apresentam boa usabilidade.

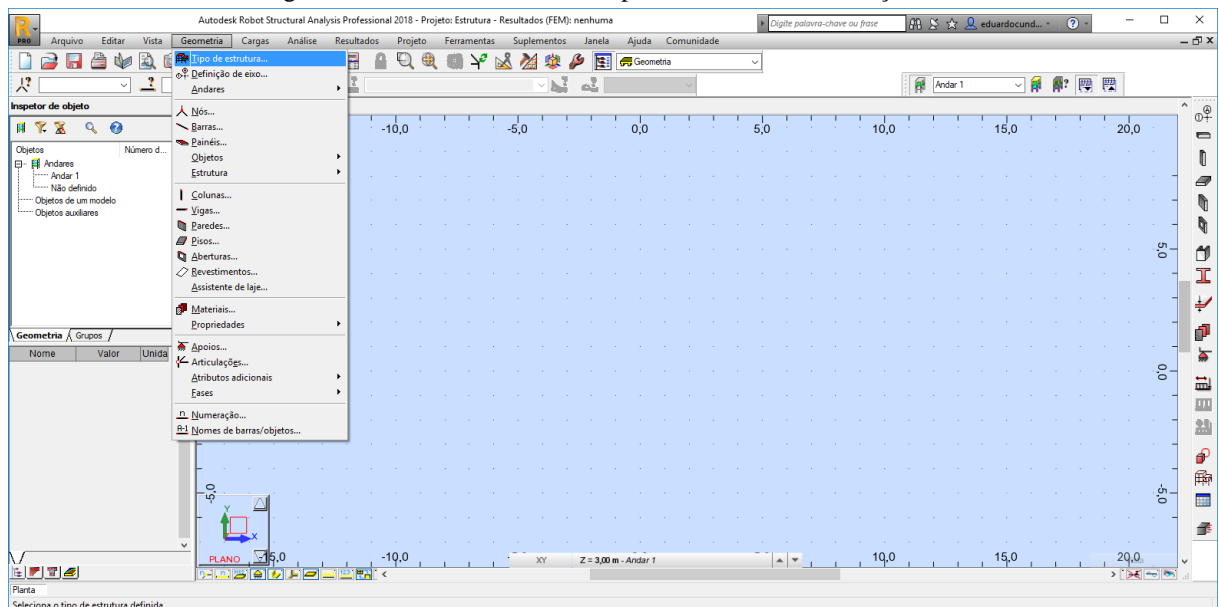
Uma das maneiras de aumentar a usabilidade de interfaces é através de ferramentas de predição do comportamento humano. Estas ferramentas buscam modelar os métodos que os usuários podem utilizar para desenvolver certas atividades, permitindo mensurar o tempo gasto por eles. Os resultados são dados que refletem a carga cognitiva necessária, e permitem verificar aspectos que podem ser melhorados nas interfaces de softwares. Uma das ferramentas adotadas pela comunidade científica para tal função é o KLM-GOMS (CARD; MORAN; NEWELL, 1980).

Figura 1 – A interface simples do software Ftool, software de análise de estruturas 2D de barras



Fonte: Martha (2017)

Figura 2 – A interface do Robot apresenta muitas informações



Fonte: Autodesk (2017a)

O KLM-GOMS, Keystroke-Level Model – Goals, Operators, Methods, Selection Rules, é utilizado para prever o tempo para realização de tarefas, e é baseado em um conjunto de operadores físicos e mentais, os quais incluem digitação de teclas, pressionamento de botões, movimento do ponteiro do mouse na tela, trocas entre mouse e teclado e, inclusive, tempo gasto para decisões. Para cada operador é atribuído um tempo baseado em pesquisas empíricas, sendo que o tempo previsto para realizar determinada tarefa pode ser determinado adicionando os tempos para cada operador individualmente (USER EXPERIENCE PROFESSIONALS' ASSOCIATION, 2012).

Apesar de não ser uma ferramenta muito conhecida no Brasil, ou pelo menos não foram encontradas pesquisas brasileiras que adotem o KLM-GOMS, ela apresenta uma série de pesquisas relacionadas. Uma pequena parte delas busca incrementar suas funcionalidades, criando novos operadores que descrevem ações que o usuário pode realizar através de computadores (CARD; MORAN; NEWELL, 1983; RAMKUMAR *et al.*, 2017; REITMAN OLSON; OLSON, 1990). A maior parte, especialmente as pesquisas mais recentes, buscam adaptar o KLM-GOMS aos telefones celulares, buscando adaptar ou criar novos operadores para a maneira como se interagem com eles (DUNLOP; MONTGOMERY MASTERS, 2008; HOLLEIS *et al.*, 2007; HOLLEIS; SCHERR; BROLL, 2011; LI *et al.*, 2011; LIU; RÄIHÄ, 2010; SAD; POIRIER, 2009), ou utilizam e adaptam o KLM-GOMS nos sistemas informativos de veículos (ELWART; GREEN; LIN, 2015; GREEN; KANG; LIN, 2015; KANG *et al.*, 2013; KO *et al.*, 2011; PETTITT; BURNETT, 2010; PETTITT; BURNETT; STEVENS, 2007). Também se encontra pesquisas que utilizam o KLM em jogos (LEE *et al.*, 2015), navegação na rede (SPALTEHOLZ, 2012) e que buscam melhorar a interação para pessoas com deficiências (GINN, 2016; SCHREPP, 2010; TONN-EICHSTÄDT, 2006).

Pode-se perceber, portanto, que o KLM-GOMS é uma ferramenta bastante estudada, porém com poucas aplicações a softwares computacionais, especialmente em áreas especializadas, como por exemplo na medicina (ESTEVES *et al.*, 2007; RAMKUMAR *et al.*, 2017) e engenharia, a qual não foram encontradas pesquisas.

É no contexto de demanda do engenheiro de estruturas e de inexistência de pesquisas na área, que este trabalho se desenvolve. Isto posto, visando destacar a abrangência e os problemas recorrentes de modelagem estrutural, desenvolvem-se as seções a seguir que realiza uma

demarcação das ocorrências objetivas, seguido da delimitação da pesquisa, e finalizando o capítulo com a apresentação do problema da pesquisa, hipótese, objetivos e justificativas.

1.3 DEMARCAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS OBJETIVAS

A análise estrutural de estruturas reticuladas é realizada de modo mais prático, rápido e com menor custo computacional através de softwares de análise por barras. A busca por softwares que façam essa análise revela diversos programas no mercado, porém apenas os mais simples – como realizar apenas cálculos de estruturas em 2D – costumam apresentar versões livres. Os demais costumam apresentar outras finalidades, tais como análises de tensões, e dimensionamento e detalhamento de estruturas específicas – como, por exemplo, concreto armado ou aço, ver Apêndice A, página XX. Até mesmo por conta destas funcionalidades avançadas, estes softwares acabam apresentando alto custo de aquisição.

O acúmulo de funções nos softwares de análise estrutural, apesar de aumentar a complexidade do software, é conveniente aos engenheiros na medida que reúne as ferramentas em um único ambiente de trabalho. As mais diversas funções adjacentes à análise fazem parte da prática profissional no contexto atual, porém agrega demasiado valor aos programas. Além disso, devido ao excesso de ferramentas básicas desejadas, muito se gasta na implementação destes recursos e suas melhorias funcionais, enquanto pouco se aposta na melhoria da interface para facilitar o trabalho e aumentar a produtividade.

Os softwares de distribuição livre encontrados apresentam como objetivo sua utilização no ensino de disciplinas relacionadas ao cálculo de estruturas, e por este motivo apresentam funcionalidades reduzidas, como análises apenas em 2D, ou interfaces pouco trabalhadas. Suas ferramentas apresentam todos os requisitos básicos para funcionamento, e é importante destacar que são eficientes. Frequentemente, porém, falham em alguns aspectos, como por exemplo dificuldade na visualização do *feedback* de comandos ou dificuldade na representação e visualização dos eixos de coordenadas. As interfaces destes softwares apresentam diversos problemas, sendo destaque, por exemplo, a ausência de uma convenção nos ícones adotados. Para cada função, é comum cada programa adotar um ícone diferente.

Ainda podem ser encontrados diversos outros problemas nos mais diversos âmbitos. Há uma certa padronização dos programas no sentido de lançamento de nós e linhas onde estes apenas podem ser lançados através de formulários de entrada de coordenadas ou com a utilização de grid. A adoção de ferramentas de desenho – e edição – mais dinâmicas como as utilizadas em programas CAD não costumam estar presentes nestes softwares, o que em diversas ocasiões dificulta o lançamento das estruturas. Essa dificuldade se acentua na medida que, antes de se aprender a utilizar softwares de análise de estruturas, os estudantes aprendem primeiramente a lidar com os softwares CAD.

Alguns problemas, porém, são exclusivos dos programas em 3D devido sua natureza gráfica. O lançamento e representação das vinculações externas em 2D costuma ser padronizada, e por este motivo fácil. Em contrapartida, nos programas em 3D, até mesmo pelo excesso de possibilidades de configurações, entender o significado das vinculações externas através de sua representação gráfica costuma ser difícil caso não haja experiência prévia do usuário com o software. Além do mais, não é possível se chegar ao entendimento do significado gráfico de modo intuitivo, especialmente por não apresentarem representações próximas as utilizadas nas representações 2D, que são as mesmas utilizadas convencionalmente no ensino das disciplinas relacionadas à análise estrutural.

Outro transtorno relacionado com a modelagem pode ser encontrado com a frequente necessidade de repetição dos mais diversos comandos de modelagem, tais como mais de uma seção ou materiais, vinculações externas diferentes, configurações, tipos e valores de cargas, etc. Essas repetições são difíceis de serem chamadas novamente após terem sido realizadas outras ações. Em alguns softwares é necessário inclusive realizar nova configuração antes de reativar a ação.

Quanto às cargas, materiais e seções, os problemas referem-se especialmente aos formulários de preenchimento, os quais apresentam, frequentemente, demasiados dados e não fazem uso das capacidades gráficas à disposição atualmente. As cargas concentradas, por exemplo, frequentemente não podem ser atribuídas à certos pontos em barras ou nós em uma mesma ativação da função, precisando que o usuário diga anteriormente se ela será aplicada a nós ou barras. Especialmente nos softwares 2D, cargas concentradas sequer podem ser aplicadas em barras, por exemplo, devido as suas simplificações. Enquanto isso materiais e seções acabam apresentando interfaces com excesso de informações que retardam o processo de modelagem.

Essa etapa é problemática especialmente devido aos diferentes valores que normas utilizam tanto na caracterização de materiais quanto nas especificações das seções. Assim, valores médios acabam sendo frequentemente adotados, apresentando pequenas diferenças em relação aos que deveriam ser adotados de acordo com normas. Além disso, as diferentes caracterizações apresentadas nas normas acabam favorecendo a necessidade grandes bancos de dados, dificultando o acesso a determinada configuração desejada.

Sendo assim, nota-se que diversos são os aspectos dos processos de modelagem em softwares de análise estrutural que necessitam mais pesquisas na busca por novas soluções capazes de facilitar a atividade de modelagem. Alguns métodos eficientes já existem, especialmente em termos de criação de ferramentas que façam pré-lançamento de estruturas de galpões, ou modulação de estruturas de um modo geral. Estes tipos de ferramentas estão presentes em softwares comerciais como o SAP2000 (CSI, 2017) e o Robot (AUTODESK, 2017a). Apesar disso, ainda são diversos os aspectos de modelagem estrutural, especialmente sobre as etapas básicas, que apresentam grande potencial no aperfeiçoamento nos softwares, e resultariam no aumento da usabilidade da modelagem e maior produtividade dos profissionais.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A análise estrutural é uma disciplina muito ampla da engenharia de estruturas. Pode-se realizar diversos tipos de análises, bem como utilizar diferentes métodos que simplificam uma estrutura para realizar seu respectivo cálculo. Assim, esta pesquisa trata somente do processo de modelagem e da entrada de dados através da interface de um software de análise de estruturas de barras em 3D.

Objetivando precisão, alguns termos precisam ser esclarecidos para melhor compreensão durante seu emprego neste trabalho. São eles: “modelagem” e “software de análise de estruturas de barras em 3D”.

Para esta pesquisa, por modelagem entende-se o processo que abrange desde a composição geométrica da estrutura como um todo (por exemplo um pórtico), passando pelas características geométricas das peças individualmente (como a seção da barra, bem como suas propriedades geométricas), até as propriedades físicas dos materiais adotados e as condições de contorno,

tais como cargas e restrições de apoio. Em outras palavras, por modelagem entende-se como aspecto integrante a chamada entrada de dados. O resultado, portanto, seria a composição de matrizes com todas as informações necessárias para o cálculo estrutural.

É necessário notar, porém, que nesta pesquisa não serão tratados os recursos avançados de modelagem estrutural, atendo-se às ferramentas básicas de modelagem de simulações estáticas. Assim sendo, não serão abordados aspectos como, por exemplo, análise de segunda ordem, análises modais, simulação de protensão, cargas móveis, cargas de vento, lançamento de molas, cálculo de frequências naturais, etc. Abordar essas questões tornariam a pesquisa demasiadamente extensa para ser desenvolvida no tempo disponível.

Enquanto isso, um software de análise de estruturas de barras em 3D é um programa que realiza cálculo de estruturas de barras dispostas em sistemas estruturais em 3D. Estruturas de barras são representadas por linhas - ou seja, são elementos em 2D – que podem ser dispostos em 3D, as quais são analisadas. É importante salientar que, apesar disso, vários softwares apresentam modos de visualização que descrevem as barras como elementos volumétricos como o Eberick, o Inventor e o TQS (ALTOQI, 2019; AUTODESK, 2017b; TQS INFORMÁTICA LTDA, 2019). Todavia, trata-se de um recurso apenas visual, uma vez que, no que se refere ao cálculo, o elemento apresenta apenas duas dimensões.

Na análise de estruturas, análises de elementos em 3D tratam do cálculo de tensões de elementos volumétricos – geralmente analisando pequenas peças ou pontos críticos específicos de uma estrutura mais complexa, uma vez que o custo computacional é muito maior –, enquanto análises de barras tratam de solicitações nas barras, tais como compressão, tração, momento fletor e torsor, e esforços cortantes – geralmente utilizados para simplificar grandes estruturas tais como vigas e pilares de edificações, em razão do custo computacional ser menor.

Assim, o escopo dessa pesquisa trata da aplicação do KLM-GOMS como ferramenta capaz de mensurar a usabilidade através da quantificação da carga cognitiva de interfaces durante a realização de uma atividade da modelagem estrutural. A partir desses dados é possível compilar um processo de modelagem que apresente maior usabilidade, o qual resultará em um protótipo de interface capaz de realizar a modelagem, mas sem o desenvolvimento da ferramenta de análise estrutural propriamente dita.

O KLM-GOMS é uma ferramenta que, uma vez que permite a quantificação de carga cognitiva por um especialista, dispensa a utilização de usuários para avaliação da interface. Ocorrendo a dispensa de usuários para o desenvolvimento da pesquisa, não há necessidade de aprovação por comitê de ética, o que é desejável devido à abordagem extensa em que esta pesquisa se enquadra, já que o volume de dados, conforme será visto nas seções posteriores, é muito grande.

Uma característica importante da ferramenta KLM-GOMS é a previsão de que, visando abordar igualmente todos os softwares em estudo, o tempo gasto para o desenvolvimento de atividades é baseado em um usuário experiente. Isso significa que o usuário já sabe os caminhos para o desenvolvimento das etapas necessárias para o cumprimento da tarefa em estudo e, portanto, também sabe o caminho que dispense menos tempo.

Além disso, é necessário estabelecer atividades iguais, assim permitindo a comparação. Ou seja, as medições dos tempos previstos devem ser realizadas para o desenvolvimento da mesma atividade, ainda que cada software apresente sua particularidade de como desenvolvê-la. Também deve ser acrescido que, uma vez que alguns softwares apresentam ferramentas diferentes disponíveis, as informações necessárias para preenchimento de entrada de dados podem ser diferentes. Nestes casos esses campos de inserção de informações e dados serão desprezados.

Neste sentido também se inserem a categorização dos softwares selecionados para análise, pois a plataforma de alguns é em 2D e outros em 3D. Assim, esta abordagem que desconsidera aspectos em excesso serve para uniformizar esses softwares dentro do possível. Além de tudo, os aspectos mais simples de softwares em 2D, em detrimento aos aspectos mais complexos das plataformas em 3D, servem pra buscar soluções com abordagem diferente das geralmente adotadas.

Esta pesquisa ainda busca promover a usabilidade através das heurísticas. Ainda que a ferramenta principal para verificação de problemas de usabilidade seja o KLM-GOMS, é fundamental que o desenvolvimento do protótipo siga as heurísticas para evitar que outros problemas de usabilidade ocorram. O objetivo, porém, não é se basear ou realizar avaliações com base nessas diretrizes, mas sim utilizá-las como princípios orientadores durante o desenvolvimento do protótipo de interface para um software de análise estrutural.

1.5 PROBLEMA DA PESQUISA

Como o design de interface pode contribuir para aprimorar o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras?

1.6 HIPÓTESE DA PESQUISA

O design de interface é capaz de melhorar o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras através das heurísticas de usabilidade e da modelagem preditiva do comportamento humano, promovendo a usabilidade e reduzindo a carga cognitiva.

1.7 OBJETIVOS DA PESQUISA

Visando a clara especificação dos objetivos, estes foram separados em objetivo geral e objetivos específicos.

1.7.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um projeto de interface de um software de análise de estruturas tridimensionais por barras, baseado nas heurísticas de usabilidade e na modelagem preditiva do comportamento humano, que promova a usabilidade e reduza a carga cognitiva dos usuários no processo de modelagem

1.7.2 Objetivos específicos

Os objetivos secundários estão relacionados a seguir, e são definidos da seguinte maneira:

- Compreender os processos de interação de modelagem de softwares CAE, através da seleção de programas relacionados em forma de lista, para identificar e descrever os processos envolvidos;

- Analisar, através do método KLM-GOMS e das Heurísticas da Usabilidade, as dificuldades encontradas na interação do processo de modelagem durante a utilização de softwares de análise de estruturas tridimensionais por barras, permitindo definir aspectos que podem ser melhorados;
- Propor, através fragilidades identificadas, novas alternativas para o procedimento de modelagem, as quais serão definidas através da compilação dos melhores procedimentos estudados, e aprimoradas através de um processo iterativo cujas alternativas são avaliadas por meio do KLM-GOMS e das Heurísticas da Usabilidade;
- Desenvolver um protótipo de interface, através de uma ferramenta de prototipagem de interface, permitindo avaliar a viabilidade de implementação da melhor alternativa, e a sua relevância, por meio da modelagem de uma estrutura.

1.8 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

As pesquisas que buscam melhorar a análise de estruturas alcançaram tal amadurecimento que, no âmbito de conhecimento teórico do comportamento de estruturas, pouco tem apresentado para agregar nas análises estruturais por computador. Por fim, nos últimos anos, o trabalho nesta área passou a ser a implementação computacional dos conhecimentos adquiridos. Atualmente existem diversos softwares no mercado, os quais buscam agregar mais ferramentas de análise, ao invés de apostar na facilidade de uso. Este fato é resultado, especialmente, da necessidade dos usuários, uma vez que estes necessitam realizar cada vez mais tarefas que foram agregadas à atividade de cálculo estrutural.

Apesar das inúmeras alternativas presentes, um ramo de pesquisa para estes programas continua inexplorado, e tem enorme potencial de melhorar as atividades dos engenheiros estruturais. Ao invés de buscar implementar novas funcionalidades, esta pesquisa busca, portanto, melhorar a interação durante a modelagem estrutural através da usabilidade da interface. A inerente complexidade deste tema demanda esta nova abordagem visando facilitar não só o aprendizado destes sistemas, mas também facilitar e otimizar todo o processo de modelagem como uma tarefa realizada no cotidiano do profissional.

Além disso, os programas encontrados são produtos de grandes empresas, cuja aquisição apresenta grande custo. Os poucos softwares livres encontrados apresentam limitadas funções, e sua utilização acaba se restringindo às questões básicas do processo de ensino do comportamento de estruturas. Por estes motivos, os alunos frequentemente se formam com os conhecimentos teóricos adequados, mas sem qualquer tipo de conhecimento avançado necessário para disputar uma vaga no mercado de trabalho. Pesquisas como esta incentivam o uso e melhoria das ferramentas educacionais, bem como colaboram para desenvolvê-las ao nível das encontradas nos escritórios de análise estrutural, contribuindo para uma formação mais adequada dos alunos formados nas universidades brasileiras.

Ainda, é importante salientar que existem diversos programas de análise estrutural no mercado, sendo que uma busca prévia realizada encontrou mais de 130 softwares disponíveis na internet – Apêndice A. A seleção de critérios para definir softwares capazes de cumprir os requisitos básicos para o desenvolvimento da pesquisa, bem como acessibilidade, acabam não excluindo muitas possibilidades. O preço destes softwares, quando não disponibilizados livremente, ou sem licenças estudantis, inviabiliza a seleção de diversos softwares mais conhecidos no mercado. Assim, aos poucos uma definição metódica de um grupo de softwares torna-se inviável, e a escolha deve ser realizada de acordo com a disponibilidade, mas priorizando o quão conhecidos eles são no ambiente do pesquisador. Essa escolha deve ser, portanto, baseada na experiência do pesquisador, mas considerando a facilidade de acesso e disponibilidade dos softwares.

A nível nacional, são dois os softwares conhecidos oriundos de pesquisas: o Ftool (MARTHA, 2017b) o TRAME (ORMONDE; SOUZA, 2013, 2018). Ambos foram criados através de pesquisas sob o enfoque educacional. O primeiro tem sua versão focada na análise de pórticos em duas dimensões, enquanto o segundo busca realizar a análise não-linear, também de pórticos planos, mas apenas em estruturas metálicas. De modo geral, conforme foi visto no banco de teses da CAPES (<http://bancodeteses.capes.gov.br>), as pesquisas mais recentes tratam da aplicação destas plataformas, totalizando 18 resultados – cujas *strings* de pesquisa utilizadas foram “Ftool” e “TRAME”, refinando as áreas de conhecimento para Engenharia Civil e Educação –, sendo apenas uma visando complementar o Ftool como cálculo e dimensionamento de pilares de concreto (SILVA; MARTHA; MENEZES, 2017).

Deste modo destaca-se, também, que a nível educacional pouco se avança na melhoria da qualidade do ensino superior em engenharia de estruturas. Isto dito pois, além de ser poucas as pesquisas utilizando as plataformas educacionais desenvolvidas nacionalmente, estas pesquisas também não visam melhorar ou atualizar estes programas, os quais são fundamentais na busca por um ensino de qualidade. Além disso, considerando-se a realidade tecnológica atual, nota-se flagrantemente que estes softwares se encontram desatualizados. É necessário que haja softwares livres para o ensino superior, assim como também é necessário que sejam de qualidade, os mais completos possíveis, e que permaneçam atualizados frente as tecnologias correntes.

Em relação as ferramentas que poderiam ser utilizadas nestes softwares de análise estrutural, estas ainda são passíveis de serem conhecidas através de estágios, por exemplo, ou ainda de alguns poucos softwares que permitem licenças temporárias educacionais. Apesar disso, mesmo estes softwares com frequência encontram-se desatualizados em termos tecnológicos ao nível de suas interfaces. Hoje em dia, onde até mesmo smartphones tem capacidades computacionais suficientes para atividades que exijam alta capacidade de processamento, é fundamental que programas de tamanha complexidade como os de análise estrutural apresentem métodos e interfaces ultrapassadas que poderiam ser melhoradas e aumentar o rendimento profissional.

Neste ponto o Design é uma área de pesquisa interdisciplinar cujas pesquisas apresentam ferramentas capazes de facilitar e melhorar o rendimento de qualquer software. A principal delas, no que se refere à melhoria de interfaces, são as heurísticas da usabilidade, um método consagrado e muito pesquisado, sendo considerado a base no desenvolvimento e melhoria na interface de softwares. Apesar disso trata-se de uma ferramenta cuja eficiência depende de sua utilização com especialistas e usuários, sendo que quanto maior for a amostragem, maior é a abrangência da análise que pode ser realizada na busca por problemas a serem melhorados. Neste ponto, aliar as heurísticas a alguma ferramenta mais autônoma pode apresentar. Em vista disso, pode-se concluir que, apesar de sua eficiência, é um procedimento cuja demanda de tempo e recursos financeiros pode ser alta.

Apesar disto, outras ferramentas podem ser encontradas, e utilizar elas em paralelo apresentam grande potencial de melhoria em diversos aspectos. Um desses instrumentos é a modelagem preditiva do modelo humano, a qual baseia-se na carga cognitiva necessária para o

desenvolvimento de certas atividades. Para uma análise de mercado, por exemplo, este tipo de ferramenta é capaz de destacar pontos fortes e fracos no desenvolvimento de atividades em determinadas plataformas, atribuindo prioridades para desenvolvimento de soluções, e considerando justamente um dos maiores problemas na utilização de interfaces: realizar tarefas através da utilização dos diversos passos inerentes ao seu desenvolvimento.

Instrumentos como o KLM-GOMS são capazes e mensurar o tempo dispendido por um usuário no desenvolvimento de atividades. Assim, além de medir o tempo total, é possível relacionar aspectos específicos onde perde-se tempo desnecessário durante a interação, como por exemplo deslocamentos excessivos com o mouse, ou demasiada quantidade de passos que podem ser reduzidos, dentre outras diversas possibilidades. Isto posto, trata-se de uma ferramenta capaz de apresentar problemas e, através da análise dos dados, também introduzir soluções. Não é, porém, uma ferramenta capaz de considerar aspectos mais complexos das interfaces como por exemplo as heurísticas, porém é hábil e objetiva na busca por problemas sem a dependência de usuários ou de grupos de especialistas.

O uso independente e sem critérios das ferramentas introduzidas pela modelagem preditiva do comportamento humano, porém, apresenta potencial de resultar em interfaces simplistas em excesso, e por isso é fundamental que não seja utilizada sozinha. Abordar o KLM-GOMS, por exemplo, juntamente com as heurísticas de usabilidade, indica enorme potencial de abranger problemas de usabilidade de interface de uma maneira mais sistemática e objetiva sem necessidade de consulta com usuários. Não se trata, é bom destacar, de buscar substituir ou tornar os usuários dispensáveis. Trata-se da busca por soluções mais baratas na abordagem de busca por melhorias sem dispendir demasiado tempo e dinheiro, recursos fundamentais no desenvolvimento de empresas e de produtos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os tópicos considerados pertinentes para o desenvolvimento desta pesquisa. Assim, na sequência, são feitas as devidas explicações e esclarecimentos de temas como Interação Humano-Computador e Engenharia de Usabilidade – bem como os princípios de modelagem preditiva do comportamento humano e as ferramentas KLM-GOMS e as Heurísticas de Usabilidade. Posteriormente, segue o método de avaliação, assim como explicações sobre o plano de testes adotado. Continuando com a bibliografia fundamental para o trabalho, fala-se ainda sobre a interface gráfica com o usuário e como funcionam as camadas de aplicativos em relação a funcionalidade e a interação com os usuários. Encerra-se com um tópico que descreve o procedimento mínimo básico de modelagem em softwares de análise estrutural.

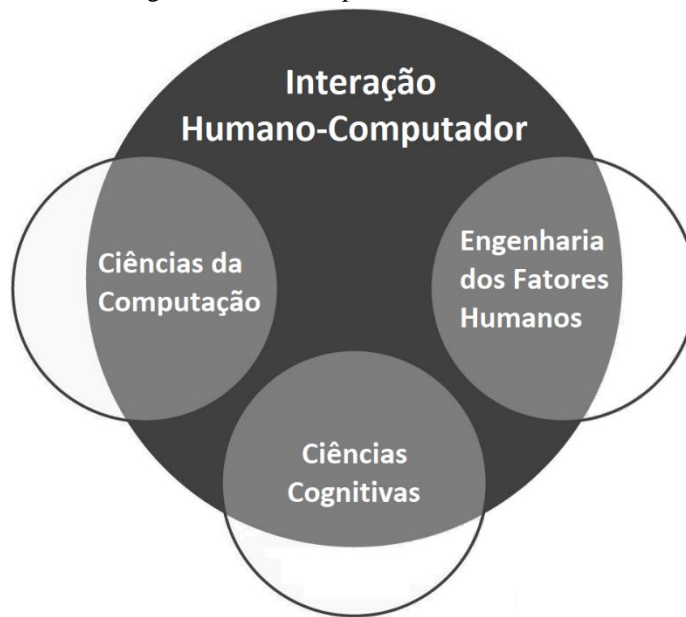
2.1 INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR

A Interação Humano-Computador (IHC) é uma área interdisciplinar que busca desenvolver e melhorar as tecnologias de interação entre os usuários e computadores. Sua criação, de acordo com Lazar, Feng e Hochheiser (2017), é atribuída ao ano de 1982 quando houve a primeira conferência sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais nos Estados Unidos, a qual posteriormente passou a se chamar Grupo de Interesse Especial em Interação Humano-Computador (SIGCHI, na sigla em inglês). Apesar disso, pesquisas relacionadas ao tema podem ser encontradas anteriormente ao surgimento da conferência, como é, por exemplo, o caso do desenvolvimento do mouse para computadores por Doug Engelbart em 1968 (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017)

Em torno de 1980, os mini e microcomputadores surgem, dando início a difusão dos computadores pessoais, possibilitando qualquer pessoa no mundo a ser potencial usuário de computadores para atividades próprias. Essa facilidade de acesso criou ambiente de demanda para melhorias na usabilidade dos programas utilizados, e para tal foram integradas disciplinas capazes de resolver estes problemas: ciências da computação, ciências cognitivas e engenharia dos fatores humanos (figura 3). A finalidade é aplicar uma teoria com fins de lidar com questões de design, implementação e avaliação dos meios com os quais os humanos lidam com

computadores (THE INTERACTION DESIGN FOUNDATION, 2018). Como explica Kim (2015), o I na sigla HCI – Interação na nomenclatura – engloba tanto a interação quanto a interface, considerando que a interação refere-se à um modelo abstrato que define a maneira como ocorre a interação entre humano e computador, enquanto interface trata-se especificamente da implementação tecnológica utilizada como ferramenta para melhorar a interação.

Figura 3 – Interdisciplinaridade da IHC



Fonte: adaptado de THE INTERACTION DESIGN FOUNDATION (2018)

Enquanto o primeiro objetivo da implementação de uma ferramenta seja oferecer sua funcionalidade, a IHC busca aumentar sua usabilidade. Isso significa que a meta é desenvolver interfaces que aumentam a facilidade, eficiência e segurança desses produtos, resultando em uma interação capaz de aumentar produtividade e satisfação de uso dessas funcionalidades. Posteriormente, foram incorporados outros tópicos tais como questões estéticas e o conceito de Experiência do Usuário (UX, na sigla em inglês para *User Experience*). Esses últimos termos buscam cumprir com objetivos específicos da usabilidade e, portanto, podem ser consideradas como diferentes abordagens que buscam melhorar o desempenho da interação da interface (THE INTERACTION DESIGN FOUNDATION, 2018).

A definição da IHC é ampla e subjetiva, mas apesar disso é fácil entender onde pretende-se chegar: redefinir as maneiras como interagimos com computadores para absorver da melhor

maneira seus benefícios em nosso proveito. Por outro lado, sua aplicação não apresenta nenhuma facilidade ou simplicidade. Pode parecer simples definir uma série de alternativas e escolher a melhor entre elas, porém outros critérios podem ser determinantes para o êxito dessa nova interface. E os usuários não são os únicos fatores que necessitam consideração (KIM, 2015).

As limitações computacionais, as características das tarefas, custos de implementação e avaliação das ferramentas são exemplos de outros fatores que devem ser considerados durante pesquisas em IHC. É devido essa variedade de fatores que foram definidos princípios de IHC que, apesar de serem muito amplos ou genéricos, são fundamentais e considerados consolidados para o melhor desenvolvimento de design em IHC (KIM, 2015). São eles:

- Conhecer os usuários: considerar as necessidades e capacidades dos usuários do público-alvo durante o desenvolvimento do produto;
- Compreender as tarefas: saber como os usuários do produto desenvolvem suas tarefas, bem como entender como identificar os padrões de interação deles de acordo com o contexto das atividades a serem desenvolvidas;
- Reduzir a carga cognitiva: evitar excesso de informações e passos para realização das tarefas, buscando ajudar a manter o foco;
- Empenhar-se por consistência e familiaridade: buscar manter um padrão na apresentação da interface, bem como no desenvolvimento de tarefas tanto dentro do produto quanto em relação à demais produtos similares;
- Lembrar e manter atualizada a memória dos usuários: desenvolver mecanismos de *feedback* capazes de comunicar eficientemente o *status* do sistema para o usuário;
- Prevenir erros e/ou reversão das ações: além de buscar desenvolver um sistema que evite erros, esse princípio se refere a possibilidade de os usuários desenvolverem atividades de modo equivocado. Nesse caso, por exemplo, deve-se prever um modo de reverter o erro;
- Buscar naturalidade: buscar propriedades intuitivas ou óbvias na interface, de modo que a interação seja a mais natural possível.

Pode-se notar dessa relação que elas se relacionam entre si, e em alguns pontos inclusive se sobrepõem de modo a reforçar cada um deles. Por exemplo a consistência e familiaridade em relação a um sistema também pode ser visto como uma busca pela intuitividade do sistema, uma vez que utiliza modelos mentais para facilitar a utilização da interface, além de reforçar

também a base que busca reduzir a carga cognitiva. De modo resumido, todas elas buscam que a interface seja fácil e amigável, reforçando-se entre si.

Estes princípios servem como guia no desenvolvimento de produtos com bom design de IHC, porém não estabelece um método, técnica ou ferramenta para testar ou avaliar um sistema. É neste ponto onde entra a Engenharia de Usabilidade, visando estudar todo o contexto em que um sistema se insere em relação ao usuário e seu perfil, bem como guiar o desenvolvimento, buscando aplicar esse conhecimento em vantagem de um sistema eficiente, eficaz e produtivo.

2.2 ENGENHARIA DE USABILIDADE

A NBR 9241 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002) trata a usabilidade como uma característica – passível de ser mensurada – que um produto é capaz de apresentar em termos de eficácia, eficiência e satisfação de uso em um determinado contexto de uso. Assim, para um produto apresentar boa usabilidade, é necessário que seja descrito seu contexto de uso, bem como seus objetivos e componentes envolvidos, além de determinar quais valores deseja-se alcançar.

No contexto de IHC, a usabilidade ocupa-se das interfaces entre computadores e usuários. Buscando sistematizar o desenvolvimento de softwares interativos e com boa usabilidade surge a engenharia de usabilidade, como a engenharia que

“ocupa-se da interface com o usuário, um componente do sistema interativo formado por apresentações e estruturas de diálogo que lhe conferem um comportamento em função das entradas dos usuários ou de outros agentes externos. Esta interface apresenta painéis com informações, dados, controles, comandos e mensagens, e é por meio dessas apresentações que ela solicita e recebe as entradas de dados de controles e de comandos dos usuários com as apresentações de novos painéis. Uma interface é definida segundo uma lógica de operação que visa a que o sistema seja agradável, intuitivo, eficiente e fácil de operar.”

(CYBIS; BETIOL; FAUST, 2010, p. 18)

As origens da engenharia da usabilidade encontram-se na produção de conhecimentos sobre teorias e modelos cognitivos humanos capazes de ajudar na criação de interfaces adaptadas a determinados usos. Apesar disso, os projetistas da engenharia da usabilidade não costumam usar essas teorias da cognição humana, mas sim recomendações ergonômicas (CYBIS;

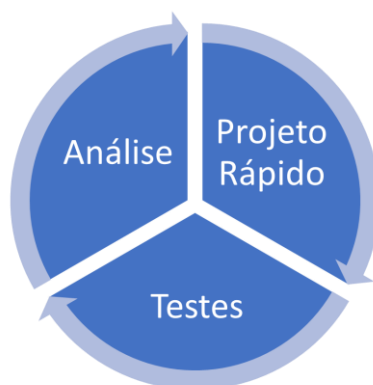
BETIOL; FAUST, 2010). Essa outra abordagem foca no bem-estar e saúde dos usuários através da adaptação do ambiente de trabalho aos modos como o usuário pensa e se comporta durante o desenvolvimento de suas atividades, proporcionando maior conforto através de sistemas intuitivos e fáceis de aprender e usar. Isso significa que a abordagem ergonômica mais popularmente adotada na engenharia da usabilidade foca na eficiência e eficácia, considerando a experiência estética e emocional como um objetivo secundário na interface (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2010).

Por outro lado, Kim (2015) trata de separar e diferenciar os aspectos ergonômicos e cognitivos na modelagem de interfaces. A perspectiva cognitiva trata de explicar como as capacidades e modelos de processamento de informações ocorrem nos seres humanos, e assim permitindo implementar interfaces que melhor se encaixam no modelo de interação do usuário, enquanto a ergonomia busca conforto sobre questões sensoriais ligadas aos estímulos recebidos de fontes externas. Na prática pode-se perceber que ambas as abordagens estão alinhadas, sendo a ergonomia responsável pelo estudo da interação como um estímulo e uma reação através dos órgãos sensoriais e motores, enquanto a parte cognitiva trata do processamento entre a entrada e saída dessas informações.

Outra boa maneira de entender essa relação se encontra na descrição de ergonomia cognitiva – tratada como uma área de especialização da ergonomia – pela IEA (Associação Internacional de Ergonomia, na sigla em inglês) – a qual afirma que “a ergonomia cognitiva se preocupa em como processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora, afetam a interação entre humanos e elementos de um sistema” (INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 2018).

Na prática, a engenharia de usabilidade utiliza o conhecimento das teorias cognitivas para elaborar interfaces ergonômicas através de um método sistemático e iterativo. Dentro desse mecanismo, deve ser considerada a importância de estabelecer um ciclo de desenvolvimento baseado nas tarefas do usuário em relação à ferramenta em desenvolvimento para assegurar a qualidade do produto final. Por este motivo deve-se prever um método iterativo e cíclico de análise, concepção e testes como ilustrado na figura 4. Conforme explicam Cybis, Betiol e Faust (2010), a estratégia com a utilização de ciclos busca identificar e refinar o conhecimento sobre o sistema em função das exigências do projeto. Uma boa maneira de começar é com a análise de sistemas similares ou competidores no mercado.

Figura 4 – Ciclo de desenvolvimento centrado no uso



Fonte: adaptado de CYBIS; HOLTZ; FAUST (2010, p. 129)

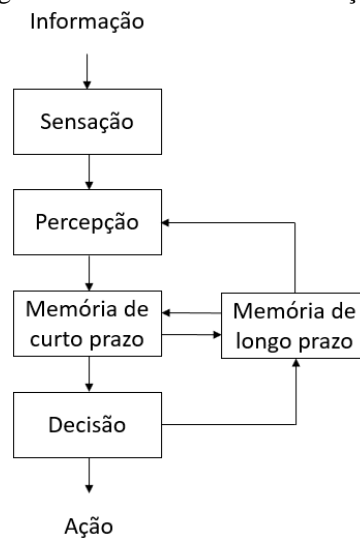
A abordagem cognitivo-ergonômica parte do princípio de um uso específico de um sistema, e por este motivo é fundamental que sejam considerados diferentes maneiras de realizar as avaliações da interface do sistema, como por exemplo consultar usuários ou especialistas durante o ciclo de desenvolvimento. Quanto mais métodos de avaliação utilizados, mais consistentes os resultados, porém mais dispendioso econômica e temporalmente o processo. É necessário, portanto, encontrar um meio termo entre os métodos buscando-se tanto consistência quanto viabilidade (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017).

A engenharia da usabilidade pode utilizar diversas abordagens na solução de problemas. Uma delas é a ergonômica através das heurísticas de usabilidade (a ser abordada em 3.2.2, página xx), a qual apresenta suas diretrizes baseadas em pesquisas relacionadas com as teorias cognitivas. Outra delas é a ergonomia cognitiva, através do modelo humano de solução de problemas e modelagem de tarefas, ou do estudo da reação humana e previsão do desempenho cognitivo.

O modelo humano de solução de problemas consiste em um modelo de processamento de informações que levam a uma ação. O processamento da informação (figura 5) começa através da sensação, que recebe o estímulo externo, e da percepção, que por sua vez interpreta e extrai os conhecimentos básicos sobre essa informação. Na sequência atuam as memórias de longo e curto prazo que recuperam e processam informações já existentes que se apliquem ao contexto para elaborar um plano de ação, que posteriormente é revisado durante a tomada de decisão, resultando na ação. A iteratividade que a tomada de decisão tem com a memória de longo termo pode ser detalhada conforme apresentado na figura 6, onde demonstra-se o fluxo desde a

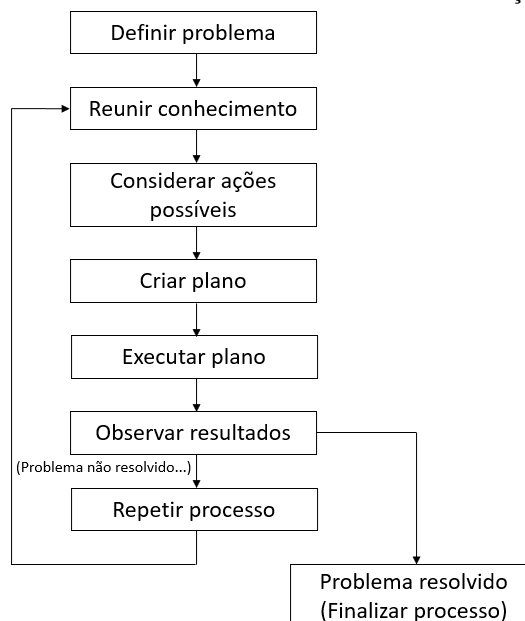
definição de problema até a resolução de problema de modo satisfatório. As etapas desde a reunião dos conhecimentos sobre a questão, estudo das ações possível, criação do plano de abordagem, execução, observação dos resultados e repetição destes passos, consiste na modelagem de tarefas e subtarefas entendidas como necessárias para a completude da ação, sendo a repetição responsável pela busca pela melhor maneira de resolver o problema, ou inclusive uma nova tentativa caso o plano em ação resulte em erro (KIM, 2015).

Figura 5 – Visão geral do modelo humano de solução de problemas



Fonte: adaptado de KIM (2015)

Figura 6 – Visão mais detalhada da decisão e execução



Fonte: adaptado de KIM (2015)

Entender como ocorre a elaboração desses planos de abordagem aos problemas são fundamentais para compreender os modelos mentais dos usuários. A compreensão de diagramas de elaboração de tarefas e subtarefas ajuda na criação das estruturas de menus, bem como podem ser usados como base na criação e implementação do algoritmo de interação com um sistema (KIM, 2015).

Sobre a reação humana e predição do desempenho cognitivo são considerados aspectos de como é formado o modelo mental do usuário – explicado no parágrafo anterior –, além de considerações sobre as memórias de curto e longo prazo. Os modelos mentais ajudam na elaboração da interface, buscando acompanhar a linha de pensamento dos usuários, resultando numa interação mais fluida (KIM, 2015). Quanto às questões de memória, é importante salientar os resultados da pesquisa de Miller (1956), onde constatou-se que humanos são capazes de lembrar até 7 ± 2 unidades de memória por um curto período de tempo. Isso significa que é possível guardar até 8 elementos significativos na memória de curto prazo (que é a memória ativa durante o desenvolvimento de tarefas, e dura cerca de 30 segundos). Por outro lado, recuperar informações da memória de longo prazo, quando solicitada, é trabalhoso e prejudica a fluidez das tarefas. Esse é o caso de ferramentas multitarefas, onde a mudança de contexto do processo aciona a memória de longo prazo (KIM, 2015).

Essas questões sobre as memórias e os modelos mentais são abordadas por uma ferramenta chamada *Keystroke-Level Model – Goals, Operator, Methods, and Selection Rules* (KLM-GOMS), que em tradução livre para o português seria Modelo em Nível de Pressionamento de Teclas – Objetivos, Operadores, Métodos, e Regras de Seleção, a qual realiza modelos preditivos de comportamento humano no uso de interfaces. Seu objetivo é prever e quantificar o tempo utilizado por um modelo de interação em uma interface buscando melhorar sua usabilidade sem a utilização de usuários (CARD; MORAN; NEWELL, 1983).

2.2.1 Modelagem preditiva do comportamento humano

Como tratado anteriormente, um dos fatores humanos em que a IHC se baseia são as ciências cognitivas, as quais buscam explicar a capacidade humana de processamento de informações. Dentro da perspectiva da usabilidade, considerar o desempenho na interação humano-

computador busca refletir as características psicológicas do usuário em relação as tarefas a serem desenvolvidas, resultando numa interação mais intuitiva e produtiva (KIM, 2015).

A modelagem preditiva do comportamento humano é usada por designers de softwares para modelar o comportamento humano, sendo sua característica realizar avaliações quantitativas de performance sem a necessidade de recorrer aos usuários. A técnica mais conhecida para tal é o GOMS, pois trata-se de uma ferramenta capaz de ajudar a modelar as diversas estratégias que os usuários podem realizar uma tarefa, e assim quantificar o tempo utilizado em diversos sistemas ou alternativas em estudo (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002). Além disso ela dispensa a necessidade de usuários durante o levantamento, o que facilita a otimização de produtos tais como softwares, torna mais rápido o levantamento, e ainda diminui os custos de projeto.

2.2.1.1 Goals, Operators, Methods and Selection Rules - GOMS

O modelo GOMS foi desenvolvido por Card, Moran e Newell (1983) visando criar modelos do conhecimento dos usuários e dos processos cognitivos, durante sua interação com os sistemas computacionais. Sua teoria é baseada do Modelo do Processador Humano de Informações, o qual explica as relações da memória de trabalho – também conhecida como memória de curto prazo – com os tempos de processamento cognitivo, perceptivo e motor dos seres humanos em reação à estímulos externos (CARD; MORAN; NEWELL, 1983).

GOMS é o acrônimo de *Goals, Operators, Methods and Selection Rules*, os quais referem-se explicitamente ao procedimento de modelagem adotado pela técnica. Uma maneira de explicar como funciona é dado por Preece, Rogers e Sharp (2002) conforme segue:

- *Goals* (ou Metas) refere-se à tarefa que se deseja realizar, como por exemplo deletar uma palavra em uma frase. Importante notar que dentro de uma tarefa pode ser necessário segmentar em outras subtarefas, até encontrar a menor unidade representativa dessa tarefa;
- *Operators* (ou Operadores) refere-se aos processos cognitivos e às ações físicas necessárias para o desenvolvimento da tarefa até que ela seja resolvida. Esses operadores descrevem maneiras de resolver os Métodos possíveis de serem adotados.

- *Methods* (Métodos) são os procedimentos para atingir os objetivos e, portanto, consiste numa sequência de passos que devem ser realizados.
- *Selection Rules* (Regras de Seleção) especificam qual método deve ser utilizado para atingir um objetivo de acordo com o contexto. Via de regra podem compreender frases condicionais, como, por exemplo, substituir uma palavra em um texto. Caso seja apenas uma palavra, encontrá-la e substituí-la manualmente; caso a palavra seja recorrente em diversos pontos do texto, usar a ação ‘Substituir’ pode ser outra regra para seleção do método.

O principal ponto fraco dessa técnica é a dificuldade em dominá-la devido o tempo necessário para aprender em contraste com sua complexidade (JOHN; JASTRZEMBSKI, 2010), e a impossibilidade de modelar erros durante a interação com o sistema (CARD; MORAN; NEWELL, 1983). O GOMS é uma ferramenta utilizada para modelar atividades que podem ser realizadas em sistemas sem que o usuário cometa erros, e por este motivo não é indicada para modelar a performance de novos usuários. Já em relação à dificuldade, simplificações ao modelo GOMS podem ser encontradas, como é o caso do KLM – apresentado a seguir –, ou várias outras ferramentas tais como NGOMSL (KIERAS, 1988), CPM-GOMS (GRAY; JOHN; ATWOOD, 1992), GLEAN (KIERAS *et al.*, 1995), QGOMS (BEARD; SMITH; DENELSBECK, 1996), CRITIQUE (HUDSON *et al.*, 1999), CAT-HCI (GRAY, JOHN, ATWOOD, 1992² *apud* BAUMEISTER; JOHN; BYRNE, 2000) e ACT-R (JOHN *et al.*, 2004).

2.2.1.2 KLM-GOMS

Quando se trata do KLM-GOMS (a primeira parte como sigla, em inglês, para *Keystroke Level Model*) refere-se à uma ferramenta que pertence à família GOMS, mas cuja aplicação é simplificada e baseada no tempo gasto por um usuário de perfil experiente para realizar uma tarefa através do pressionamento de teclas e botões. O objetivo de estabelecer esse princípio é idealizar que um usuário experiente sempre utiliza o método mais rápido de se desenvolver uma atividade. Também se considera que o usuário não comete erros durante o desenvolvimento da atividade. De um modo resumido e simples, pode-se dizer que essa ferramenta busca encontrar os melhores métodos para realizar uma tarefa, e partir deles contar a quantidade de cliques

² GRAY, W, JOHN, B, ATWOOD, M. **The Precip of Project Ernestine or an overview of a validation of GOMS.** In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factor in computing systems. Anais... Monterey, CA, USA: ACM Press, 1992.

realizados multiplicado pelo tempo gasto pra obter o tempo total gasto (CARD; MORAN; NEWELL, 1980). Na prática o modelo é um pouco mais complexo, pois acrescenta outras nuances que devem ser consideradas durante a interação e serão explicadas na sequência.

Desenvolvendo uma comparação entre o método GOMS e o KLM, Hochstein (2002, p. 2) realiza uma síntese sobre o KLM, explicando de um modo mais completo, as simplificações realizadas neste método:

Usando KLM, o tempo de execução é estimado pela listagem da sequência de operadores e posteriormente somando-se o tempo de cada um deles. Essa ferramenta agrega ambas as funções perceptivas e cognitivas em um valor atribuído para toda a tarefa através de uma heurística. O KLM não emprega a etapa de Regras de Seleção como no GOMS original. Ainda, o KLM apresenta seis classes de operadores: K identificando o pressionamento de tecla, P identificando a movimentação do ponteiro para um determinado local da tela, H para a movimentação das mãos para a posição inicial do teclado, M para o preparo para execução da ação e, finalmente, R como o tempo de espera pela resposta do sistema. Para cada um destes operadores existe um tempo de execução estimado. Para a aplicação destes operadores existe uma lista de heurísticas que devem ser levadas em consideração para o tempo de preparo mental do usuário.

Um exemplo de aplicação do KLM muito útil para este trabalho é relatado por John e Kieras (1996). A empresa Applicon, durante os anos 1980, buscava melhorias em seu sistema BRAVO CAD, um software de design mecânico. Com a aplicação do KLM foi possível identificar a fonte de problemas relacionados à atualização realizada em seu sistema que o havia deixado lento e “estranho” em relação à sua versão anterior. Esses problemas eram relacionados com o paradigma dos menus utilizados que exigiam repetição de seleções desnecessárias, para a qual foi avaliada a alternativa de caixas de diálogo para facilitar a interação.

Outras melhorias encontradas através do KLM referem-se à profundidade dos comandos necessários para execução de tarefas, o que foi resolvido com a redução para dois níveis nos menus. Este exemplo é considerado importante pois trata-se de uma aplicação na mesma área desta pesquisa, e mostra o potencial que a medição do tempo de interação com uma interface apresenta para melhorar sistemas da linha CAD/CAM/CAE, seja através do estudo de múltiplas soluções ou seja na identificação de dificuldades – especialmente as ligas aos aspectos cognitivos.

Assim, para entender como funciona o KLM, é importante definir qual problema e limitações de uso: “quanto tempo que um usuário experiente levará para executar uma dada tarefa, considerando que ele utiliza um método sem que haja erros?” (CARD; MORAN; NEWELL, 1980, p. 2). Para responder tal questão é necessário fazer algumas observações que, aos poucos, vão descrevendo o procedimento para uso da ferramenta. Uma delas refere-se à definição de uma tarefa em uma unidade, a qual apresentará um tempo que é definido pela soma do tempo necessário para sua aquisição e o tempo de execução dessa tarefa. A aquisição da tarefa a ser realizada é altamente variável e, por este motivo, realizar uma predição do tempo gasto não pode ser considerado no KLM. Por este motivo o KLM refere-se à medição do tempo de execução de uma tarefa formulada após sua definição, desconsiderando o tempo necessário até então.

O tempo de execução de uma tarefa é dado pela fórmula 1. Nela decompõem-se a tarefa em diferentes operadores físico-motores já apresentados anteriormente – com exceção do D que retrata a criação de linhas com uso de um mouse. São eles: K, P, H, D, M e R, apresentados quadro 1 com suas respectivas descrições, bem como os tempos a serem considerados. A metodologia de aplicação desses operadores se dá de modo sequencial de acordo com cada passo para a execução da tarefa, ou seja, são codificados de modo linear de acordo com a sequência em que ocorrem. O operador M, porém, apresenta utilização mais complexa que os demais, uma vez que seu método apresenta necessidade de diferenciar suas possíveis aplicações, sendo algumas delas casos em que ele deve ser descartado. Para tal Card, Moran e Newell (1980) desenvolveram 5 regras heurísticas para definir sua utilização, as quais são apresentadas no quadro 2. Os quadros 1 e 2 são explicadas a seguir, sendo que todos os valores mencionados são resultados de pesquisas e elas estão referenciadas no trabalho de Card, Moran e Newell (1980).

$$T_e = T_K + T_P + T_H + T_D + T_M + T_R \quad (\text{fórmula 1})$$

Quadro 1 – Operadores no modelo KLM

Operador	Descrição e Observações	Tempo (s)
K	Pressionamento de teclas e botões. Apertar SHIFT ou CONTROL conta como operações K individuais. O tempo varia de acordo com as habilidades do usuários. A seguir contam as médias de valores típicos de acordo com essas habilidades: Excelente (135 ppm) Bom (90 ppm) Mediado (55 ppm) Comandos abreviados Mediano, mas sem uso diário (40 ppm) Digitação de letras aleatórias Digitação de códigos complexos Ruim (sem familiaridade com o teclado)	 0,08 0,12 0,20 0,27 0,28 0,50 0,75 1,20
P	Apontar com o poteiro do mouse para o objeto na tela. A distância varia de acordo com a distância e tamanho do objeto de acordo com a Lei de Fitt. O tempo varia de 0,8 a 1,5 segundos, com 1,1 sendo o tempo médio. Esse operador não inclui o pressionamento do botão que frequentemente o segue (0,2 s).	1,10
H	Ajeitar as mãos no teclado ou outro dispositivo.	0,4
D (n_D, l_D)	Desenhar n_D segmentos de linhas com o comprimento total de l_D cm Este é um operador muito limitado, pois assume que o desenho é realizado com o mouse em um sistema que restringe as linhas a serem desenhadas em um grid de 0,56 cm. Os usuários variam suas habilidades de desenho, sendo os valores dados pela fórmula um valor mediano.	0,9n_D + 0,16l_D
M	Mentalmente preparando-se para executar ações físicas.	1,35
R (t)	Tempo t segundos gastos pelo sistema para responder Este valor custa tempos diferentes para comandos diferentes no sistema. Esses tempos devem ser considerados no modelo. O tempo de resposta conta apenas caso seja feito o usuário esperar.	t

Fonte: adaptado de CARD; MORAN; NEWELL (1980, p. 399)

O operador mais frequente é o K, e se refere a qualquer tipo de pressionamento de teclas ou botões. Isso significa que, além da digitação de qualquer palavra, qualquer comando do teclado também é considerado pelo operador K, tal como pressionar ESC, ENTER ou BACKSPACE. O caso específico de comandos abreviados, como o caso do CTRL+C para copiar, por exemplo, foi estudado por John e Newell (1987), e o resultado para a utilização deste tipo de comandos alcançou valor de aproximadamente 0,27 segundos. Já para a digitação de uma palavra, considera-se todos os pressionamentos individualmente, ou seja, digitar ‘palavra’ seria codificado como 7K, bem como digitar ‘também’ seria codificado como 7K devido ao acento na letra ‘e’. O tempo de digitação que consta no quadro 1 leva em consideração as habilidades do digitador, além de outras duas opções que consideram a tarefa que está sendo executada caso

ela não seja convencional, como digitar um texto, por exemplo. É o caso de tarefas onde deve-se digitar palavras de modo randômico, ou então códigos complexos. Os tempos variam entre 0,08 e 1,10 segundos.

O operador P trata de operações realizadas com o mouse, como apontar para um botão na tela. O tempo gasto pode considerar a distância (d) que o mouse percorre, além do tamanho o objeto (s), através da Lei de Fitt expresso pela fórmula 2, com resultado dado em segundos, sendo esta fórmula confirmada de modo empírico no trabalho de Walker, Smelcer, Nielsen (1989³, *apud* REITMAN OLSON; OLSON, 1990). Na prática, com a finalidade de simplificar, o quadro apresenta o valor médios de 1,1 segundos, sendo desconsiderado o clique, cuja duração fica em cerca de 0,2 segundos, que frequentemente o segue. Esse clique deve ser apresentado através do operador K conforme explicado no parágrafo anterior, sendo que, caso haja necessidade de segurar um clique do mouse, o ato de pressionar o botão dura 0,1 segundos, e o de soltar dura outros 0,1 segundos. Isto significa que o valor de 0,2 segundos compreende o clique como uma atividade completa de pressionar e soltar o botão, sendo dividido em 2 caso ambas atividades sejam realizadas separadamente – i.e. em instantes distintos, como por exemplo durante a seleção de uma palavra (CARD; MORAN; NEWELL, 1983).

$$T_p = 0,8 + 0,1 \log_2 (d/s + 0,5) \quad (\text{fórmula 2})$$

Quanto ao operador H, deve-se observar o tempo em que o usuário realiza a troca de um dispositivo por outro, como por exemplo pegar o mouse, ou após seu uso posicionar-se no teclado para seu uso. Já o operador D trata do tempo gasto para se desenhar linhas manualmente através do mouse, onde o tempo gasto é função do número de segmentos de linhas e do comprimento total desenhado, sendo a fórmula apresentada no quadro 1. Conforme explicam Card, Moran e Newell (1980), esse operador apresenta uma limitação importante pois é assumido que o sistema de desenho utilizado opera com um *grid* de 0,56 cm, o que facilita o

³ WALKER, J. N., SMELCER, J. B., NILSEN, E. **Fitts' Law and its design implications:** Attempting to optimize speed and accuracy of menu selection. Manuscrito não publicado, University of Michigan, Human-Computer Interaction Laboratory, Ann Arbor, 1989.

desenho de linhas retas, além de ser esperado que o tempo varie de acordo com o espaçamento do *grid*.

Por fim Card, Moran e Newell (1980) ainda apresentam os operadores R e M, que representam o tempo de espera do sistema e o tempo de preparação mental para realização de uma etapa do método. O operador R varia de acordo com o sistema e com os comandos utilizados e, portanto, é um valor que pode ser medido diretamente durante o uso, e deve ser considerado apenas caso o sistema cause o usuário a ter que esperar por uma resposta. Já o operador M apresenta utilização mais complicada, e por este motivo foram desenvolvidas heurísticas para sua aplicação durante a codificação do método em estudo. Essas regras, apresentadas no quadro 2, baseiam-se nos conhecimentos e habilidades do usuário, e devem ser consideradas como regras que guiam a modelagem.

Quadro 2 – Heurísticas de utilização do operador M

<i>Começar com a elaboração do código do método que inclua todos os operadores incluídos. Adotar a Regra 0 para atribuir todos os operadores M e depois verificar as regras de 1 a 4 para cada operador M encontrado para ver se deve ser deletado ou não.</i>	
Regra 0	Inserir os M's na frente de todos os K's que não são parte de um conjunto de argumentos (i.e. conjuntos de letras ou números). Bote os M's em frente de todos os P's que selecionam comandos (não argumentos).
Regra 1	Se um operador seguindo um M é totalmente antecipado pelo operador logo anterior ao M, então deleta-se o M (e.g. PMK -> PK).
Regra 2	Se um conjunto de MK's pertence à uma unidade cognitiva (e.g. o nome de um comando), então deleta-se todos os M's, exceto o primeiro.
Regra 3	Se um K é o finalizador de um de um argumento, e logo em seguida é também o finalizador de um comando, então deleta-se o M em frente ao K.
Regra 4	Se um K finaliza um conjunto constante de letras (i.e. nome de um comando), então deleta-se o M em frente ao K; mas se o K finaliza um conjunto de letras variável (e.g. um argumento), então mantêm-se o M.

Fonte: adaptado de CARD; MORAN; NEWELL (1980, p. 400)

Já a ideia geral das heurísticas é identificar onde há decisões dentro do método através da Regra 0, como é o caso de teclas que realizam comandos, ou busca por um comando através do mouse. As demais regras buscam verificar se existem M's que devem ser deletados. A Regra 1 implica em deletar operador M que já tenha sido antecipado anteriormente ao pressionamento de botão (tanto de mouse quanto teclado), como é o caso em que se busca um comando através do mouse, com posterior clique. Isso ocorre, pois, a decisão de executar o comando ocorre logo antes de buscar o botão da interface e, portanto, o clique do mouse já era previsto a nível decisório.

De modo análogo, a Regra 2 busca explicar que quando se realiza um comando que parte de um conjunto de teclas pressionadas, a decisão por sua execução ocorre antes de executar essa ação, não sendo necessário considerar M entre eles, a não ser o inicial. Enquanto isso a Regra 3 remete a possibilidade de uma tecla ser responsável por finalizar o campo de um argumento e, logo na sequência, finalizar um comando já previsto. E por fim a Regra 4 trata de levar em consideração sistemas que necessitam o uso de ENTER ou BACKSPACE ao final da digitação do comando – nomeia-se a partir daqui como terminador –, já que nesses casos a decisão ocorre antes de preencher-se o comando, sendo a ocorrência do finalizador de modo automático devido ao padrão recorrente do sistema.

Dadas as explicações, nota-se a importância de exemplificar a aplicação do modo de codificação, bem como as heurísticas, apresentando-se um exemplo onde o usuário precisa substituir a palavra 'amarelo' por 'azul' em um texto através do Microsoft Word®. Dentre os métodos disponíveis, um deles refere-se a buscar manualmente a palavra para posterior edição (Método 1), enquanto outro método utilizaria a função "Substituir" (Método 2), sendo o último considerando como regra de seleção que não se sabe onde a palavra está, enquanto a primeira parte do princípio que o usuário sabe onde se encontra. Deve-se lembrar que essas regras foram assim elaboradas pois o método KLM parte da premissa de que o usuário é experiente e, portanto, sempre utilizará a melhor solução a sua disposição. Descrevendo-se cada uma dessas alternativas, apresentam-se as codificações no quadro 3.

Quadro 3 – Descrição de dois dos métodos que podem ser utilizados para edição de palavras no Microsoft Word®

<p>1. Método 1</p> <p>Passo 1. Pegar o mouse: H[mouse]</p> <p>Passo 2. Alcançar a palavra ‘amarelo’: MP[palavra]</p> <p>Passo 3. Selecionar a palavra ‘amarelo’: K[amarelo]</p> <p>Passo 4. Posicionar as mãos no teclado: H[teclado]</p> <p>Passo 5. Digitar a palavra ‘azul’: 4K[azul]</p> <p>2. Método 2</p> <p>Passo 1. Pegar o mouse: H[mouse]</p> <p>Passo 2. Alcançar o comando Substituir: MP[localizar]</p> <p>Passo 3. Pressionar comando Substituir: K[SUBSTITUIR]</p> <p>Passo 4. Mudar dispositivo para o teclado: H[teclado]</p> <p>Passo 5. Digitar a palavra ‘amarelo’: 7K[amarelo]</p> <p>Passo 6. Mudar campo Localizar para Substituir Por: MK[TAB]</p> <p>Passo 7. Digitar a palavra ‘azul’: 4K[azul]</p> <p>Passo 8. Pegar o mouse: H[mouse]</p> <p>Passo 9. Alcançar o botão Substituir: MP[localizar]</p> <p>Passo 10. Pressionar comando Substituir: K[SUBSTITUIR]</p>
--

Fonte: elaborado pelo autor

Assim, considerando-se que o usuário apresenta habilidades médias de digitação, o Método 1 e o Método 2, respectivamente apresentam os seguintes cálculos para prever o tempo de execução:

$$T_{e1} = 2.T_H + 2.T_M + T_P + 5.T_K = 5,6 \text{ s}$$

$$T_{e2} = 3.T_H + 3.T_M + 2.T_P + 14.T_K = 10,25 \text{ s}$$

Dentro desses resultados, pode-se inferir que, sabendo-se onde está a palavra que se deseja alterar, o Método 1 é mais eficiente. Caso não se saiba onde encontra-se a palavra, não faz sentido buscar manualmente considerando-se a experiência do usuário. Caso haja necessidade de substituir mais de uma palavra, utilizar o comando de substituição já passa a ser mais eficiente.

Outros operadores, foram levantados enquanto se estudava a criação de plugins para melhorar o processo de interação de uma plataforma de código aberto para o desenvolvimento de softwares de processamento de imagens médicas (RAMKUMAR *et al.*, 2017), a Medical Imaging and Interaction Toolkit (MITK, 2018). Nessa pesquisa a aplicação desta plataforma foi nas imagens de tomografia computacional, e os operadores encontrados, e que não se encontram na literatura, referem-se ao *zoom*, *pan* e *scroll*, dentre outros revisados ou não relevantes para este trabalho. Esses comandos, ainda que poucos estudados, resultam em dados fundamentais para uso no estudo da interação de softwares CAD, CAE e CAM, uma vez que estes comandos são frequentemente utilizados.

A diferença em relação à pesquisa citada, porém, relaciona-se com o fato de que o comando de *zoom* e *scroll* são utilizados para funções diferentes, sendo o *scroll* assemelhando-se com a atividade de percorrer um documento de texto, ou passar imagem, enquanto esses dois comandos, em softwares CAD, CAE e CAM, são realizados pelo *scroll*. Mais especificamente se pressiona o *scroll* para mover a área de trabalho utilizada para desenho, gira-se o *scroll* para dar mais ou menos *zoom*, e pressionando-se o *scroll*, juntamente com *Ctrl*, utiliza-se a função *orbit*. Os tempos gastos para realização destes operadores, de acordo com a pesquisa de Ramkumar *et al.* (2017), são apresentados no quadro 4, na página seguinte.

Quadro 4 – Outros operadores levantados para o modelo KLM-GOMS

Operador	Descrição e Observações	Tempo (s)
SC	Scroll Rodar o scroll do mouse para passar para outras imagens. Scroll lento é considerado enquanto se realiza tomada de decisão. Scroll normal é quando se está buscando familiarização com a imagem na tela. Scroll rápido é quando o usuário já sabe onde quer chegar.	
	Scroll lento	0,80
	Scroll normal	0,30
	Scroll rápido	0,03
PAN	Pan Pressionar o botão/roda scroll e mover o mouse para vasculhar a imagem na tela.	2,00
Z	Zoom Dar zoom na imagem através do pressionamento do botão direito do mouse, com posterior movimento para realizar a ação.	2,00

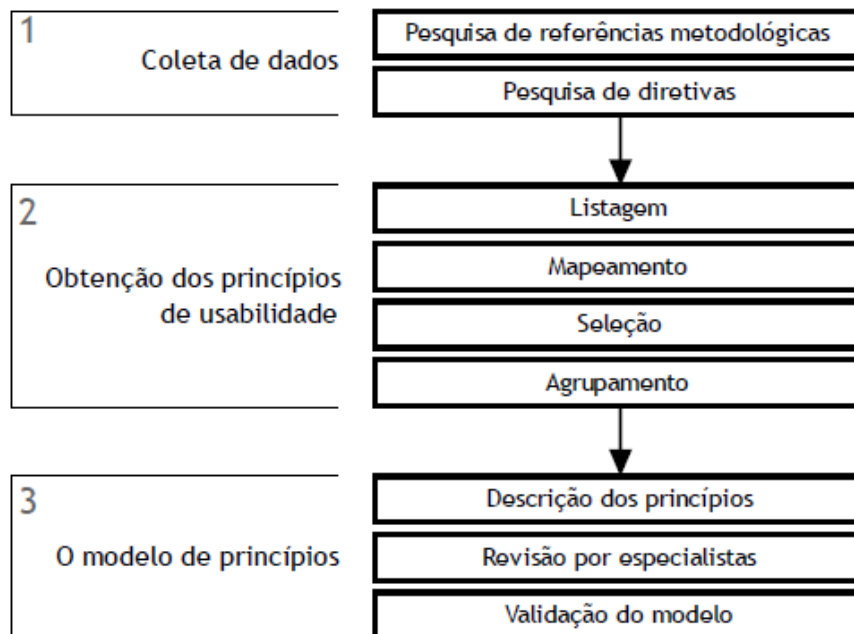
Fonte: adaptado de RAMKUMAR *et al.*, 2017

Apesar de ser objetiva na medição da usabilidade de uma interface através da busca por menor carga cognitiva, as ferramentas GOMS, bem como o KLM, apresentam algumas limitações. A modelagem dos métodos para desenvolver as atividades considera que todas as tarefas são direcionadas diretamente aos seus objetivos, sendo ignorados os fatores mais amplos, tal como solução de problemas, inerentes às tarefas. Além disso, as ferramentas GOMS não são capazes de medir o quão útil ou prazeroso a alternativa seria, sendo limitada à velocidade com a qual uma tarefa é executada (HOCHSTEIN, 2002). Assim, como um modo de apoio à seleção de alternativas, usar as heurísticas de usabilidade permite ampliar os aspectos levados em consideração.

2.2.2 Heurísticas da usabilidade

Desde a década de 1980, diversos estudos de avaliação de usabilidade foram desenvolvidos, os quais resultaram em compilação de regras – geralmente chamados de critérios, diretrizes, heurísticas ou princípios – a serem considerados no design de interfaces. Os trabalhos mais notáveis são as Oito Regras de Ouro (SHNEIDERMAN; PLAISANT, 2010) e as Dez Heurísticas de Nielsen (1994).

Figura 7 – Diagrama da metodologia adotada no levantamento dos princípios de usabilidade



Fonte: PECHANSKY, 2011, p. 58

Visando unificar essas regras em princípios, Pechansky (2011) desenvolveu sua pesquisa com base em 15 trabalhos. A obtenção dos princípios de usabilidade foi realizada de acordo com o diagrama da figura 7. Foram encontrados 111 princípios de usabilidade, os quais após os devidos procedimentos de seleção e posterior agrupamento, resultaram em 7 princípios dominantes.

Foram criados enunciados para cada um dos 7 princípios, que posteriormente foram revisados por especialistas. Como resultado, chegou-se aos seguintes princípios com seus respectivos enunciados (PECHANSKY, 2011, p. 126 a 127):

Autonomia: um sistema deve dar controle e liberdade de escolha aos usuários, para que eles realizem suas tarefas de forma autônoma e independente, sem necessitar de auxílio adicional.

Consistência: os objetos, ações e demais elementos de um sistema devem ser coerentes entre si e com as convenções, normas e padrões já estabelecidos, de forma que elementos semelhantes pareçam e se comportem de maneira semelhante, enquanto elementos diferentes devem parecer diferentes e se comportar de maneira diferente.

Eficiência: um sistema deve ter o menor tempo de resposta possível, reduzindo o esforço e o volume de trabalhos dos que o utilizam, priorizando os conteúdos relevantes e visando o aumento do nível de satisfação dos usuários.

Flexibilidade: um sistema deve ser flexível e adaptável, permitindo que ações possam ser realizadas de diversas maneiras, evitando tarefas repetitivas e adequando-se às necessidades de seu público-alvo.

Simplicidade: Um sistema deve facilitar a experiência dos usuários, apresentando somente as opções e elementos necessários e relevantes para cada contexto, permitindo caminhos fáceis para a realização de tarefas e apresentando as informações de forma limpa, clara e ordenada.

Tolerância: um sistema deve assegurar a integridade das informações dos usuários, prevendo, aceitando e tratando falhas, enganos e omissões, permitindo a reversibilidade das ações realizadas e nunca penalizando os usuários.

Visibilidade: um sistema deve exibir as opções possíveis para cada contexto, informando seu estado continuamente e minimizando a necessidade de memorização por parte dos usuários.

Esses critérios, assim como as Oito Regras e as Dez Heurísticas demandam certo grau de experiência, mas apesar disso, mesmo não especialistas são capazes de encontrar diversos problemas de usabilidade através de sua utilização. É importante notar que, ainda que realizada

pelo próprio desenvolvedor seja possível encontrar diversos erros, quanto maior o grupo de avaliação, mais fácil é encontrar erros e problemas no sistema (NIELSEN; MOLICH, 1990). O ideal, para este tipo de avaliação, seria considerar usuários como fundamentais para as avaliações do sistema em relação aos princípios, sendo 5 participantes considerados suficientes para se alcançar cerca de 80% dos problemas em interfaces. Este valor é importante pois os principais problemas podem ser encontrados com facilidade, e são determinantes para a aceitabilidade do sistema (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017).

2.2.3 Abordagem ao problema de usabilidade

Um problema de usabilidade ocorre em determinado contexto, quando determinada ferramenta de um sistema atrapalha uma tarefa. A determinação de um contexto caracteriza-se pelo perfil do usuário do sistema realizando determinada tarefa, considerando-se o equipamento e ambiente em que é executado. Enquanto isso, outro aspecto que deve ser considerado são os possíveis efeitos que podem ser causados tanto a tarefa quanto ao usuário, sendo importante detectar também a frequência com que ocorre.

Cybis (2018) exemplifica como lidar com um problema de usabilidade em um sistema de um modo sistemático e projetual através da criação de fichas como método de identificação e indexação dos problemas. Nesta ficha deve-se realizar, de modo descritivo, as seguintes etapas, com vistas em facilitar a comunicação entre projetistas, usuários e avaliadores:

- Identificação do problema: determina-se uma identificação sucinta do problema. Exemplo: aplicação de seções nas barras.
- Descrição: realiza-se uma descrição completa do problema. Exemplo: a identificação das seções, após a aplicação, não é exibida, dificultando a identificação de sucesso na operação.
- Tipo de usuário considerado: trata-se de determinar o perfil do usuário utilizado na busca pela dificuldade. Exemplo: engenheiro projetista experiente.
- Tipo de equipamento considerado: determinar as condições do equipamento em uso. Exemplo: computadores de alto desempenho.
- Tipo de tarefa considerada: frequência.
- Efeito sobre a tarefa: estabelecer qual ou quais efeitos o problema causa ao usuário. Exemplo: aumento da carga cognitiva diminuindo a produtividade;

- Sugestão de melhoria: descrever possíveis soluções ao problema. Exemplo: criar legenda verbal ou colorida para identificação da seção adotada na barra.

O método descrito acima permite identificar cada dificuldade de modo unitário, facilitando observar qual a origem do problema e, conseqüentemente, permitindo uma abordagem mais direta na busca pela solução. Apesar de identificadas as etapas para catalogação dos problemas de usabilidade, seja para sua melhoria quanto para identificação de gaps para implementação de um novo sistema, é fundamental adotar uma metodologia de projeto adequada.

2.3 PROJETO DE AVALIAÇÃO E PLANO DE TESTES

Cybis; Betiol e Faust (2010) sugerem a atividade de projeto proposta pela ISO 14598⁴, que trata da avaliação de produtos de software. Sua estrutura é composta pelas seguintes etapas (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2010, p. 247):

- Análise: identificação dos requisitos da avaliação;
- Projeto preliminar: seleção das técnicas aplicáveis;
- Projeto detalhado: configuração das técnicas;
- Implementação: realização da avaliação;
- Documentação: elaboração do relatório;
- Validação: confronto entre os resultados esperados e os obtidos com a avaliação.

Na etapa de análise realiza-se as atividades referentes a requisitos, tais como recursos disponíveis – orçamento, pessoal, tempo, equipamentos etc. – e quais as metas que se deseja alcançar. A partir dela começa o projeto preliminar, cuja responsabilidade é definir quais técnicas podem ser usadas nas avaliações, considerando-se inclusive a possibilidade de combinação de técnicas. Do projeto preliminar decorre o projeto detalhado, que é a etapa onde

⁴ Atualmente a norma ISO 14598 foi revisada pela ISO 25040:2011 (Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQUADR) – Evaluation Process). O acesso à revisão da norma não foi possível até a data de publicação deste trabalho.

realiza-se a descrição de todas as técnicas e métodos que serão utilizados na avaliação, tais como a descrição dos parâmetros, abordagem de avaliação, critérios, listas de inspeção, previsão de duração etc. (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2010).

Por fim, na sequência, ocorrem as fases de implementação, documentação e validação. A implementação é a responsável pela execução da avaliação de acordo com todos os parâmetros definidos na etapa do projeto detalhado. O resultado é a coleta de dados e a identificação dos problemas, os quais devem ser devidamente catalogados e organizados de acordo com a prioridade. Enquanto isso, a etapa de documentação realizada o registro detalhado dos procedimentos adotados, bem como os resultados. Nesta fase pode-se, inclusive, anexar propostas de melhorias e soluções que sejam evidentes. Por último apresenta-se a validação, cujo objetivo é verificar se as metas foram devidamente alcançadas.

2.4 INTERFACE GRÁFICA DO USUÁRIO – GUI

Hoje em dia todos os softwares comerciais são produtos desenvolvidos em ambientes gráficos, conhecidos como Interface Gráfica do Usuário (GUI, na sigla em inglês para *Graphical User Interface*). Ainda que o termo faça contraste com os antigos softwares em linha de comando, nos ambientes CAD/CAM/CAE existe um híbrido entre essas duas bases de interação. Especialmente nos softwares CAD, realizar a modelagem geométrica pode ser feito tanto através de linha de comando bem como por meio da interface gráfica. Em muitos casos o primeiro método pode ser mais produtivo que a utilização dos menus e ícones da interface gráfica, especialmente devido aos usuários serem experientes serem mais familiarizados com comandos utilizados nesses sistemas.

Uma vez que esta pesquisa busque meios de aumentar a usabilidade de softwares de modelagem estrutural, e os meios para tal tratem de buscar brechas para melhorias na interface gráfica, é importante descrever os componentes das interfaces gráficas com usuário. Assim, baseando-se em Kim (2015), deve-se destacar os seguintes aspectos com os quais pode-se trabalhar em interfaces gráficas: ícones, menus, barras de ferramentas, formulários e caixas de diálogo e caixas de texto.

Os ícones (figura 8) são objetos gráficos que buscam representar funções que podem ser realizadas quando clicados, e devem ser simples e intuitivos (KIM, 2015). Seguindo esta descrição, buscar manter os padrões adotados em sistemas similares é fundamental, mas não se descarta pesquisas que busquem unificar um ícone que represente um significado mais objetivo que os tradicionais.

Figura 8 – Exemplo de Ícone retirado do Ftool, cuja função é ativar a ferramenta para criar uma carga concentrada em um nó

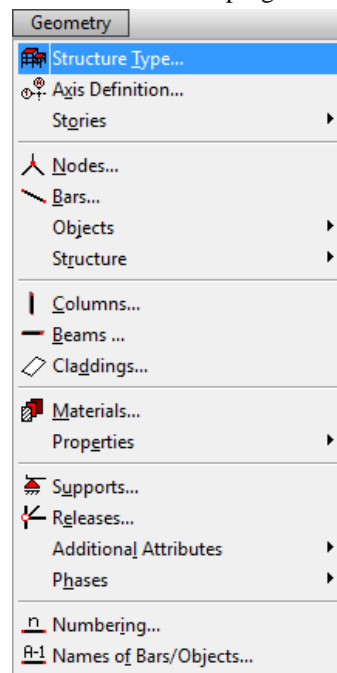


Fonte: MARTHA, 2017

Já os Menus (figura 9, página a seguir) são listas de comandos organizados cujo objetivo é ajudar o usuário a reconhecer qual ferramenta está buscando através de reconhecimento, podendo apresentar apenas textos ou também textos e ícones, e em alguns casos incluem também teclas de atalho. A seleção de itens em um Menu envolve 3 subtarefas: (a) ativar o menu, colocando à disposição a lista de itens presentes, (b) buscar e navegar visualmente através dos itens, e (c) escolher o item desejado (KIM, 2015). Para o caso específico de Menus, pesquisas apontam que estes não devem apresentar mais de 7 itens, uma vez que a memória de trabalho consegue armazenar, na média, até 7 itens, podendo variar de pessoa para pessoa entre 5 e 9 itens (MILLER, 1956).

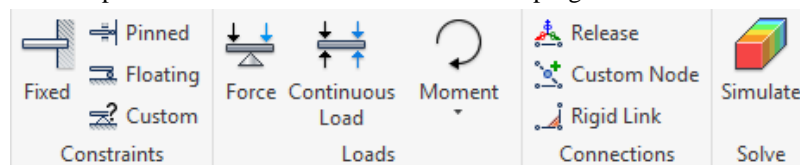
Já as barras de ferramentas (figura 10) são agrupamentos de ícones frequentemente usados, destacados para fácil acesso na interface, podendo ser organizados de modo vertical e/ou horizontal. Na comparação com os *Menus*, as barras de ferramentas apresentam apenas as funções mais importantes, enquanto os *Menus* buscam apresentar todas as ferramentas presentes em determinados agrupamentos. Como resultado da ativação das funções presentes nos softwares, costumam se apresentar as caixas de texto e diálogo, dispostas em formulários (KIM, 2015).

Figura 9 – Exemplo de Menu retirado do programa Robot da Autodesk



Fonte: AUTODESK, 2017a

Figura 10 – Exemplo de barras de ferramentas retirado do programa Inventor da Autodesk



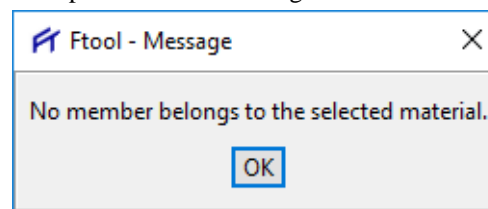
Fonte: AUTODESK, 2017b

Formulários (figura 11) são uma mistura de menus, botões e caixas de textos que se apresentam durante a execução de ferramentas que exigem interações mais complexas, tais como, por exemplo, o preenchimento de uma série de informações geométricas de seções durante a modelagem de uma estrutural. Os botões e ícones se apresentam para executar subtarefas referentes à função, e as caixas de diálogo (figura 12) para exibir avisos e alertas importantes, sendo geralmente dispostas em formulários simples e com apenas duas ações possíveis: *Ok* e *Cancelar* (KIM, 2015).

Figura 11 – Exemplo de formulário utilizado no programa TRAME

Fonte: ORMONDE; SOUZA, 2018

Figura 12 – Exemplo de caixa de diálogo retirado do software Ftool



Fonte: MARTHA, 2017

2.5 CAMADA DE INTERFACE COM USUÁRIO

Sistemas interativos são construídos através de camadas, onde uma delas é a camada de interação com o usuário, outra é o código escondendo toda sua funcionalidade. Assim, a UI (interface do usuário, na sigla em inglês) buscam expor as funções do sistema de modo mais agradável ao usuário através de uma interface gráfica, a qual aguarda dados de entrada para devolver dados de saída (KIM, 2015).

Como explica Kim (2015), a entrada e saída de dados são controladas por mecanismos de interrupção do sistema operacional onde o software funciona. Este mecanismo serve para indicar que um evento, geralmente entrada ou saída de dados, ocorreu e necessita que seja operado. Assim, o sistema suspende a atividade que estava executando para realizar a solicitada pelo usuário ou pelo sistema em utilização, retomando a atividade sistema na sequência. Essa

situação ocorre como parte do ciclo de execução do processador em velocidades muito rápidas, e que quando não ativado, fica dando *loops* aguardando que alguma atividade seja solicitada.

Atualmente, a grande maioria dos softwares são implementados através da programação orientada a objetos, justamente devido sua característica gráfica que facilita a interação do usuário com a interface. Essa comunicação de entrada é realizada através de dispositivos físicos cuja utilização é convertida em eventos, tais como clique de um botão, qual tecla foi pressionada etc., indicando quais as intenções do usuário. Todos os eventos solicitados são postos em uma fila de espera, a qual vai sendo executada sequencialmente pelo sistema operacional. Nesse ponto é fundamental ressaltar que a entrada de dados não obrigatoriamente corresponde à apenas uma entrada física. Uma sequência de comandos físicos também pode formar eventos singulares, tais como um duplo clique ou a entrada de conjunto de teclas, tais como, por exemplo, Ctrl-Alt-Del (KIM, 2015).

Os eventos não precisam obrigatoriamente serem desencadeados por comandos de dispositivos externos; aliás, com frequência eles são gerados internamente por propósitos muito específicos. Um exemplo é reajustar uma janela, a qual como evento principal modifica seu tamanho, enquanto outros eventos são desencadeados na sequência, tais como reajuste de todo o conteúdo interno a janela (KIM, 2015).

A criação de eventos com as quais o computador irá lidar pode ser realizada através de diversas ferramentas, mais conhecidas como Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE na sigla em inglês para *Integrated Development Environment*) (KIM, 2015). Essas ferramentas são aplicativos que compreendem uma diversa gama de recursos para o desenvolvimento de softwares. Uma dessas ferramentas é o RAD Studio da Embarcadero, com o qual pode-se desenvolver programas multiplataformas através da programação orientada a objetos, sendo uma das linguagens disponíveis Delphi. Esses objetos são os responsáveis pela criação de eventos que são lidados pelo computador, e a funcionalidade embutida é realizada através da linguagem Modern Object Pascal no Delphi (EMBARCADERO TECHNOLOGIES, 2019; KIM, 2015).

Também existe maneiras de simular eventos complexos como os desenvolvidos por plataformas como a da Embarcadero. Este é o caso do XD (ADOBE INC., 2019), um software que permite criar designs e protótipos de interfaces. Nele é possível criar pranchetas capazes de simular

formulários, para os quais pode-se definir pontos na tela que funcionam como botões, e assim estabelecendo eventos. Trata-se de uma ferramenta de design prática e de fácil utilização, além de ser de livre distribuição.

Dentre as principais ferramentas do XD estão os fluxos de conexão de protótipos e as animações automáticas. A primeira é responsável por realizar a alternância entre modos de design e protótipo, definindo um fluxo de interação com a interface e suas diversas telas, enquanto o segundo é responsável por fazer a transição entre estas telas. Também é possível realizar o redimensionamento responsivo da tela, tal como IDE são capazes de realizar, além de trabalhar integradamente com outros softwares de design e permitir seu compartilhamento com desenvolvedores, melhorando o trabalho em equipe através do design colaborativo.

2.6 PROCESSO DE MODELAGEM

Apesar de inerente complexidade da atividade de análise estrutural, bem como do funcionamento do software, encontra-se o procedimento de análise estrutural por computador, o qual é relativamente simples. Excluindo-se as etapas opcionais que dependem apenas das limitações ou dos modos de funcionamento dos sistemas, a modelagem de estruturas de barras consiste em uma série de etapas-padrão. Estas fases de modelagem podem ser verificadas na organização dos menus ou disposição dos ícones nos softwares – como no Robot (AUTODESK, 2017a), Inventor(AUTODESK, 2017b), SAP2000 (CSI, 2017), Ftool (MARTHA, 2017b) e TRAME (ORMONDE; SOUZA, 2018), por exemplo -, ou em livros que versam sobre análise matricial de estruturas (ELLWANGER, 2006; GHALI; NEVILLE, 2017; MCCORMAC, 2007; MCGUIRE; GALLAGHER; ZIEMIAN, 2000). A ordenação segue conforme apresentado a seguir:

1. Definição dos materiais envolvidos;
2. Definição das seções utilizadas;
3. Desenho da disposição geométrica da estrutura;
4. Atribuição das restrições dos nós, quando aplicáveis;
5. Designação das cargas, carregamentos e combinações.

Essa organização segue a ordem utilizada especialmente para o Método da Rigidez Direta, um dos métodos matriciais utilizados para cálculo de estruturas através de computadores. Explicar sobre esse assunto não faz parte do escopo desta pesquisa, porém é necessário destacar que, apesar de ser verificada essa ordenação para o processo de modelagem, outras etapas fazem parte da modelagem via computador. Entretanto, essas demais etapas eram realizadas nas origens da modelagem por computador quando a modelagem geométrica não era realizada através de desenhos, mas sim através da entrada de coordenadas. Hoje em dia modelar a geometria de uma estrutura automaticamente resulta na criação de eixos, para posterior atribuição de coordenadas (ELLWANGER, 2006).

Além disso, em alguns softwares apresentam a necessidade de se definir o tipo estrutural que será adotado durante o cálculo da estrutura. Isso resulta na possibilidade de aumentar ou diminuir as dimensões em que as cargas podem ser aplicadas, ou ainda apenas simplificar uma estrutura durante seu cálculo. O primeiro caso significa considerar que o cálculo da estrutura será feito considerando apenas as dimensões de uma treliça plana ou espacial, de um pórtico plano ou espacial, ou ainda uma grelha. Isso resulta que as forças e os momentos aplicados na estrutura podem ser modelados apenas de acordo com as restrições de cada um dos tipos estruturais citados, afetando o processo de modelagem, bem como as etapas de cálculo realizadas posteriormente (ELLWANGER, 2006).

A modelagem, porém, não se trata de uma atividade que possa ser realizada de modo simples apenas descrevendo suas etapas. No escopo desta pesquisa, entender como as etapas interagem umas com as outras é fundamental, pois é necessário compreender os meios de interação possíveis do usuário com o software. Utilizar fontes teóricas não permite explicar como essas atividades se relacionam, e por isso ter experiência e conhecimento profissional dos programas se torna fundamental. Por este motivo este pesquisador desenvolveu um item explicando, de acordo com sua experiência e conhecimento dos softwares de modelagem estrutural existentes, dois métodos de interação observados durante a modelagem estrutural que não podem ser vistos na literatura, porém são fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

2.6.1 Observações

Os passos comentados no item anterior são a parte básica da modelagem estrutural, e sua sequência não é obrigatoriamente linear. De um modo organizado, esse ordenamento como disposto acima é o mais adequado, porém retomar alguma dessas etapas fora de uma ordem temporal ocorre com frequência. Além disso, a lógica de alguns softwares torna essas fases independentes entre si, enquanto outros são mais rígidos e mantêm dependência entre si, exigindo que uma etapa tenha sido realizada antes de outra. Essas duas lógicas adotadas pelos softwares para a modelagem estão expostas nas figuras 13 e 14 (na página a seguir), onde a primeira apresenta a ordenação linear e a segunda apresenta a ordenação não-linear.

Na prática, ambos os processos acabam sendo utilizados durante a modelagem, sendo a linear adotada no início da modelagem, e a segunda adotada durante aprofundamentos da análise, correções, edições, alterações ou até mesmo devido esquecimento de configuração de algumas das informações das etapas de modelagem.

A linear é adotada, frequentemente, como uma espécie de *Wizard* que ajuda na configuração dos materiais, seções, cargas e até restrições que apresentam uso previsto antes da etapa de modelagem que compreende o desenho. Já a não-linear compreende a necessidade de configuração de outras características não configuradas na etapa linear. Isto significa que ela apresenta certo grau de aleatoriedade, e pode ocorrer inúmeras vezes durante qualquer etapa da modelagem.

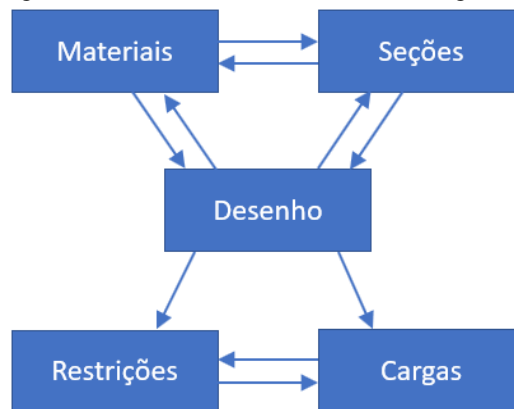
Como o cálculo estrutural parte de um projeto inicial, todas as suas características já devem estar previamente definidas. Assim, o primeiro passo a ser realizado é configurar todos os materiais que devem ser utilizados durante a modelagem, bem como as seções. Esse é especialmente o caso de projetos arquitetônicos, quando antes do início do projeto estrutural já está definido se a estrutura será de concreto ou em aço – ou inclusive misto, além de outras combinações. Dentro dos requisitos de projeto pode haver, no caso da definição de seções, um catálogo limitado definido de acordo com o fabricante ou fornecedor do material, especialmente em estruturas pré-moldadas.

Figura 13 – Processo linear de modelagem



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14 – Processo não-linear de modelagem



Fonte: elaborado pelo autor

Dentro desses dois passos é importante perceber a relação entre a definição da seção e do material, uma vez que as seções só podem ser definidas posteriormente aos materiais. Apesar disso, também deve-se observar que no caso de estruturas de concreto moldado *in loco*, há maior liberdade nas dimensões das seções, mas a mudança de materiais entre vigas, por exemplo, não costuma ser comum, ainda que seja possível. A nível educacional, permitir a liberdade de se editar seções e materiais, sem criar a relação entre elas, é importante para facilitar a observação do comportamento das diferentes seções e materiais nas estruturas.

Na sequência ocorre a etapa de desenho geométrico da estrutura, onde cada barra é desenhada de acordo com o projeto do produto já definido. Esta etapa, dentro de uma sequência lógica, deve ser iniciada com todas as seções e materiais de cada barra previamente selecionados. Apesar disso, pode ser importante permitir o desenho geométrico da estrutura sem a atribuição dos materiais, para apenas posteriormente definir como serão as seções e materiais. Esse último caso, porém, não costuma ser realizado na prática profissional, mas pode ser importante a nível educacional.

Apenas de posse do desenho da estrutura que se pode aplicar as restrições e as cargas, sendo entre essas duas últimas não havendo a obrigatoriedade de realizar uma antes da outra. Ainda assim, mantendo uma linearidade, restringir os movimentos de uma estrutura antes de aplicar cargas seria o procedimento mais lógico, uma vez que sem as restrições a estrutura mover-se-ia. Trata-se, porém, apenas de uma ordem baseada em bom senso, uma vez que o modelo em questão é virtual e não apresenta comportamento em tempo real durante a modelagem.

Observando-se, tanto das descrições do procedimento como das figuras 13 e 14, o principal passo para modelagem se encontra do desenho geométrico da estrutura. Todas as demais tarefas são adjacentes a ela, e sem obrigatoriedade de ocorrerem de antes, ainda que, como foi explicado, dentro de uma lógica de organização, esta não seja a primeira etapa. É a partir do desenho que a atribuição dos materiais, seções, restrições e cargas fazem sentido. De um modo geral, é possível realizar a modelagem geométrica, e apenas posteriormente ir atribuindo-se as características físicas da estrutura individualmente.

O problema de cada um dos processos é que, no linear, consegue-se agrupar todas as características para posterior edição delas em grupo, facilitando a mudança de vários dados de uma só vez. Por outro lado, o processo não linear possibilita a edição individual de uma característica sem que todas as demais sejam igualmente modificadas. Deste modo, a considerar o contexto, cada um dos processos apresenta seu ponto forte, e encontrar um modo de permitir que ambos sejam adotados pode ser um dos aspectos fundamentais para melhorar a produtividade destes softwares.

2.7 VALIDAÇÃO DE ARTEFATOS

Quando se trata de uma pesquisa cujo resultado depende de um artefato, é fundamental que a pesquisa seja validada através de testes de avaliação de artefatos. Ou seja, uma pesquisa cuja base encontra-se no design de algum produto, torna este a validação daquele, o que significa embasar a conclusão da pesquisa com segurança.

A avaliação de artefatos significa desenvolver evidências capazes de comprovar que um artefato é capaz de resolver os problemas para o qual foi criado. Para tal são sugeridos cinco meios para realizar a avaliação de artefatos. Estes meios são as avaliações observacional, analítica, experimental, teste e descritiva (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

A avaliação observacional é constituída na observação da utilização de um artefato em determinado contexto para o qual foi desenvolvido, realizando um estudo aprofundado. Isto significa que é necessário boa amostragem de como este artefato se sai nas mais diversas situações. Já a avaliação analítica busca avaliar o artefato através de métodos e técnicas que permitem verificar sua arquitetura interna e a maneira como interagem com o ambiente externo, buscando verificar o artefato em termos de acréscimo ao sistema e seu desempenho (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

Hevner *et al.* (2004) propôs a avaliação experimental, e dividiu em experimentos controlados ou simulação. A experimental pode ser realizada, portanto, através de modelos, físicos ou não, desde que sejam capazes de simular o ambiente real para que o artefato possa ser avaliado. Por outro lado, ainda existem os testes, os quais são divididos em black box e white box, onde o primeiro constitui-se em um teste com as funcionalidades do artefato, e o segundo constitui um teste que avalia apenas parte do sistema, sem que ele seja de fato funcional. Ou seja, o black box busca avaliar, por exemplo, a consistência dos caminhos para os quais o artefato foi desenvolvido, sem que seja necessário realizar tarefas internas complexas. Ainda há o grey box, o qual prevê uma mistura do black e white box, porém com limitado conhecimento das funcionalidades internas do sistema (MOHD EHMER; FARMEENA, 2012).

A última forma de avaliação é a descritiva, a qual tem por objetivo demonstrar a utilidade do artefato, o qual pode ser realizada através de argumentos baseados na literatura, ou construir

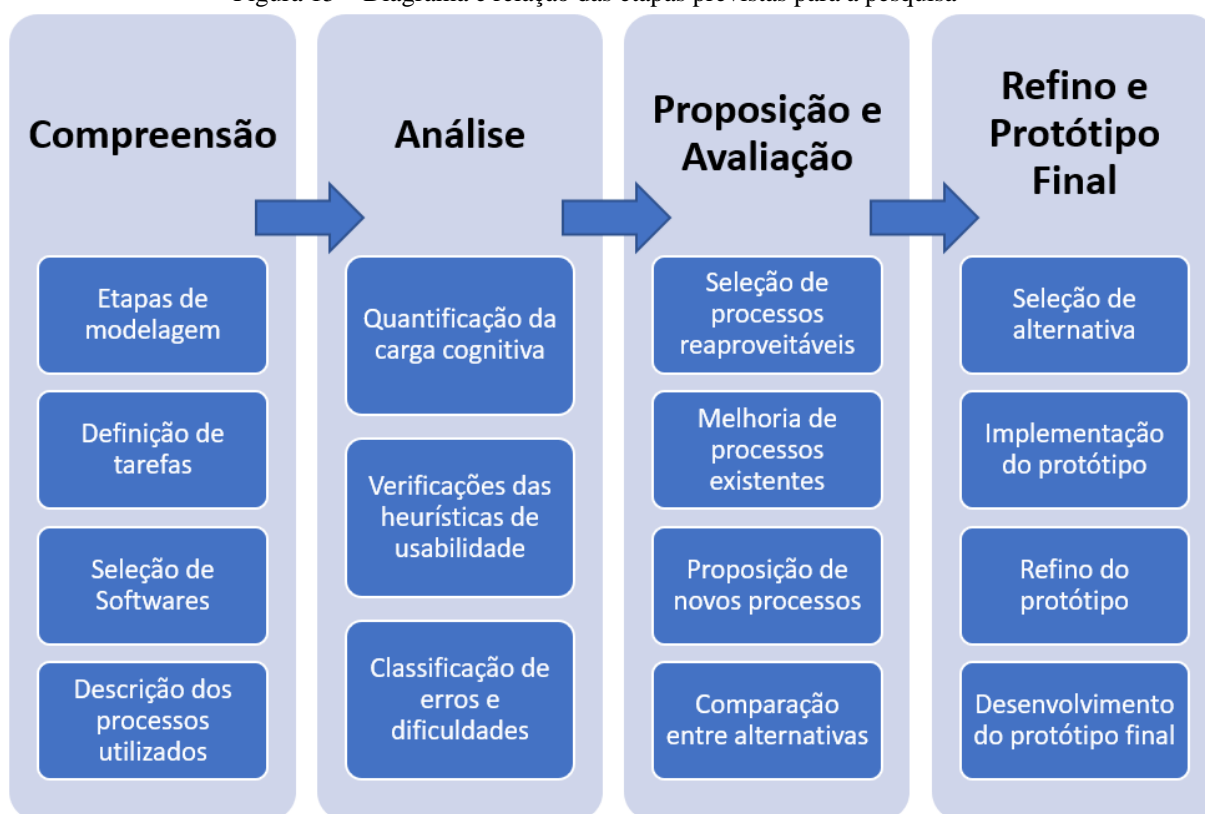
um cenário, descritivamente, capaz de demonstrar sua utilidade dentro de contextos (HEVNER *et al.*, 2004).

A escolha do método de avaliação depende do artefato e das exigências necessárias para validação do artefato. Quando o artefato depende de sua funcionalidade, por exemplo, deve-se buscar testá-lo a fundo, o que poderia ser feito através de um teste black box, ou até mesmo experimentalmente. Quando se busca comprovar sua funcionalidade em diversas situações, ou com diversos usuários, indicando uma avaliação mais completa e complexa, uma avaliação observacional surge como a mais indicada. Deste modo, utilizar o método de avaliação mais indicado contribui para a validação do artefato, atribuindo confiabilidade e segurança aos resultados (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo visa descrever todos os passos previstos para o desenvolvimento desta pesquisa. Conforme explica Köche (2009, p. 134–135) é nesta parte onde “deve-se esclarecer os procedimentos, técnicas e instrumentos utilizados na coleta e análise de dados com objetivo de testar as hipóteses”. É deste modo que uma pesquisa se torna apta para ter sua validade reconhecida, permitindo “que o leitor possa compreender, identificar e avaliar os procedimentos utilizados para a investigação da pesquisa”. Ainda, contribuindo para explicar e acrescentar a importância desta etapa, Dresch, Lacerda e Antunes (2015) afirmam que, além de definir e explicitar as técnicas e procedimentos adotados durante a coleta e análise dos dados, também deve-se esclarecer as motivações e justificativas para tais escolhas, contribuindo para o cumprimento e aumento da qualidade da pesquisa.

Figura 15 – Diagrama e relação das etapas previstas para a pesquisa



Fonte: elaborada pelo autor

Dado o objetivo, a importância e a contribuição deste capítulo, foi elaborado um diagrama – figura 15 – que apresenta um resumo das etapas previstas. Estas fases são definidas de acordo

com os 4 objetivos descritos no item 1.7, sendo as etapas de compreensão, análise, e de proposição e avaliação, responsáveis por descrever as subetapas necessárias para alcançar cada um dos objetivos específicos. De mesmo modo, a fase de refino e modelo final busca o cumprimento da última etapa de desenvolvimento da pesquisa, que é responsável pelo último passo para alcançar o objetivo principal da pesquisa. Como pode-se notar da figura 15, o cumprimento, na sua totalidade, de cada uma dessas etapas depende do cumprimento integral das etapas anteriores.

Neste ponto, é importante apresentar a metodologia a ser adotada durante o desenvolvimento da pesquisa. Assim, baseado no item 2.3, são realizadas algumas adaptações para compor o projeto de desenvolvimento das avaliações para esta pesquisa. Conforme Cybis; Betiol; Faust (2010), as etapas que devem ser cumpridas são: análise, projeto preliminar, projeto detalhado, implementação, documentação e validação. A etapa de análise compreende quais aspectos devem ser avaliados, o que compõem, para este trabalho, a avaliação da usabilidade de softwares de análise estrutural. Enquanto isso, o projeto preliminar compõe a seleção do método KLM-GOMS para mensurar a carga cognitiva, bem como seus procedimentos de utilização conforme descrito no item 2.2.1.2. Para cada atividade do processo de modelagem deve ser atribuído um método de acordo com o software em análise, para o qual serão descritos os passos necessários, seguido dos operadores que os descrevem, para enfim realizar a quantificação do tempo total de modelagem. Algumas verificações e observações serão realizadas em relação as heurísticas de usabilidade, porém sem realizar avaliações sobre suas diretrizes.

A seguir se desenvolve o projeto detalhado, a implementação das avaliações através das ferramentas propostas, e a documentação gerada como resultado das avaliações. Estes 3 itens do projeto de desenvolvimento das avaliações estão descritos nos itens de 3.1 a 3.3 a seguir. Na sequência, a nível de validação dos resultados, realiza-se as atividades estabelecidas no item 3.4, que descreve os procedimentos da etapa de refino e modelo final. Esta última é a etapa responsável por gerar o produto final desta pesquisa, resultando na confirmação ou não da hipótese.

3.1 PRIMEIRA ETAPA: COMPREENSÃO

Primeiramente deve-se definir, de um modo abrangente, os passos que precisam ser realizados para completar o processo de modelagem de uma estrutura, i.e., determinar a composição de etapas básicas que precisam ser cumpridas para realizar a modelagem de uma estrutura. Esta subetapa da compreensão pode ser desenvolvida através de levantamento bibliográfico, e do estudo de softwares através da modelagem de estruturas. O levantamento bibliográfico revela-se, porém, uma fonte mais descritiva e capaz de interligar cada uma das fases de modelagem de modo teórico e explicativo, enquanto o estudo de softwares permite verificar, de modo empírico, o procedimento geral de modelagem como um todo, como por exemplo constatar que a modelagem de uma estrutura não apresenta apenas um método linear de desenvolvimento. Estas constatações foram realizadas por este pesquisador, e constituem informação fundamental para pesquisas que buscam prever o comportamento humano e quantificar a carga cognitiva da interação com uma interface

A conclusão desta subetapa da compreensão resulta na apresentação do item 2.6, o qual trata do processo de modelagem. Posteriormente foram desenvolvidas as observações realizadas em relação a constatação da existência dos dois procedimentos de modelagem: linear e não linear. O estabelecimento desses procedimentos resulta na possibilidade de estabelecer as tarefas que devem ser realizadas pelo usuário.

A definição das tarefas deve ser realizada visando abranger todo o processo de modelagem básico. Devido a modelagem estrutural ser uma atividade mais relacionada com a prática profissional do que estudo científico, a definição de tarefas que considerem a realidade do emprego dos softwares é fundamental. É por isso que, por exemplo, definir materiais e seções vendidas comercialmente se faz fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, assim como prever uma estrutura minimamente realista, além de prever as fases pelos quais projetos estruturais passam. Um exemplo desta previsão é considerar que um projeto pode ser modificado, resultando na edição da estrutura em seus mais diversos campos, tal como geometria, materiais, seções e condições de contorno.

A caracterização das tarefas, com vistas no conceito desta pesquisa, não pode ser realizada através de levantamento bibliográfico. Pelo contrário, trata-se de uma etapa que deve ser elaborada de modo empírico, baseado na experiência de usuários, e na investigação e previsão

de diversos possíveis cenários. Uma vez que este pesquisador apresenta experiência na área, é dispensável a utilização de usuários para a elaboração da caracterização das tarefas. Deve-se notar, porém, que o resultado dessas considerações em relação aos cenários possíveis revela uma série muito grande de possibilidades. É por este motivo este autor define tarefas simples, ainda que considerando as possibilidades mais corriqueiras no desenvolvimento da atividade de modelagem estrutural.

A determinação das tarefas é baseada nas etapas do procedimento de modelagem, de tal modo que cada atividade é definida por um método de modelagem. Já a sequência das atividades é dada por todos os métodos que compõem o processo como, por exemplo, a atividade de ‘Definição de materiais’, seguida pela “Definição das seções”. É necessário notar, porém, que se deve considerar tarefas complementares as anteriores, como por exemplo editar informações de material já configurado, criar um material, e até mesmo alterar o material de uma barra já definida. A sequência das atividades segue o conceito da modelagem linear, enquanto os exemplos complementares descrevem o método não linear de modelagem.

A sequência das tarefas é bem estabelecida em um primeiro momento, o qual compreende a modelagem linear. Assim as atividades referem-se, sequencialmente, a definição de materiais, definição das seções, desenho da estrutura, criação e definição das restrições e criação e atribuição das cargas. As atividades futuras que são previstas pela modelagem não-linear não apresentam ordenamento, podendo ser realizadas de modo aleatório. Assim, a definição da ordem dessas atividades não apresenta sequência pré-estabelecida e, portanto, elas serão definidas durante o desenvolvimento da etapa de análise.

A definição do objetivo de cada atividade deve ser bem realizada. Como exemplo apresenta-se o quadro 5 na sequência, o qual atribui a atividade 1 como sendo a definição de um material que segue as instruções da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), esclarecendo que será configurado um aço com nomenclatura bem definida, e com a apresentação das propriedades físicas que podem ser requisitadas pelos softwares.

Quadro 5 – Descrição da atividade 1, que compreende a definição de um material, bem como definição de qual material deve ser configurado nesta tarefa, seguido das especificações técnicas que devem ser utilizadas.

<p>Atividade 1: Definição de um material. Aço seguindo as instruções da NBR 8800:2008</p> <p>Nome: Aço A36 (norma ASTM)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensão de Escoamento: 250 MPa • Tensão de Ruptura: 400-550 MPa (adotado valor inferior) • $E = 200\ 000\ \text{MPa}$ • $G = 77000\ \text{MPa}$ (quando solicitado) $G = E/[2*(1+\nu)]$ para materiais isotrópicos • Poisson = 0,3 • $7850\ \text{kg/m}^3$

Fonte: elaborado pelo autor

A próxima sub etapa da compreensão refere-se aos softwares levantados. Para realizar a seleção, previamente foi desenvolvido um levantamento dos softwares existentes no mercado – Apêndice A. O excesso e a dificuldade de estabelecer critérios capazes de filtrar e diminuir a quantidade de programas para números que permitissem o desenvolvimento deste trabalho, resultaram em critérios baseados no conhecimento do pesquisador sobre a utilização e familiarização dos softwares pela comunidade acadêmica e comercial da modelagem estrutural, bem como a facilidade de acesso a eles. Por exemplo o TRAME (ORMONDE; SOUZA, 2018) e o Ftool (MARTHA, 2017b) são softwares muito populares em nível acadêmico, e são softwares de uso livre, desenvolvidos como resultados de pesquisas na USP e PUC-Rio, respectivamente.

Outros softwares, neste caso não-livres, apresentam políticas de licenças educacionais que facilitam o uso e acesso para estudantes, como é o caso dos softwares da Autodesk®, promovendo seu uso a nível comercial. Apesar disso, existem outros softwares não disponíveis educacionalmente, mas muito conhecidos e utilizados no mundo inteiro por profissionais da área, seja comercialmente, seja academicamente, e que conseqüentemente podem ser considerados como principais softwares de modelagem estrutural existentes no mercado. Este último é o caso do SAP2000 (CSI, 2017).

O resultado é a seleção de 5 softwares conhecidos, sendo dois deles de análise em 2D usados em âmbito educacional, e outros 2 para análises em 3D utilizados no mercado de trabalho, e um outro, de fácil acesso através de licença educacional, cujo enfoque é realizar simulações

mecânicas de produtos, mas que permite análise de pórticos. Estes softwares serão avaliados através do KLM-GOMS em relação as mesmas tarefas. As explicações para a adoção destes softwares se dão logo na sequência. Assim, lista-se:

- Ftool – Two-Dimensional Frame Analysis Tool (versão 4.00.03), idealizado pelo Professor Luiz Fernando Martha do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio;
- TRAME 5.0.4, software educacional livre para análise de pórticos planos, capaz de realizar análises lineares e não lineares, resultado da dissertação de mestrado do Professor Paulo Ormonde;
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018, software utilizado para analisar o efeito de cargas estruturais;
- CSI SAP 2000 (versão 20.0.0), programa tradicional de análise estrutural em 3D no Brasil;
- Autodesk Inventor Professional 2018, software CAD e de projeto mecânico e que permite análise de pórticos.

O objetivo principal desta seleção é abranger uma série de diferentes possibilidades que podem ser encontradas nos softwares em relação a modelagem. Os dois primeiros buscam atender as necessidades educacionais, bem como se restringem às análises em 2D. Os demais apresentam análises em 3D, porém o Robot (AUTODESK, 2017a) e o SAP2000 (CSI, 2017) são usados para análise de barras de edificações, além de fazer análises de tensões de superfícies e volumes. Por fim, a seleção do Inventor (AUTODESK, 2017b) se dá pelo seu enfoque em análise de tensões, apesar de conter análise de barras. Além disso, este último não foi elaborado para uso em projetos de grandes dimensões, mas sim para modelagem de peças mecânicas, uma vez que busca facilitar o processo de desenho deste tipo de objetos.

A seleção de softwares de lançamento de estruturas em 2D e 3D resulta em algumas ponderações que devem ser consideradas. Uma delas é a definição de geometrias distintas para os softwares 2D e 3D. Para o primeiro deve ser considerada a mesma estrutura, porém de modo simplificado, tal como considerar apenas um dos pórticos em 2D da estrutura completa em 3D. Isso torna-se razoável na medida que a estrutura em 3D seja modulada, como por exemplo um pórtico para estacionamento coberto de veículos. A outra ponderação é a importância de considerar softwares mais simples que, além de apresentar uma interface menos complexa, costuma apresentar processos mais simplificados. Considerar a modelagem em softwares

simples e complexos resulta numa maior variabilidade de modos de interação para modelagem estrutural, bem como diferentes abordagens que podem agregar diferentes conceitos na elaboração de novas alternativas que visam substituir as já existentes nos softwares selecionados, ou inclusive gerar alternativas híbridas.

Enquanto isso, a descrição dos processos necessários para realização de uma atividade de acordo com cada software ocorre apenas após a definição das atividades que devem ser realizadas. Essa etapa de descrição das etapas de cada método será realizada por meio dos recursos do KLM-GOMS, pois ele é capaz de descrever o procedimento de realização das tarefas de modo específico e objetivo. Assim, primeiro deve-se saber qual atividade deve ser executada, com todas as especificações claras da atividade, para então realizar a descrição das etapas dos métodos necessários de serem desenvolvidos em cada um dos softwares. O resultado é o passo-a-passo das tarefas desenvolvidas, apresentando o que é desenvolvido em cada um, para posterior codificação dos operadores seguida pela quantificação dos tempos gastos em cada um desses passos. Como exemplo é mostrado a tabela 1 que apresenta a descrição de cada passo necessário para realizar a atividade de definição de materiais.

Tabela 1 – Exemplo de definição do passo-a-passo para a atividade de definição de material pelo Ftool

Atividade 1: Definição de materiais			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Parâmetros de Materiais"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Parâmetros de Materiais"		K [click]
3	Alcançar botão "Criar novos parâmetros de materiais"	M	P [botão]
4	Clicar no botão "Criar novos parâmetros de materiais"		K [click]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Digitar nome para novo material (Aço A36)	5	K [ço 36]
7	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Aço A36)	2	K _s [AA]
8	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
9	Alcançar botão "Tipo de material"	M	P [botão]
10	Abrir a lista "Tipo de material" no ComboBox		K [botão]
11	Alcançar tipo de material (Aço)		P [opção]
12	Clicar na opção (Aço)		K [material]
13	Alcançar botão "Done"	M	P [botão]
14	Clicar no botão "Done"		K [click]
15	Alcançar campo para edição do módulo de elasticidade	M	P [campo]
16	Pressionamento do botão do mouse para seleção do valor a ser alterado	0,5	K [click]
17	Percorrer o trecho a ser alterado (5)		P [valor]
18	Soltar botão do mouse	0,5	K [click]
19	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
20	Digitar novo valor (0)		K [0]
21	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
Fim da Atividade 1			

Fonte: elaborada pelo autor

3.2 SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE

A segunda etapa visa atingir o segundo objetivo específico, cuja meta é analisar as dificuldades de interação encontradas, e a partir disso permitir classificá-las para definir pontos de prioridade capazes de melhorar a usabilidade durante o processo de modelagem. Para tal, o método KLM-GOMS é capaz de quantificar a carga cognitiva prevista, sem a utilização dos usuários, durante o desenvolvimento das atividades que devem ser cumpridas. Ainda, paralelamente a ferramenta KLM-GOMS, serão utilizadas as heurísticas como orientadores na verificação dos softwares e alternativas, mas sem realizar uma avaliação heurística quantificável. Isto é, as heurísticas não serão utilizadas como avaliadoras, mas sim como meio de promover a usabilidade através de verificações e observações em relação as interfaces em estudo, e orientar na criação de novas interfaces.

É importante retomar que, por usuário experiente, o KLM-GOMS quer dizer que o método que este usuário adota é o mais rápido, ainda que existam outros, e por isto durante a modelagem preditiva deve-se considerar justamente este mesmo método. Isso significa que se deve levantar e mensurar todos os métodos possíveis, permitindo assim considerar, de fato, qual é o método que seria adotado por tal usuário experiente. Como este pesquisador é graduado em engenharia civil, bem como é familiarizado e experiente em relação as atividades relacionadas a modelagem estrutural, realizar a análise de todos os métodos torna-se desnecessário, pois já são conhecidos os métodos e passos que são realizados. Isto resulta na otimização da utilização desta ferramenta de predição da carga cognitiva, pois não há necessidade de varrer todas as possibilidades existentes em busca da mais rápida, podendo-se considerar diretamente qual, ou quais, os métodos são utilizados de fato. Além disso, também é importante recuperar que se considera que usuários experientes não cometem erros durante a execução da atividade, e por isso não são previstos tempos gastos devido a erros.

Deste modo, o resultado será uma lista com a codificação e quantificação da carga cognitiva do método realizado para cada atividade e para cada software, permitindo comparação entre eles. A realização das verificações e observações heurísticas servirá de complemento, e será considerada como uma atividade extra para realizar uma análise mais abrangente da usabilidade dos softwares selecionados. Como consequência, torna-se exequível classificar os conceitos e processos adotados pelos softwares, assim como, quando pertinente, onde apresenta-se erros ou dificuldades na execução das tarefas.

A quantificação da carga cognitiva será produzida por este pesquisador de acordo com o estabelecido no item 2.2.1.2, o qual apresenta a ferramenta KLM-GOMS e como deve ser calculada a previsão do tempo que um usuário experiente gastaria. Deve-se lembrar que é dispensável a utilização de usuários que não seja o pesquisador/desenvolvedor na aplicação desta ferramenta. O resultado será, como exemplo, semelhante ao encontrado na tabela 2. Essa tabela apresenta colunas que referem o número do passo do método para realização da atividade, seu operador e quantidades de uso, para totalizar o tempo utilizado em cada um. Ao final da tabela são apresentados os tempos totais gastos durante o desenvolvimento das atividades, bem como uma divisão de percentual de tempo gasto em função do tempo total.

Tabela 2 – Exemplo de quantificação do passo-a-passo para a atividade de definição de material pelo Ftool

#	Qtd	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo
1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
3	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
4	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
6	5	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
7	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
8	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
9	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
10	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
11	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
12	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
13	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
14	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
15	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
16	0,5	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
17	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
18	0,5	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
19	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
20	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
21	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
T.T.Op. (s)		6,75	1,60	7,70	2,40	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,99
%		35,5%	8,4%	40,5%	12,6%	2,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Fonte: elaborada pelo autor

Importante notar que, para manter a uniformidade e consistência da fórmula utilizada para o desenho de linhas – operador D –, será utilizado um monitor de notebook com tela de 15”. Devido esta configuração, o valor de comprimento (l_D) a ser preenchido na fórmula $0,9n_D + 0,16l_D$ considerará um aproveitamento de 80% da dimensão horizontal da tela, totalizando 30 centímetros. Portanto, a fórmula 1 apresenta qual valor l_D deve ser adotado.

$$I_D = C * L_R / L_{RT} \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

I_D = comprimento total das linhas do desenho na tela, dado em cm;

C = comprimento de aproveitamento da tela, dado em cm (neste caso, 30 cm);

L_R = comprimento máximo horizontal do desenho em tamanho real (a unidade deve ser a mesma de L_{RT});

L_{RT} = perímetro total das linhas do desenho em tamanho real (a unidade deve ser a mesma de L_R).

Finalizado o levantamento da carga cognitiva, será elaborado uma ficha com a compilação destes dados, além de acrescidas informações acerca de observações sobre heurísticas de usabilidade. Estas serão guiadas de acordo com a compilação estabelecido no trabalho de Pechansky (2011) conforme o apresentado em 2.2.2, as quais referem-se a: autonomia, consistência, eficiência, flexibilidade, simplicidade e tolerância.

A catalogação dos dados levantados será desenvolvida com a criação de fichas, sendo elas baseadas no apresentado pelo item 2.2.3, apesar de apresentar algumas diferenças. Originalmente elas seriam elaboradas diretamente de acordo com a identificação do problema, a partir do qual se desenvolveriam as demais etapas. Todavia, uma vez que o objetivo é compilar os dados encontrados por cada software para cada atividade, a ficha apresenta, previamente, a definição de qual atividade foi realizada, qual seu objetivo e especificações. Quando apresentar uma subatividade relacionada, ela é especificada na sequência; quando não houver, as ramificações de subatividade somem, diminuindo um nível do índice apresentado no quadro 6. Na sequência, a ficha segue seu formato de ramificação definindo o software para o qual será registrado o levantamento (que por sua vez se ramifica na descrição da atividade de acordo com este software, seguido da carga cognitiva encontrada pelo KLM-GOMS, depois observações quanto as heurísticas de usabilidade e outras observações). Terminados os levantamentos por todos os softwares, segue a identificação do problema, a descrição do problema, a frequência da tarefa, o efeito sobre a tarefa e a sugestão de solução.

Quadro 6 – Simplificação da organização das ramificações das fichas para catalogação

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Atividade 1: Descrição, objetivo e especificações (quando aplicável) <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Atividade 1.1 (quando aplicável): especificações; <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1. Software 1: nome do software; <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1.1. Descrição (tabela) do desenvolvimento da atividade; 1.1.1.2. Quantificação (tabela) da carga cognitiva pelo KLM-GOMS; 1.1.1.3. Observações heurísticas; 1.1.1.4. Outras observações; 1.1.2. Software 2: nome do software; <ol style="list-style-type: none"> 1.1.2.1. Descrição (tabela) do desenvolvimento da atividade; 1.1.2.2. Quantificação (tabela) da carga cognitiva pelo KLM-GOMS; 1.1.2.3. Observações heurísticas; 1.1.2.4. Outras observações; 1.1.3. ... 1.2. Atividade 1.2 (quando aplicável): especificações; <ol style="list-style-type: none"> 1.2.1.1. ... 1.2.2. ... 1.3. Identificação dos problemas; 1.4. Descrição dos problemas; 1.5. Frequência da tarefa; 1.6. Efeito sobre a tarefa; 1.7. Sugestões de solução; 2. Atividade 2: Descrição, objetivo e especificações (quando aplicável) <ol style="list-style-type: none"> 2.1. ... |
|---|

Fonte: elaborado pelo autor

A consequência desta catalogação por fichas é a possibilidade de priorização de aspectos capazes de melhorar significativamente o processo de modelagem, uma vez que os dados são apresentados de modo organizado. A seleção dos aspectos que serão priorizados será resultado, primeiramente, da comparação do total de carga cognitiva aferida, seguido pelas considerações em relação as heurísticas. Se ainda necessário, considera-se a frequência com que a tarefa é executada e, por fim, a facilidade de implementação da sugestão, ainda que esta última se trate de uma qualidade puramente subjetiva.

3.3 TERCEIRA ETAPA: PROPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO

A terceira etapa visa compilar os melhores aspectos dos softwares de acordo com os resultados de carga cognitiva obtidos na fase anterior da pesquisa, bem como, a partir desses resultados, gerar novos conceitos que podem ser utilizados nos processos de modelagem. Através da

priorização de aspectos que podem ser melhorados, também se torna possível estabelecer quais, dentre os processos de modelagem estudados, são passíveis de ser integrados ao novo modelo, seja integralmente, ou seja parcialmente.

Em casos em que a criação de novos processos se tornar imprescindível, esta será realizada com base na carga cognitiva, porém promovendo a usabilidade através das heurísticas na concepção do novo processo. Nesta etapa, porém, não será implementada computacionalmente nenhuma solução, sendo elas avaliadas apenas a nível conceitual, desconsiderando-se a funcionalidade das ferramentas. Trate-se, portanto, de uma etapa teórico-conceitual da pesquisa, onde a concepção destes novos processos será realizada pelo próprio pesquisador, e será fundamentada em processos já existentes em softwares, seja de análise estrutural ou não.

A idealização de novos processos baseará sua concepção de acordo com o estudo de quais operações costumam gastar maior tempo de execução pelos usuários. Através destes operadores, será possível verificar os principais pontos fracos das interfaces já existentes, ou das novas interfaces sugeridas, bem como verificar onde elas podem ser melhoradas ou alteradas.

A seleção de processos reaproveitáveis lida com as ferramentas que apresentaram poucos – ou nenhum – problemas de usabilidade claros ou importantes. Eles são detectados através das fichas elaboradas na segunda etapa e, portanto, são resultados da quantificação da carga cognitiva e das verificações e observações das heurísticas de usabilidade. É importante considerar, porém, que processos existentes são sempre suscetíveis a mudanças e, portanto, considera-se que são sempre passíveis de aperfeiçoamento. É neste ponto que a melhoria de processos já existentes entra em questão.

É previsto a realização de atividades que apresentem excelente resposta em relação a carga cognitiva, mas que apresentem graves problemas em relação as orientações heurísticas de usabilidade. Este é um exemplo que trata da seleção de um procedimento já existente, o qual pode ser reutilizado com a criação de soluções para aperfeiçoamento dos problemas detectados. Do mesmo modo, também é previsto que atividades sejam realizadas de modo exemplar a nível de usabilidade, mas com problemas em relação a carga cognitiva mensurada.

Os métodos que houver alta carga cognitiva medida passarão por trabalhos de busca por soluções visando a diminuição de sua carga cognitiva, mas buscando manter as bases do

procedimento em estudo. Assim como durante a criação de novos processos, nesta etapa é fundamental analisar em quais operadores encontra-se os maiores problemas no desenvolvimento da atividade, uma vez que estes apresentam o maior potencial para otimização.

Em ambos os casos citados em relação as combinações de problemas de usabilidade e carga cognitiva, as soluções encontradas devem passar por novas avaliações através do KLM-GOMS, porém sempre promovendo e tendo como base as heurísticas de usabilidade. Todas as novas soluções, sejam as criadas ou as melhoradas, devem ser classificadas juntamente com as fichas de catalogação elaboradas na etapa 2.

A proposição de novas alternativas, porém, é a principal atividade desta pesquisa. Trata-se de uma resposta aos processos que apresentarem carga cognitiva considerada muito elevada, sendo fundamental propor novos processos que não são encontrados nos softwares em estudo, uma vez que estes falham em propor um método de interação que possa ser considerado eficiente. O levantamento de novos procedimentos será orientado através das heurísticas de usabilidade, e se permitirá que tenham origem em conceitos utilizados nos softwares estudados, bem como de outros softwares de outras áreas, não restringindo, pois, o processo criativo. Assim como nos casos anteriores, estes novos modelos devem ser pensados em como eles funcionarão através de descrição ou *sketches* para, assim, permitir a elaboração de fichas para sua devida catalogação juntamente às demais opções.

De posse de todas as alternativas geradas, constará, também, a avaliação da usabilidade a nível de carga cognitiva, bem como resultado das observações quanto as orientações heurísticas. A partir disso, será realizado comparações entre as diversas composições possíveis, através das quais resultará em um novo modelo a ser proposto. Assim, cumpre-se com os objetivos específicos desta pesquisa, bem como permite a seleção da melhor alternativa possível de acordo com as ferramentas adotadas, atividade que faz parte da quarta etapa desta pesquisa.

3.4 QUARTA ETAPA: REFINO E MODELO FINAL

Formalmente, a seleção da alternativa é apresentada pela quarta etapa, onde todo o novo procedimento de modelagem deve ser apresentado e descrito, bem como dados os devidos

créditos quando baseados em alguma das soluções já existentes. Definido todo o procedimento de modelagem, se procede a etapa de implementação do protótipo da alternativa selecionada. Ou seja, parte-se de um modelo teórico para a sua avaliação através da implementação de um protótipo de interface.

A implementação do protótipo para avaliação será realizada através do Adobe XD (ADOBE INC., 2019), em sua versão 23. A partir desta plataforma será realizada toda a montagem da interface necessária para desenvolver as atividades que devem ser realizadas em um software de análise estrutura por barras. Será possível, portanto, realizar os passos definidos pela alternativa previamente descrita, bem como seria feito em um software de análise estrutural.

O desenvolvimento do protótipo é baseado na quantificação realizada pelo KLM-GOMS, apoiado pelas observações quanto as heurísticas, a qual será usada como referência para evitar problemas complementares visando promover a usabilidade. Quando necessário, descrições de procedimentos complementares, porém inerentes ao software, serão definidas para que seja estabelecido todo o conceito necessário para criação de um software através do protótipo.

Após a implementação, o protótipo passará por uma etapa de conferição de acordo com a carga cognitiva prevista pelo modelo teórico e a mensurada, através do mesmo modelo preditivo KLM-GOMS, bem como ser revisto em relação as heurísticas. É através dessa etapa que se realiza o refino do modelo teórico, gerando um protótipo capaz de cumprir com o objetivo principal desta pesquisa.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos levantamentos obtidos através dos procedimentos descritos anteriormente. É através deles que se pretende solucionar o problema da pesquisa, a qual define-se:

Como o design de interface pode contribuir para melhorar o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras?

À vista disso, apresenta-se os resultados referentes às etapas estabelecidas nos procedimentos metodológicos, os quais definem a criação do item 4.1 para a compreensão dos passos de modelagem utilizados pelos softwares existentes atualmente; o item 4.2 relata a análise destes processos de modelagem através da quantificação da carga cognitiva pelo método KLM-GOMS, e também pelas heurísticas, classificando os erros e dificuldades; o item 4.3 define os procedimentos para a proposição de um modelo teórico, bem como sua avaliação, gerando uma interface teórica inicial; e o item 4.4 compreende no refino do modelo teórico, o qual compreende na elaboração do protótipo e seu refino.

4.1 COMPREENSÃO DOS PROCEDIMENTOS DE MODELAGEM

Conforme descrito em 2.6, os procedimentos de modelagem necessitam passar por determinados passos para que seja possível realizar uma análise estrutural. São eles a definição dos materiais, a definição das seções, o desenho geométrico da estrutura e a definição das condições de contorno, as quais compreendem restrições e as cargas aplicadas.

A partir dos passos definidos, deve-se uniformizar as atividades que devem ser realizadas para levantar as etapas de modelagem que os softwares selecionados sejam avaliados pelo KLM-GOMS. Como trata-se de um procedimento que necessita ser padronizado para todas as modelagens, uma vez que o objetivo é comparar as modelagens dos softwares definidos em 3.1, as atividades que compreendem cada passo foram definidas objetivamente para definir modelagens simples. Isso significa que todas as atividades estabelecidas não apresentam exceções em qualquer aspecto, bem como não são atribuídas informações que não dizem

respeito ao tipo de análise estrutural em estudo, como por exemplo informações de entrada de materiais que não dizem respeito à modelagem de cargas estáticas e análise estrutural linear.

Um aspecto que deve ser levado em consideração é que os softwares em estudo podem ser tanto em 2D quando em 3D. Assim, a quantidade de passos acaba sendo reduzida em algumas das atividades, uma vez que estruturas planas (2D) apresentam simplificações em relação as estruturas espaciais (3D). Por exemplo, desenhar a estrutura em 2D inerentemente representa menos passos que uma estrutura em 3D. Dadas estas questões, objetivando a possibilidade de comparar ambos os tipos de plataformas 2D e 3D, as atividades são consideradas globalmente e unitariamente quando necessário. Isto significa que, em etapas como desenho da estrutura, definição de restrições ou atribuição das cargas, o total de passos deve ser dividido pela quantidade total de barras, restrições ou cargas, que a estrutura apresenta ou está submetida. Esta mesma observação deve ser feita posteriormente no levantamento dos tempos de modelagem para medição da carga cognitiva.

Definidas as considerações pertinentes, as atividades e os resultados podem ser encontrados no item a seguir, sendo o descritivo dos passo-a-passo apresentados no Apêndice B. Os passos descritos para o software SAP2000, porém, apresentam numeração diferente pois o método mais rápido de modelagem é utilizando o Wizard iniciado junto com o programa, e por este motivo a numeração segue ordem específica. A seguir segue a apresentação dos procedimentos e informações acerca das atividades desenvolvidas.

4.1.1 Atividade 1 – Definição dos Materiais

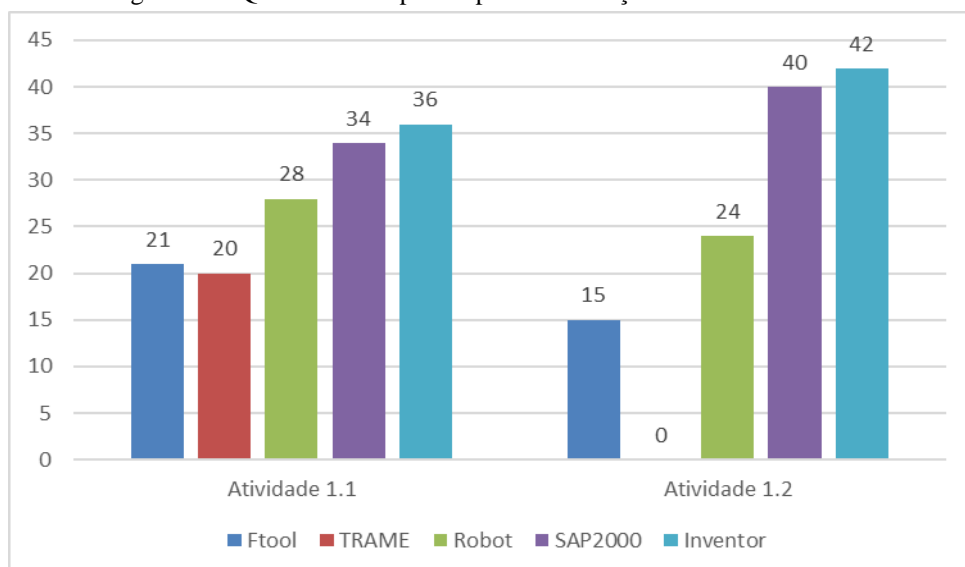
A atividade 1 compreende a definição dos materiais. Esta atividade foi dividida em duas por fins de organização, as quais são a Atividade 1.1 a definição do Aço CA-50 e a atividade 1.2 a definição de um concreto com resistência de 25 MPa. Assim, os dados de entrada para a configuração destes materiais são:

- **Atividade 1.1:** especificações para configuração do 1º material abaixo:
 - Nome: Aço CA50
 - Tensão de Escoamento: 500 MPa
 - Tensão de Ruptura: 550 MPa

- $E = 210\,000\text{ MPa}$
 - $G = 80770\text{ MPa}$ (quando solicitado) $G=E/[2*(1+\nu)]$ para materiais isotrópicos
 - Poisson = 0,3
 - 7850 kg/m^3
- **Atividade 1.2:** especificações para configuração do 2º material abaixo:
 - Nome: C25
 - Resistência do concreto: 25 MPa
 - Resistência à tração: 1,8 MPa
 - E: 28 000 MPa
 - $G = 11\,666\text{ MPa}$ (quando solicitado) $G=Ecs/2,4$ para materiais isotrópicos
 - Poisson = 0,2
 - $2\,500\text{ kg/m}^3$

A descrição dos passos para as atividades está registrada no Apêndice B. A quantidade de passos, desconsiderando os operadores, são resumidos na Figura 16. Uma vez que o TRAME é um software para análise de estruturas metálicas, este não apresenta função de configuração de concreto, e sendo assim não apresenta nenhum passo na Atividade 1.2.

Figura 16 – Quantidade de passos para a realização das Atividades 1



Fonte: elaborada pelo autor

É possível notar que os softwares em 2D, até devido a menor necessidade de entrada de dados, sendo o fator principal do destaque do Ftool a simplicidade, enquanto o TRAME se destaca por apresentar catálogo com os principais aços utilizados para estruturas metálicas. Apesar disso, este não apresenta Aço CA-50, uma vez que ele é usado apenas como armadura, e não como aço estrutural.

Os demais softwares como o Robot e o SAP2000 destacam-se pela necessidade de se preencher outras informações que não são necessárias, e pular estes campos acaba demandando maior número de passos necessários para o cumprimento da atividade. O resultado disso é o aumento da carga cognitiva, o que se refletirá durante o levantamento dos tempos necessários. Já o Inventor não apresenta maiores excessos de informação, porém o mecanismo de configuração de materiais encontra-se longe, em termos de passos, para acessar sua configuração e edição, prejudicando que apresente bom desempenho em termos de quantidades quantidade de passos.

4.1.2 Atividade 2 – Definição das Seções

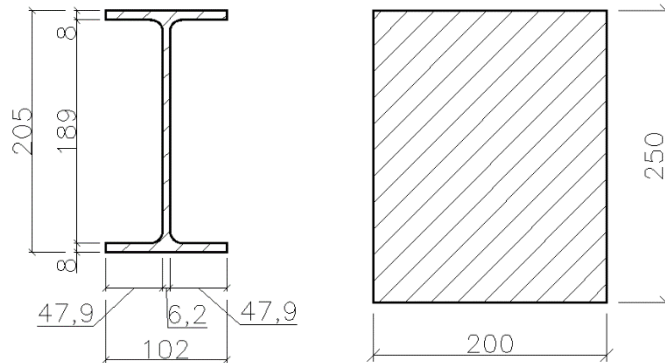
Para a definição das seções foi atribuída a Atividade 2, a qual, assim como a Atividade 1, foi dividida em duas: a Atividade 2.1 para uma seção I, para a qual posteriormente será atribuído o Aço CA50; e a Atividade 2.2 para uma seção retangular a quem será atribuído o concreto C25. Assim, como o desenvolvimento de todas as atividades definidas nesta pesquisa, o relatório com os passos desenvolvidos até o cumprimento das atividades está apresentado no Apêndice B.

Define-se, portanto, as seções de acordo com a figura 17, na página a seguir, as quais apresentam a seção I e a seção retangular respectivamente, com suas devidas dimensões. A seção I representa, a nível de normas e catálogos utilizados, a bitola W200x22,5. Por outro lado, a seção retangular escolhida para ser modelada como concreto é 20x25.

Seguindo o fato do software TRAME não apresentar a possibilidade de configurar outros materiais além de aço, a Atividade 2.2, que se refere à criação da seção retangular, não foi desenvolvida. Na prática é possível que ela seja criada através de uma seção genérica, sendo necessário atribuir propriedades avançadas como Área e Momento de Inércia, porém não apresentando nenhuma seção retangular para configuração. O motivo para tal é o foco em

estruturas metálicas e, conseqüentemente, justificando o motivo pelo não desenvolvimento da Atividade 2.2 pelo software. Por conseguinte, todas as barras que seriam modeladas com a seção retangular, no caso do TRAME, serão modeladas como seções W200x22,5.

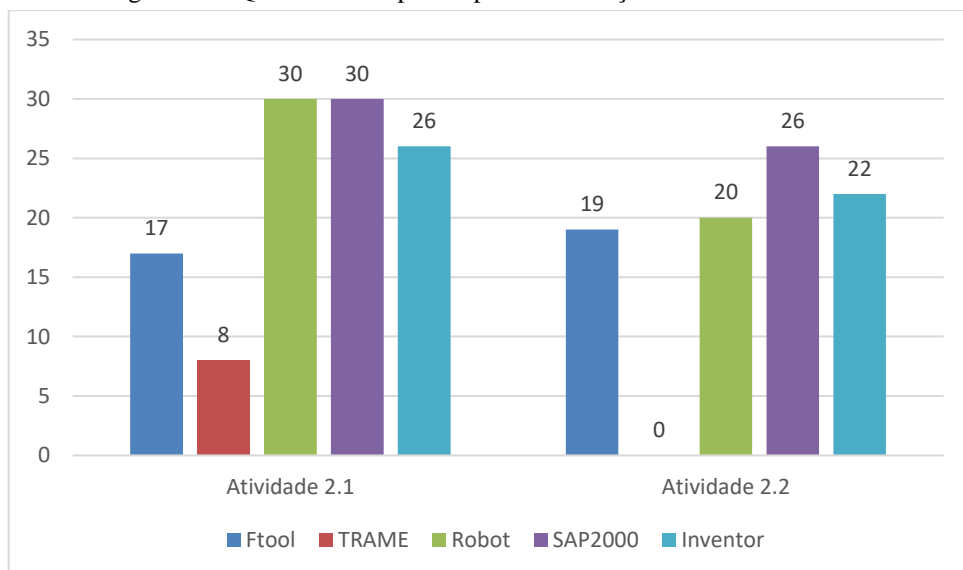
Figura 17 – Dimensões da seção W200x22,5 e da seção retangular 20x25



Fonte: elaborada pelo autor

Dados os esclarecimentos, a figura 18 apresenta o total de passos necessários pelos programas em estudo para a modelagem as atividades 2.1 e 2.2. Pode-se notar que o TRAME apresenta um desempenho muito superior aos demais na criação da seção I, podendo-se destacar que os softwares 2D apresentam considerável redução de passos frente aos 3D. Já em relação às seções retangulares, todos os softwares acabam tendo aproximadamente a mesma quantidade de passos, com apenas o SAP2000 apresentando os maiores valores.

Figura 18 – Quantidade de passos para a realização das Atividades 2



Fonte: elaborada pelo autor

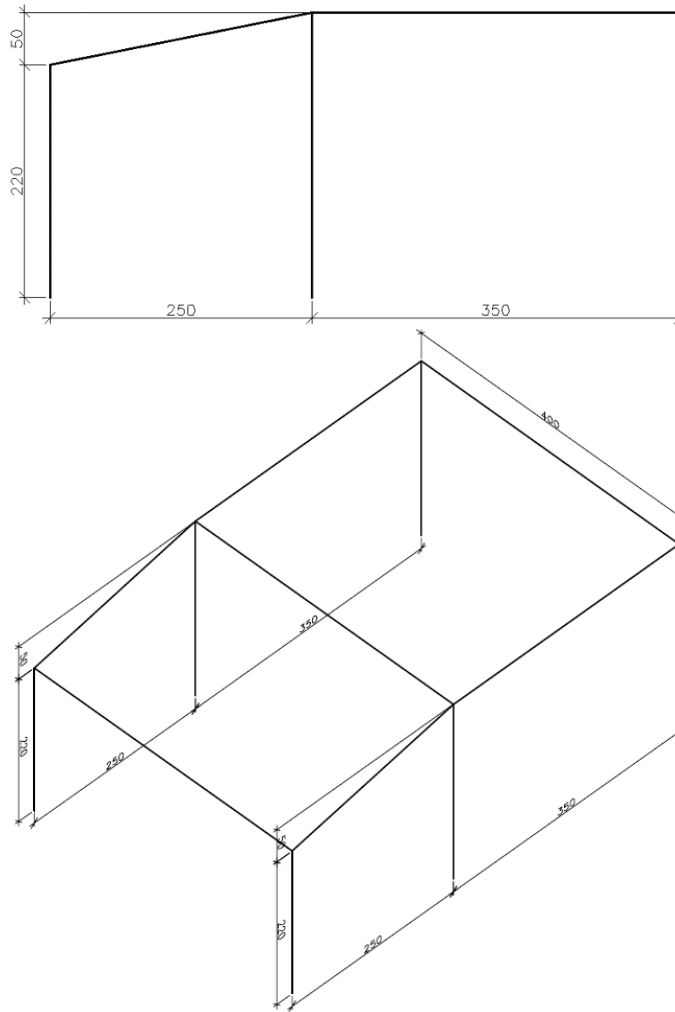
O destaque ao TRAME acontece devido a presença de um catálogo de bitolas existente e adaptado aos utilizados no mercado nacional. Além disso o formulário de apresentação das seções para configuração é bem organizado e fácil de lidar. Em termos de catálogo o Inventor apresenta grande variedade de bitolas, o que o destaca frente aos demais softwares 3D. Por outro lado, ele apresenta muitas combobox para configuração das seções, e espera-se mau desempenho em relação a carga cognitiva mensurada. Já o Ftool apresenta poucos passos devido sua interface muito simples e da quantidade resumida de informações necessárias para entrada de dados, tornando-se necessário poucos passos.

O SAP2000 apresenta maior número de passos tanto para Atividade 2.1 quanto para a Atividade 2.2, o que se dá especialmente devido à ausência de catálogos, assim como o Robot. Apesar disso eles apresentam maneiras de se configurar determinados formatos de seções utilizadas, inclusive seções I. É neste ponto, porém, que seus conceitos diferem, pois o SAP2000 prioriza dinamicidade, podendo-se configurar seções I com mesas de espessuras e larguras diferentes, enquanto o Robot permite apenas mesas com larguras e alturas iguais em cima e em baixo. Portanto este apresenta menos passos, enquanto o SAP2000 permite maiores personalização das seções.

4.1.3 Atividade 3 – Desenho da geometria da estrutura

A Atividade 3 compreende o desenho da geometria da estrutura, a qual segue dois modelos, um em 2D e outro em 3D (figuras 19). Como pode-se notar, o pórtico espacial deriva do pórtico plano, onde o pórtico em 2D, com 5 barra, repete-se em dois planos distantes 400cm, e são ligados por 3 vigas, totalizando 13 barras. As barras verticais são os pilares e, por isso, devem ser modelados com a seção de concreto C25 e dimensão 20x25, enquanto as barras inclinadas e as barras horizontais com a seção de Aço CA50 e bitola W200x22,5. O formato e tamanho da geometria é baseado em coberturas para garagens de veículos leves, pois se trata de um pórtico espacial com estrutura relativamente simples e de modelagem geométrica rápida.

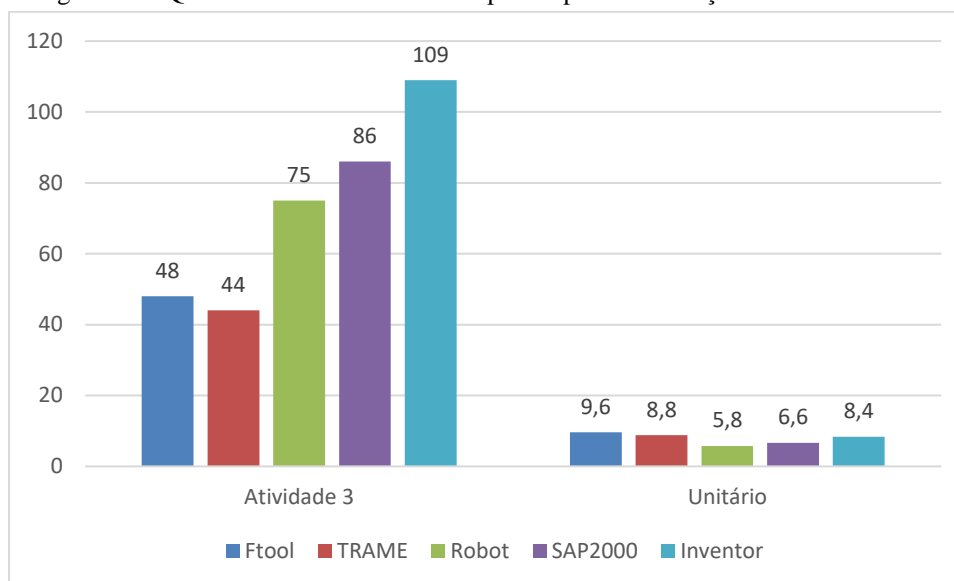
Figura 19 – Pórtico Plano e Pórtico Espacial utilizados para a modelagem nos softwares 2D e 3D respectivamente



Fonte: elaborada pelo autor

A descrição dos passos utilizados na modelagem por cada software pode ser consultada no Apêndice B. Já a quantidade total de passos, bem como a unitarização (i.e., a razão entre a quantidade de passos e a quantidade de barras que precisam ser modeladas) está apresentado na figura 20. Como é esperado, as estruturas em 2D apresentam considerável redução do total de passos necessários, porém ao realizar a transformação para unitário, passam a apresentar a maior quantidade de passos para modelagem de cada barra. A explicação mais simples é que quanto maior o agrupamento de barras iguais, mais rápida a modelagem se torna, uma vez que podem ser copiadas, bem como funções podem ser acessadas apenas uma vez para realizar várias etapas.

Figura 20 – Quantidade total e unitária de passos para a realização da Atividade 3



Fonte: elaborada pelo autor

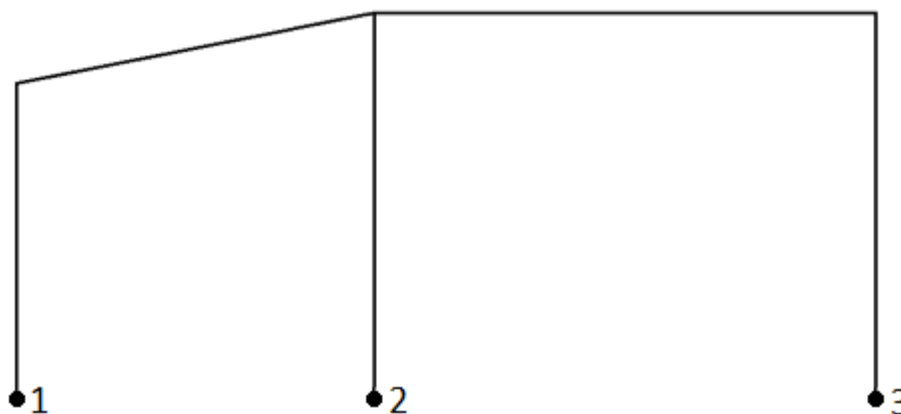
Considerando o levantamento unitário na figura 20, os softwares Ftool (9,6 passos/barra), TRAME (8,8 passos/barra) e Inventor (8,4 passos/barra) apresentam os piores resultados. O primeiro devido à sua simplicidade, problema recorrente durante todo processo de modelagem. O segundo apresenta melhor método utilizando um sistema semelhante ao do AutoCAD, o qual necessita entrada de dados por linha de comando, enquanto o terceiro aplica um método diferente de todos os demais, e costuma ser o mais indicado para modelagem de estruturas volumétricas para análise estrutural de tensões. Por este motivo, o Inventor apresenta a maior quantidade de passos frente aos 3D, porém acaba sendo mais eficiente que os 2D.

A figura 20 ainda destaca o excelente desempenho do Robot (5,8 passos/barra) e do SAP2000 (6,6 passos/barra). Ainda que o SAP2000 apresente quase 1 passo/barra a mais, ele está quase 2 passos/barra a frente do 3º melhor (Inventor, com 8,4) desempenho, o que é considerável considerando o total de barras que devem ser modeladas. O SAP2000 utiliza um wizard que permite a criação de baias moduladas, o que simplifica a modelagem, enquanto o Robot apresenta comando que remetem ao AutoCAD, podendo-se criar estruturas em 3D como geometrias de apoio para a modelagem. Apesar disso, o Robot poderia ser ainda mais ágil se fosse possível utilizar uma linha de comando, pois tornaria a modelagem destas geometrias mais ágil.

4.1.4 Atividade 4 – Configuração das Restrições

Realizadas as definições de materiais, seções e geometria da estrutura, a próxima etapa, considerando uma modelagem linear, trata-se da configuração das restrições. Com objetivo de abranger as principais restrições utilizadas em modelagem, tanto a estrutura 2D quanto a 3D foram pensadas para se utilizar 3 restrições. A figura 21 mostra o pórtico em 2D identificando os nós onde as restrições devem ser aplicadas, sendo o nó 1 um apoio simples (apenas restrição de deslocamento vertical), o nó 2 um apoio duplo (restrições de deslocamento vertical e horizontal) e o nó 3 com um engaste (restrições de deslocamento vertical e horizontal, bem como rotações no eixo perpendicular ao plano).

Figura 21 – Identificação dos nós para aplicação das restrições na modelagem 2D

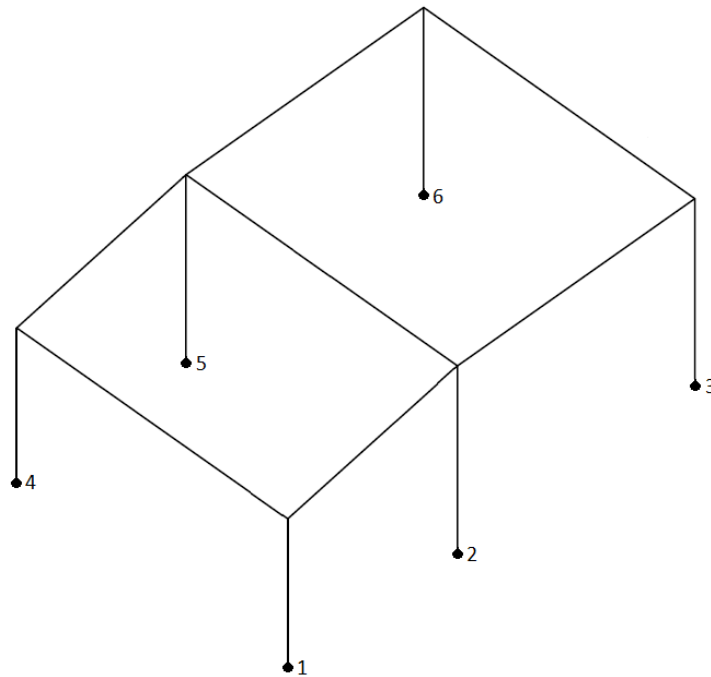


Fonte: elaborada pelo autor

Na figura 22, na página a seguir, são indicados os nós para aplicação das restrições no pórtico espacial a ser modelado nos softwares que comportam estruturas 3D. De modo análogo ao pórtico 2D, os nós 1 e 4 devem ter apenas restrições de deslocamentos verticais, enquanto os nós 2 e 5 devem apresentar todas as restrições de deslocamento possíveis, e os nós 3 e 6 devem ser restritos todos deslocamentos e rotações.

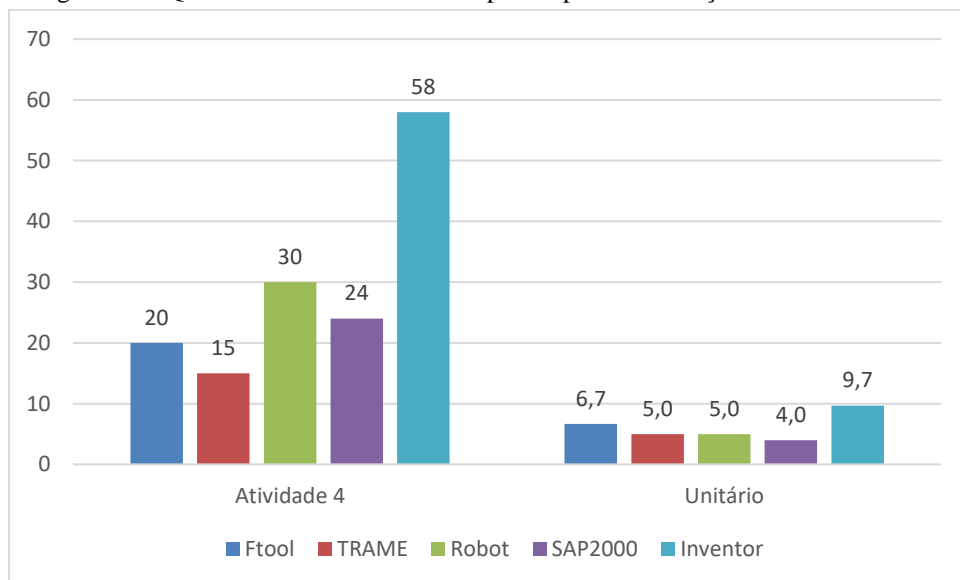
Os passos que devem ser realizados para a modelagem no Ftool e no TRAME implicam a configuração de 3 restrições aplicados a 3 nós diferentes e, portanto, não há repetições. Por outro lado, os softwares Robot, SAP2000 e Inventor também necessitam configurar 3 restrições diferentes, repetindo-se duas vezes cada. Por este motivo, assim como no desenho geométrico, além do levantamento total de passos para cada modelagem, também foram calculados a quantidade de passos/restrrição (Figura 23).

Figura 22 – Identificação dos nós para aplicação das restrições na modelagem 3D



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 23 – Quantidade total e unitária de passos para a realização da Atividade 4



Fonte: elaborada pelo autor

Nota-se, pela figura 23, que o Inventor se destaca pelo desempenho significativamente inferior a todos os outros softwares, com 58 passos necessários, fechando 9,7 passos/restrrição. Enquanto isso os demais softwares para modelagem em 3D, Robot e SAP2000, totalizam 30 e 24 passos

respectivamente, os quais se traduzem em 5 e 4 passos/restrrição nessa mesma ordem. Isso representa uma redução significativa frente ao Inventor, mostrando que a interação para modelagem das restrições por este programa apresenta grandes dificuldades de modelagem em comparação com os demais.

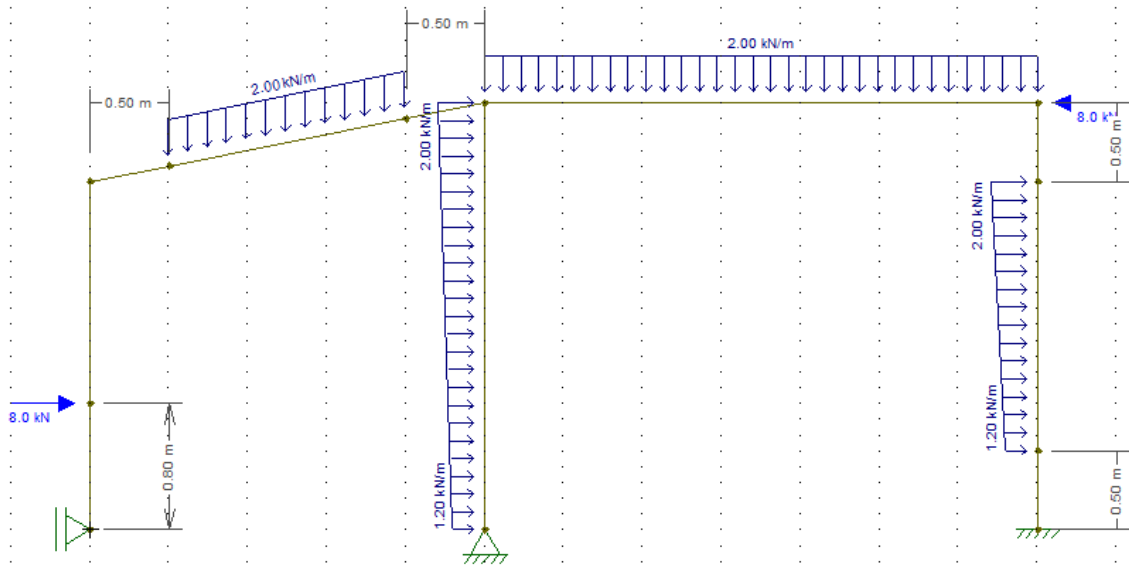
Ainda pode-se perceber que, assim como o esperado, os softwares em 2D apresentam menos passos que os em 3D, haja vista que aqueles necessitam realizar o lançamento de apenas 3 restrições. O Ftool totaliza 20 passos, enquanto o TRAME apresenta 15 passos para realização da Atividade 4, o que se traduz em 6,7 e 5 passos/restrrição respectivamente. Isso mostra que o TRAME acaba empatando, nos valores unitários (passos/restrrição), com o Robot, enquanto o Ftool acaba apresentando fraco desempenho em relação aos softwares 3D, à exceção da comparação com o Inventor.

O destaque, dentre os 2D, para o TRAME fica por conta de apresentar as restrições nas mais diversas posições pré-configuradas, sendo necessário apenas um clique no botão que se deseja. Enquanto isso o SAP2000, o melhor na realização da Atividade 4 dentre os softwares selecionados, apresenta configuração semelhante ao TRAME, trazendo consigo as principais restrições já configuradas, porém dentro de um menu específico para aplicação das restrições. Uma vez que a modelagem do SAP2000 é em 3D, o tempo gasto para se configurar uma restrição e aplicá-la, é muito próximo do tempo que se usa para aplicar essa mesma restrição à mais de um nó, e por isto ele fica à frente do TRAME.

4.1.5 Atividade 5 – Configuração das Cargas

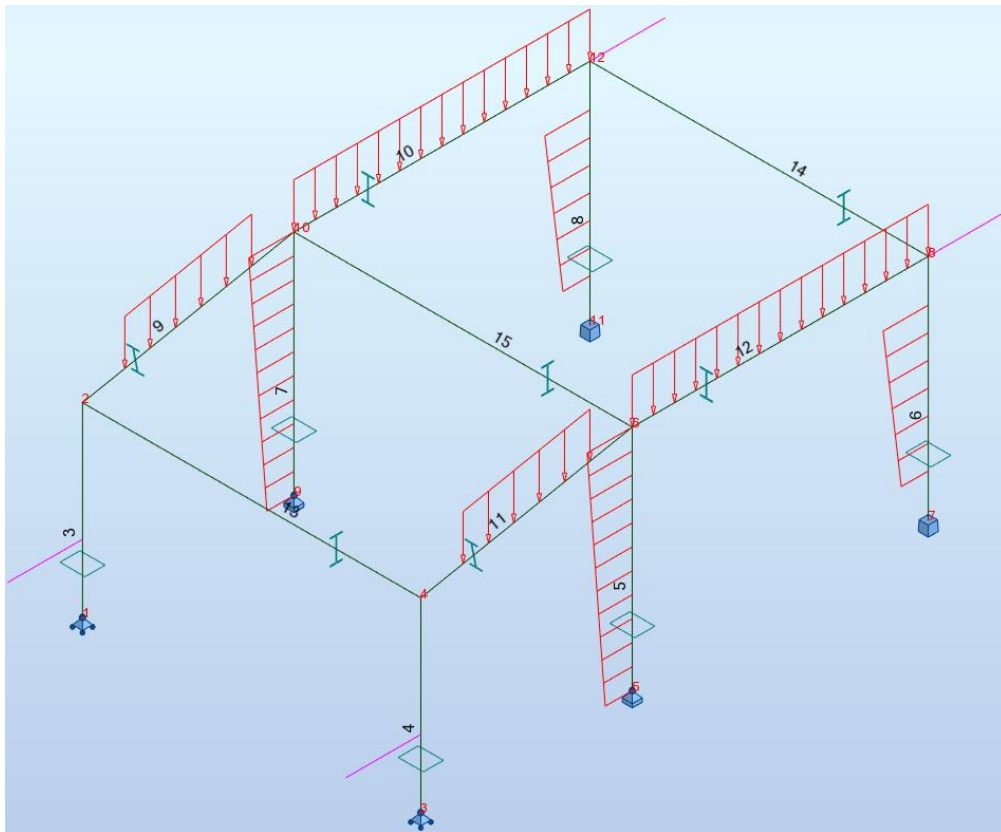
O passo seguinte para a modelagem é a configuração das cargas. Assim como com as restrições, a modelagem dos softwares em 3D apresenta maiores passos porque devem realizar o lançamento de um pórtico 3D. Para manter a proporção, e tendo em vista as semelhanças destacadas entre as geometrias para os softwares 2D e 3D, as cargas utilizadas em ambos são as mesmas, porém este apresenta cada carga duplicada seguindo a simetria do pórtico. No total são 2 cargas pontuais e 4 distribuídas para os pórticos planos (figura 24), e 4 cargas pontuais e 8 distribuídas para os pórticos espaciais (figura 25).

Figura 24 – Esquema do lançamento nos pórticos planos, realizada no Ftool



Fonte: elaborado pelo autor através do Ftool

Figura 25 – Esquema do lançamento nos pórticos planos, realizada no Robot



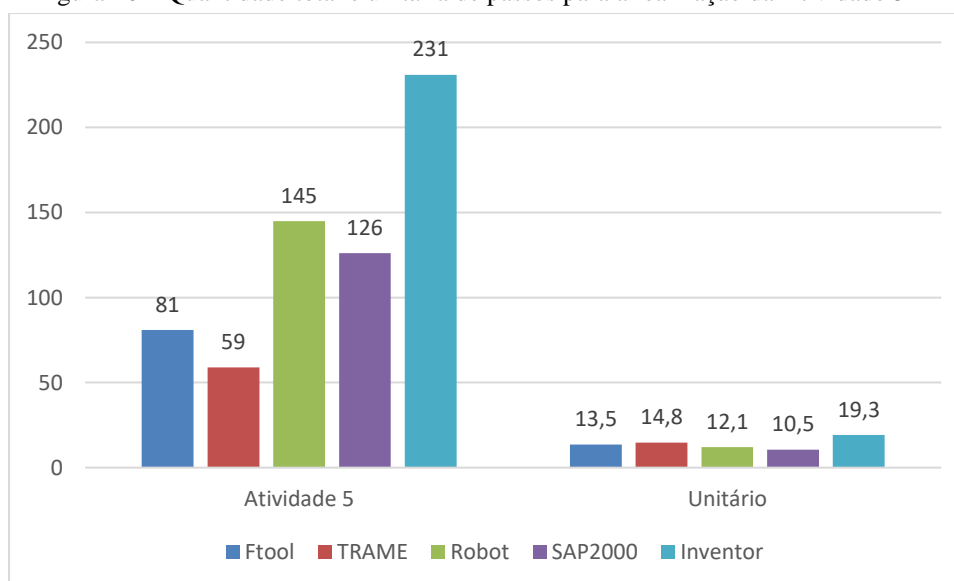
Fonte: elaborado pelo autor através do Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

A figura 24 abaixo mostra todas as cargas que devem ser lançadas nos pórticos planos. Uma das cargas pontuais será lançada a 80 cm da cota inferior da primeira, contando da esquerda para a direita, barra vertical, no sentido do eixo x, e outra será lançada no nó superior da barra traseira, no sentido inverso do eixo x. Já quanto as distribuídas, duas delas são constantes, sendo que uma das constantes será lançada na barra inclinada inteira, e a outra será lançada em um intervalo inferior ao comprimento da barra horizontal – 250 cm no total –, simetricamente, a 50 cm de cada um dos nós.

Já as cargas lineares não-constantes serão lançadas de acordo com mesmo critério, porém nas duas últimas barras da parte de trás da estrutura. Na primeira barra será a distribuída constante e no comprimento total da barra, enquanto a outra será aplicada simetricamente a 50 cm de cada nó da barra. As cargas pontuais serão de 8 kN, e as distribuídas serão de 2 kN/m, com a menor intensidade, no caso da distribuída não constante, de 1,2 kN/m. Assim as cargas pontuais são horizontais e as distribuídas são verticais

Uma vez que o pórtico espacial contém dois segmentos de pórticos com as mesmas dimensões do pórtico plano, estas mesmas cargas devem ser aplicadas nas respectivas mesmas barras. A disposição das cargas está apresentada na figura 25.

Figura 26 – Quantidade total e unitária de passos para a realização da Atividade 5



Fonte: elaborada pelo autor

Da descrição dos passos para lançamento das cargas, nota-se pela figura 26 que a maior contagem de passos foi do Inventor (231 passos), seguido pelo Robot (145 passos), SAP2000 (126 passos), Ftool (81 passos) e TRAME (59 passos). Neste ponto é necessário explicar que o TRAME só apresenta a possibilidade de modelar cargas constantemente distribuídas, e não variáveis. Portanto, as cargas distribuídas que variam entre 1,2 e 2kN/m não foram aplicadas, totalizando 4 cargas a menos a serem modeladas. O resultado é que o TRAME apresenta a segunda pior marca em seu valor unitário (passos/carga) com 14,8, ficando à frente apenas do Inventor, cuja marca é de 19,3 passos/carga.

O alto valor do Inventor, frente aos demais, se dá, pois, cada carga precisa modelada individualmente, enquanto os demais permitem lançar as cargas em mais de um nó ou barra ao mesmo tempo, desde que as cargas sejam as mesmas. Todos os demais, inclusive o TRAME, permitem essa modelagem agrupada de cargas quando elas são iguais.

Os 3 melhores softwares, segundo os valores unitários mostrados na figura 26, são o SAP2000 (10,5 passos/carga), seguido pelo Robot (12,1 passos/carga) e pelo Ftool (13,5 passos/carga). Os bons desempenhos dos 3D frente aos 2D se dá pelo mesmo motivo que ocorreu nas demais atividades: os softwares 3D, até pelas atividades solicitadas, permitem configurar duas cargas iguais com poucos passos a mais. Por exemplo, enquanto o 2D configura uma carga distribuída de 2kN em uma barra, o 3D configura a mesma carga em 2 barras, sendo necessário apenas selecionar mais uma barra, o que baixa o valor de passos/carga necessários.

Na comparação entre o Robot e o SAP2000, pode-se perceber pela descrição de passos que a diferença entre eles ocorre pois o Robot necessita mais configurações quanto os formatos de cargas, enquanto o SAP2000 apresenta maior dinamismo. Isto significa que para cada tipo de carga existe uma configuração diferente para o Robot, enquanto o SAP2000 permite configurar cargas constantes e variáveis em uma mesma função, o que facilita o lançamento em termos de quantidades de passos.

4.2 ANÁLISE DAS MODELAGENS

A etapa de análise compreende na quantificação da carga cognitiva, bem como a análise dos dados extraídos, assim como realizar a verificação dos softwares de acordo com as heurísticas

de usabilidade para enfim classificar os erros e dificuldades encontrados. A etapa de quantificação da carga cognitiva é realizada após a determinação dos passos necessários, onde parte-se dos operadores para estabelecer o tempo realizado para concluir cada atividade.

A utilização das heurísticas, aliadas ao método KLM-GOMS de quantificação de carga cognitiva, permite que sejam considerados os levantamentos de quantidade de passos, o tempo necessário, e os problemas existentes nos softwares. Esse agrupamento de dados permite a realização de uma análise objetiva e concisa a partir de uma quantidade grande de dados objetivos, e que resulta na classificação dos erros e dificuldades encontrados pelos usuários de softwares de análise estrutural.

O levantamento da carga cognitiva parte da descrição dos passos necessários para a modelagem, onde cada uma compreende um operador (ver Apêndice B). Cada operador, por sua vez, resulta em um tempo para que seja realizado pelo usuário para cada atividade. O resultado do processamento desses dados pode ser visualizado no Apêndice C, o qual apresenta, para cada um dos softwares em análise, a quantidade de operadores e o tempo total gasto por estes operadores na realização de cada uma das atividades. Para cada uma dessas medidas também foram relacionados percentuais, a fim de apresentar a representatividade, tanto em quantidade de operadores quanto seu reflexo no tempo total para o desenvolvimento das atividades.

O quadro 7, a seguir, apresenta o resumo das informações contidas no Apêndice C, trazendo os tempos totais para o desenvolvimento das atividades. O quadro apresenta a quantidade de barras, restrições e cargas utilizadas em cada software, uma vez que, assim como a quantidade de passos, é fundamental considerar o tempo médio gasto por unidade. Por exemplo, o tempo total gasto para realização da Atividade 3, pelo Ftool, é de 60,21 segundos, sendo que este precisou realizar a modelagem de 5 barras, o que resulta em 12,04 segundos para a modelagem de cada barra. De modo análogo, a Atividade 4 é função da quantidade de restrições e a Atividade 5 é função da quantidade de cargas. Além disso, é importante salientar que no TRAME foram modeladas apenas 4 cargas, uma vez que duas delas são cargas distribuídas variáveis, e este software não apresenta essa ferramenta.

Quadro 7 – Resumos dos tempos necessários para realização das atividades propostas

	Ftool	TRAME	Robot	SAP2000	Inventor
Qtd. Barras (un)	5	5	13	13	13
Qtd. Restrições (un)	3	3	6	6	6
Qtd. Cargas (un)	6	4	12	12	12
Atividade 1.1 (s)	16,56	13,00	22,06	22,02	25,91
Atividade 1.2 (s)	11,07	-	21,52	27,20	28,42
Atividade 2.1 (s)	14,27	6,55	18,01	21,69	28,05
Atividade 2.2 (s)	12,67	-	12,69	19,69	24,60
Atividade 3 (s)	60,21	39,65	68,97	106,05	102,49
Atividade 3 (s/un)	12,04	7,93	5,31	8,16	7,88
Atividade 4 (s)	17,05	10,65	25,84	20,85	45,80
Atividade 4 (s/un)	5,68	3,55	4,31	3,48	7,63
Atividade 5 (s)	65,74	42,50	88,86	94,40	140,81
Atividade 5 (s/un)	10,96	10,63	7,41	7,87	11,73

Fonte: elaborado pelo autor

Como meio de melhor interpretar estes tempos, foi desenvolvido um método de avaliação comparativa entre os tempos mensurados, sendo seu resultado apresentado no quadro 8. Como é possível ver, para cada atividade existe um software que apresentou menor tempo, e outro o melhor. Este será sempre avaliado com a nota 10, e aquele com a nota 0. Todos os intermediários são graduados em função dos tempos medidos como uma forma análoga ao percentual através de uma ‘regra de três’. Isto significa que um software que gaste, por exemplo, exatamente a metade do tempo entre o melhor e o pior apresentará a nota 5. Deste modo é possível mensurar o quão melhor é o desempenho de um software frente aos demais.

Quadro 8 – Graduação dos tempos, onde 10 significa melhor desempenho, e 0 o pior

	Ftool	TRAME	Robot	SAP2000	Inventor
Atividade 1.1	7,24	10,00	2,98	3,01	0,00
Atividade 1.2	10,00	-	3,98	0,70	0,00
Atividade 2.1	6,41	10,00	4,67	2,96	0,00
Atividade 2.2	10,00	-	9,98	4,12	0,00
Atividade 3	0,00	6,10	10,00	5,77	6,17
Atividade 4	4,69	9,82	8,00	10,00	0,00
Atividade 5	1,80	2,56	10,00	8,93	0,00
Média	5,73	7,70	7,09	5,07	0,88

Fonte: elaborado pelo autor

Ao final do quadro 7 está apresentado uma média das notas, o que permite analisar o quanto um software pode melhorar frente aos demais, bem como verificar um desempenho médio de cada programa no desenvolvimento das atividades. Além disso, é necessário destacar que, no Quadro 8, as notas para as atividades 3, 4 e 5 referem-se aos tempos unitários, ou seja, o tempo gasto para modelagem de cada barra, restrição e carga, respectivamente.

De um modo geral o melhor desempenho médio encontra-se com o TRAME (7,70), o qual apresenta duas notas 10 (atividade 1.1 e 2.1), e uma segunda melhor nota muito próxima de 10 na atividade 4 (com 9,82). Outro bom destaque fica com o Robot, cuja nota média é de 7,09, com destaque para as atividades 3 e 5 com notas 10, e para atividade 2.2 com nota 9,98. Por outro lado, o destaque negativo fica com o Inventor com média de 0,88, e apresentando pior desempenho em todas as atividades exceto na atividade 3, com nota de 6,17, a segunda maior, tornando-se a referência como desempenho muito insatisfatório nessas atividades.

Outras conclusões retiradas através dessa avaliação são as seguintes:

- O Ftool apresenta bom desempenho nas atividades 1.2 e 2.2, porém sua média de 5,73 evidencia mau desempenho nas demais atividades, especialmente nas atividades 3 e 5, com notas 0 e 1,80 respectivamente.
- O software SAP2000, apesar de sua popularidade, acabou apresentando a segunda pior média, com 5,07. Sua avaliação, porém, apresenta notas das mais variadas magnitudes, mas sem se destacar como o pior em nenhuma delas, apesar da nota 0,7 na atividade 1.2. Por outro lado, destaca-se seu desempenho na atividade 4, com nota 10, seguido de perto pelo TRAME (9,82). Apresenta, também, um desempenho considerado bom na atividade 5, com nota avaliada em 8,93;
- Apesar do relativo bom desempenho, o TRAME não realizou duas atividades (1.2 e 2.2). Seguindo os demais softwares, mantendo-se sua consistência, seria esperado que seu desempenho fosse o melhor em ambas as atividades, pois a tendência dos softwares é que, na comparação das atividades 1.1 e 2.1 com as atividades 1.2 e 2.2, os desempenhos melhorem (exceto o ocorrido com o software SAP2000). Isso se deve as configurações de concreto e da seção retangular demandarem menos dados e serem mais simples;
- A atividade 1.1 ressalta que o desempenho do TRAME é consideravelmente melhor que as demais, uma vez que a segunda melhor nota é de 7,24 (pelo Ftool), que é uma nota considerada satisfatória. Já as notas do Robot e do SAP2000 ficam em torno de 3, as quais são consideradas insatisfatórias;

- A atividade 1.2 apresenta apenas um software com bom desempenho, o Ftool. Todos os demais apresentam desempenhos fracos, sendo o TRAME ausente desta atividade devido suas ferramentas limitadas. A diferença entre o melhor e o segundo melhor (Robot, com 3,98) evidencia que os métodos de modelagem apresentados são fracos em relação a carga cognitiva, e indicam haver grandes possibilidades de melhoria;
- A atividade 2.1 mostra o TRAME como a referência de melhor desempenho, seguido o Ftool com nota 6,4, nota considerada razoável. Os demais softwares apresentam desempenho fraco, revelando notas 4,67 e 2,96 pelo Robot e SAP2000 respectivamente.
- A atividade 2.2 exhibe dois softwares com bons desempenhos: Ftool e Robot (10 e 9,98 respectivamente). Essa diferença, devido ao método de graduação das notas, pode ser desprezada, especialmente quando se considera a inerente maior complexidade dos softwares 3D em relação aos 2D na entrada de dados. Já a nota do SAP2000 com 4,12 é considerada insatisfatória, em particular ao se considerar que este apresenta a melhor nota depois dos citados anteriormente;
- A atividade 3 é a mais regular, uma vez que apresenta 3 softwares muito próximos entre si – TRAME, SAP 2000 e Inventor com, respectivamente, 6,10, 5,77 e 6,17. Apesar disso suas notas são de razoáveis a insatisfatórias, uma vez que acabam destacando o Robot isoladamente com a nota máxima.
- Na atividade 4 encontram-se os melhores desempenhos em termos médios, uma vez que o terceiro melhor desempenho ainda apresenta uma nota satisfatória (Robot, com 8). Apesar disso deve-se destacar apenas o TRAME e o SAP2000 como referências de bom desempenho, com notas 9,82 e 10 respectivamente, o que pode ser considerado como um empate devido ao modelo de realização da graduação das notas.
- Em relação a atividade 5, notabilizam-se as diferenças grandes de desempenho entre 2 grupos. No primeiro, com os melhores desempenhos estão o Robot (nota 10) e o SAP2000 (nota 8,93); no segundo estão os demais, com a melhor nota pelo trame, com 2,56, considerada muito insatisfatória.

Além da quantificação da carga cognitiva pelo KLM-GOMS, também foi realizada uma avaliação das interfaces em relação às heurísticas de usabilidade. Todos os softwares foram observados em relação à autonomia, consistência, eficiência, flexibilidade, simplicidade, tolerância e visibilidade. O resultado está apresentado no quadro 9, onde cada uma das heurísticas foi ponderada entre atende, atende parcialmente, ou não atende aos critérios destacados.

Quadro 9 – Verificação das Heurísticas em cada software

	Ftool	TRAME	Robot	SAP2000	Inventor
Autonomia					
Consistência					
Eficiência					
Flexibilidade					
Simplicidade					
Tolerância					
Visibilidade					

Atende Atende parcialmente Não atende

Fonte: elaborado pelo autor

As informações apresentadas no quadro 9 mostram que:

- Todos os softwares atendem o critério de autonomia, permitindo que o usuário realize suas tarefas sem a necessidade de intervenção, com exceção do método de desenho da geometria do TRAME, o qual necessita de apoio para desenho das linhas, uma vez que a linha de comando não apresenta esclarecimentos sobre como funciona, além de ser necessário ativar comando para mostrar os nós, sob penalização de não ser possível desenhar as linhas. O ideal, portanto, seria ativação automática dos nós, bem como um mecanismo mais intuitivo, além de uma linha de comando com instruções de uso, indicando quais atalhos e ações podem ser realizados;
- Todos os softwares apresentam consistência, mas algumas observações devem ser feitas. O Ftool falha em relação aos símbolos utilizados nos ícones, os quais podem apresentar símbolos mais coerentes e mais intuitivos. O SAP2000 utiliza uma convenção própria para a simbologia das restrições, bem como o inventor. Com essas observações, os demais itens são considerados consistentes;
- A eficiência pode ser mais bem avaliada de acordo com o KLM-GOMS, e apesar dos softwares atenderem pelo menos parcialmente, há grande margem para melhora conforme pode ser visto anteriormente. O Ftool apresenta problemas consideráveis em relação à modelagem geométrica, o TRAME não pode ser utilizado para a realização de duas das atividades; o Robot apresenta alta carga devido ao excesso de informações e passos para configuração de materiais e seções; o SAP2000 apresenta as mesmas dificuldades que o Robot para as atividades 1 e 2, o que evidencia que os softwares 3D apresentam deficiências na

configuração de materiais e seções; e o fraco desempenho do Inventor destaca o fato de não ter sido desenvolvido para análise estrutural por barras, pois apresenta problemas de eficiência no desenvolvimento de praticamente todas as atividades.

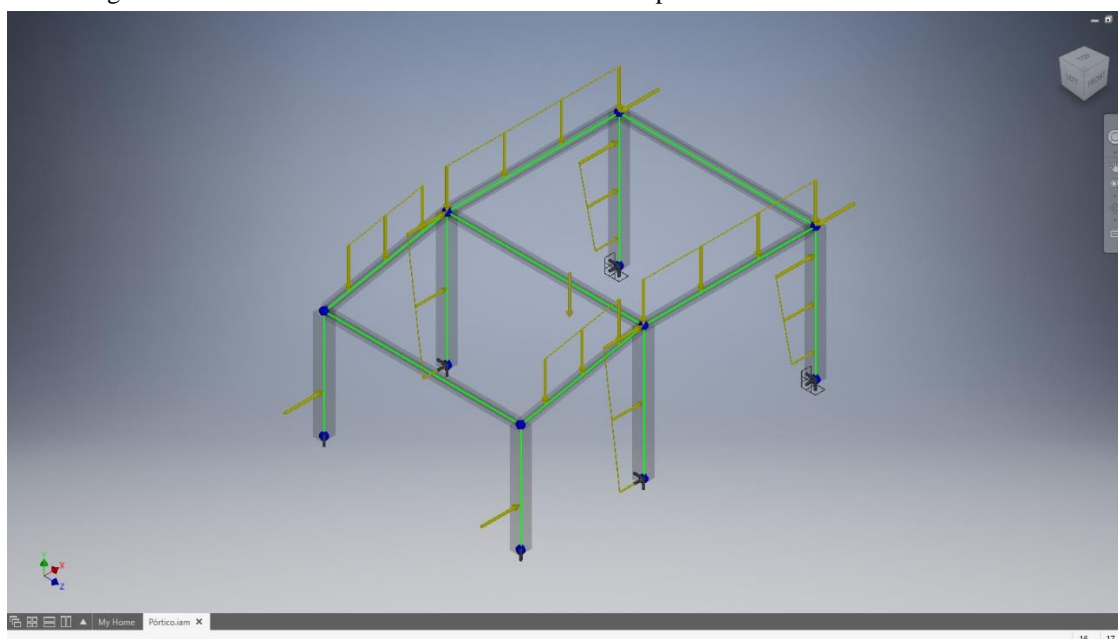
- Flexibilidade não pode ser considerado o ponto forte de softwares de análise estrutural, até mesmo devido sua inerente dificuldade. De um modo geral é possível se realizar as atividades de mais de um modo, mas é notável que todos os softwares podem melhorar em relação a esta heurística, especialmente em relação às tarefas repetitivas comuns na análise estrutural. Nenhum software prevê que comandos como mudança de materiais, cargas e seções sejam realizadas com frequência, o que prejudica não só a flexibilidade como a eficiência destes softwares;
- A simplicidade é outra heurística que fica comprometida em softwares de análise estrutural, porém apesar disso, o Ftool é simples e mantém o foco do usuário sempre na atividade em desenvolvimento, e sem apresentar excesso de informações. Todos os demais softwares apresentam bom desempenho neste sentido, porém com excessos de informações, o que atrapalha os usuários, especialmente os menos experientes ou menos acostumados com sua modelagem. Já o Inventor, por outro lado, além de apresentar excesso de informações, falha em relação à simplicidade devido sua interface mais complexa e cheia de funções para realização de outras tarefas não diretamente ligadas a modelagem, e por isso considera-se que não atende ao critério da simplicidade;
- A tolerância é uma heurística que não se aplica, de um modo geral, a atividade de modelagem, mas sim em relação ao processamento. Por conseguinte, todos foram considerados com “Atende” pois permitem a reversibilidade das ações sem dificuldades;
- O único software que falha em relação à visibilidade é o TRAME, pois, seu mecanismo de feedback não existe em alguns momentos, ou em outras situações encontra-se mal posicionado, o que prejudica a interação com a interface. Todos os demais apresentam feedback nas posições tradicionais, ou então abrem formulários que permanecem abertos durante a execução da função.

Destacando-se os softwares com melhor desempenho no KLM-GOMS, além das considerações pelas heurísticas, algumas observações devem ser realizadas em relação aos seus paradigmas de modelagem de acordo com as atividades antes de proceder para a etapa de proposição.

O Inventor, por exemplo, apesar do fraco desempenho, e apesar de sua interface e seu método de modelagem não servir de modelo para nenhuma das etapas a serem propostas, seus gráficos

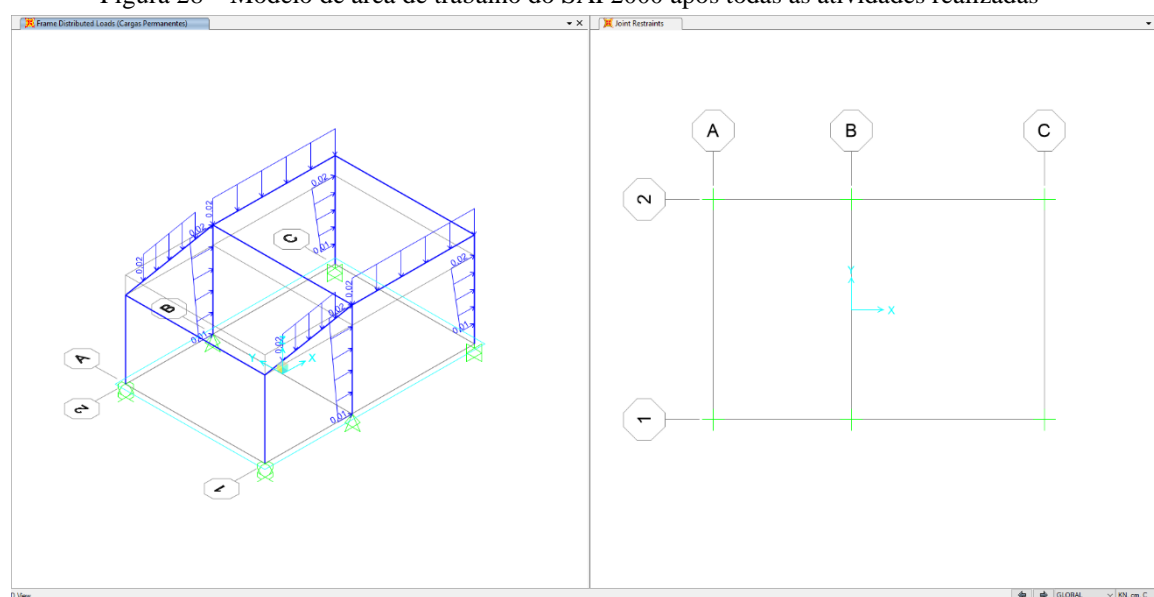
são atrativos, e merecem referência. São exemplos a exibição das cargas, bem como a visualização das peças estruturais em 3D, além da área de trabalho mais consistente, flexível e eficiente em relação ao SAP2000 e o Robot (figuras 27, 28 e 29). Neste sentido ainda é importante notar que não é possível visualizar ambas as cargas distribuídas quanto concentradas ao mesmo tempo pelo SAP2000.

Figura 27 – Modelo de área de trabalho do Inventor após todas as atividades realizadas



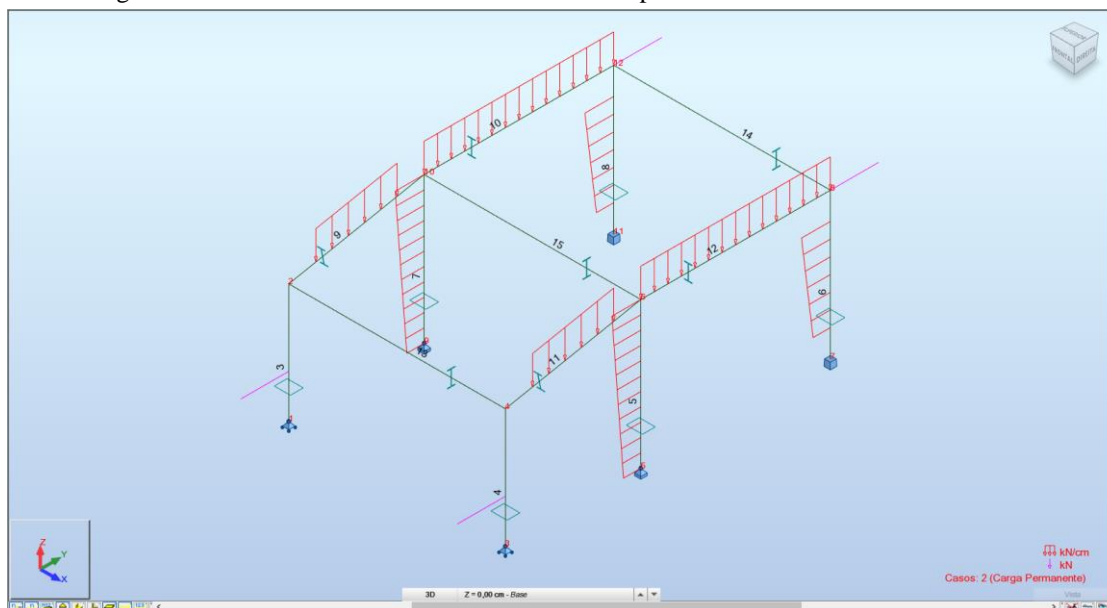
Fonte: elaborado pelo autor através do Autodesk Inventor Professional 2018

Figura 28 – Modelo de área de trabalho do SAP2000 após todas as atividades realizadas



Fonte: elaborado pelo autor através do CSI SAP2000

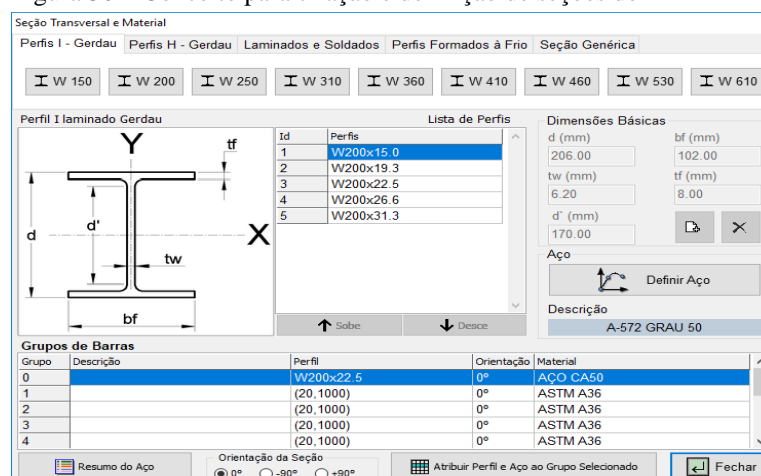
Figura 29 – Modelo de área de trabalho do Robot após todas as atividades realizadas



Fonte: elaborado pelo autor através do Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Quanto as atividades 1 e 2 o TRAME (figura 30) acaba tornando-se destaque. Sua eficiência provém de apresentar catálogos de materiais de acordo com normas e práticas brasileiras, enquanto os demais softwares ou não apresentam catálogos, ou apresentam métodos mais lentos. Além disso, o TRAME traz a ideia de se criar agrupamentos com propriedades de seções e materiais para as barras como se fossem layers em analogia aos softwares CAD.

Figura 30 – Conceito para criação e definição de seções do TRAME



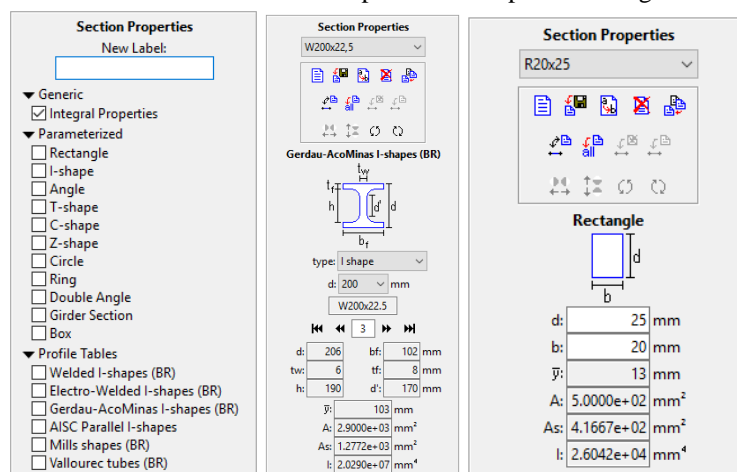
Fonte: TRAME 5

A realização da atividade 1.2 e 2.2, porém, não foram possíveis pelo TRAME, mas deve-se notar que seu método de realização das atividades 1.1 e 2.1 são superiores a ponto de merecer

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

a análise de se copiar seu conceito para a criação de materiais e seções retangulares. Em segunda análise, destaca-se o Ftool (figura 31), o qual se evidencia devido ao seu excesso de simplicidade, mesmo quando com uso de catálogos como no caso das seções para materiais metálicos.

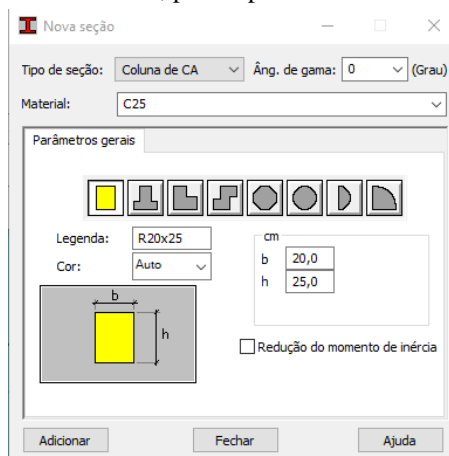
Figura 31 – Conceito excessivamente simples do Ftool para modelagem das seções



Fonte: elaborado pelo autor através do Ftool

Já o Robot, que se considera empatado com o Ftool, apresenta uma interface mais bem desenvolvida (figura 32), mas frente ao conceito do TRAME ele se mostra pouco eficiente (ver figuras 4 e 5).

Figura 32 – Conceito do Robot mais atraente, porém pouco eficiente na comparação com o TRAME

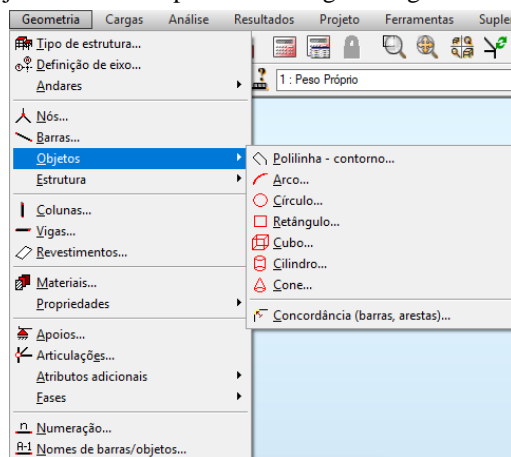


Fonte: elaborado pelo autor através do Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Para a atividade 3 destaca-se isoladamente o Robot. Foi notado que isto ocorre pois existe um conceito que remete a geometrias de auxílio para a modelagem, os quais são chamados, no Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

programa de Objetos. Constituem os objetos polilinhas, arcos, círculos, retângulos, cubos, cilindros e cones (figura 33).

Figura 33 – Objetos de auxílio para a modelagem da geometria da estrutura

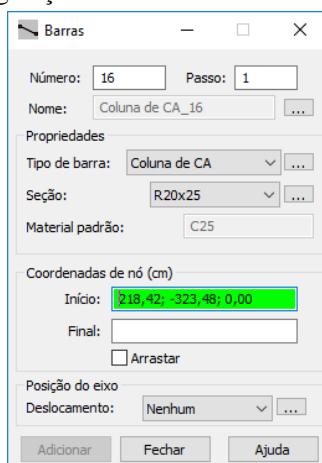


Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Apesar disso é possível otimizar esse conceito de modelagem geométrica, utilizando-se de chamada de comandos mais rápida e similaridades com os softwares CAD, como por exemplo linhas de comando, ao invés de utilizar menus longos e formulários que exigem mais informações que o necessário, como na seção Propriedades apresentada na figura 34 (página a seguir). Neste caso específico, estabelecer qual a barra que será utilizada em todas as arestas do cubo que seria desenhado, acaba tornando necessário a posterior edição de barras que não apresentam as mesmas propriedades, ou até mesmo que não existam. Ainda assim este método acabou tornando a modelagem geométrica muito mais rápida que os demais.

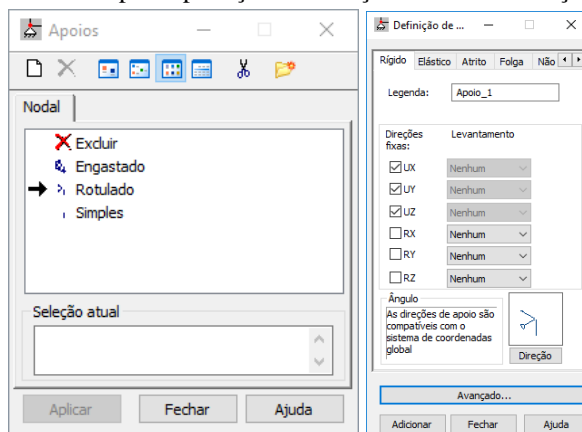
A atividade 4 apresentou 3 bons desempenhos. Todos eles apresentam restrições pré-configuradas, mas o Robot perde na quantidade de passos necessários, evidenciado por duas janelas necessárias quando se exige alguma restrição não previamente presente (figura 35). Por este motivo, o Robot pode ser considerado como eficiente, porém não tanto quanto poderia ser como em comparação ao TRAME (figura 36) e ao SAP2000 (figura 37).

Figura 34 – Formulário para configuração e entrada das coordenadas para criação do objeto cubo



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Figura 35 – Formulários para aplicação e definição de novas restrições no Robot



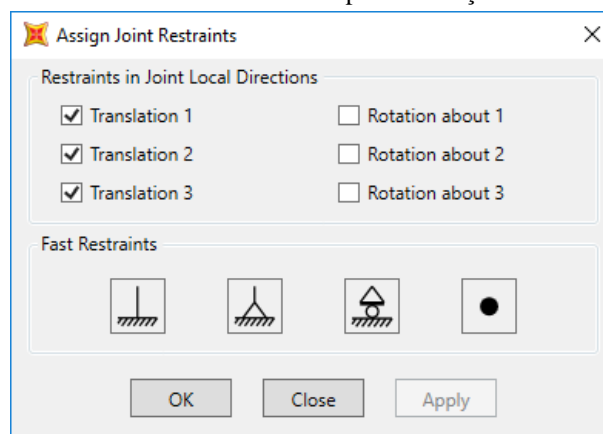
Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Figura 36 – Aba para configuração das restrições no TRAME



Fonte: TRAME 5

Figura 37 – Formulários do SAP2000 para utilização das restrições



Fonte: CSI SAP2000

A pequena diferença na graduação das notas do TRAME e do SAP2000 evidenciam sua eficiência. Ambos apresentam as pré-configurações mais usadas na modelagem estrutural. O primeiro, até por se tratar de um software 2D, na verdade utiliza todas as possibilidades e as deixa a disposição através de botões. Isso, porém, não é possível para softwares 3D devido ao excesso de possibilidades, e mesmo que possível implicaria em grande carga cognitiva para o usuário. Por este motivo o destaque, de fato, deve ser dado ao SAP2000 apesar que sua simplicidade poderia ser traduzida em gráficos mais agradáveis e em uma interação ainda mais simples, e mantendo gráficos 3D na representação das restrições, aumentando a coerência do software.

Para a atividade 5 destacaram-se o Robot e o SAP2000, apenas, com os demais desempenhos muito fracos. O SAP2000 perde na comparação devido ao uso excessivo de campos com pouca intuitividade, falhando em eficiência e flexibilidade devido seu excesso de simplicidade (figura 38 e 39). Além disso perde-se tempo desnecessário para se acessar a ferramenta para aplicação das cargas uma vez que necessita utilização dos menus.

Como mostram as figuras 38 e 39, para um software cujo ênfase é gráfico, e cuja eficiência aumenta diretamente com a melhoria da eficiência e flexibilidade, limitar o usuário a informações em forma de texto, sem legendas gráficas, bem como limitar a quantidade de cargas pontuais em uma barra, ou até mesmo às mudanças de magnitude em cargas distribuídas torna-se muito prejudicial. Estes acabam sendo os principais pontos fracos de um software que, apesar disso, mostrou tempos bons no KLM-GOMS.

Figura 38 – Formulário para entrada de dados de cargas pontuais em barras no SAP2000

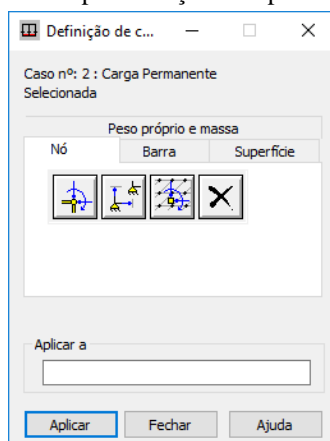
Fonte: CSI SAP2000

Figura 39 – Formulário para entrada de dados de cargas distribuídas em barras no SAP2000

Fonte: CSI SAP2000

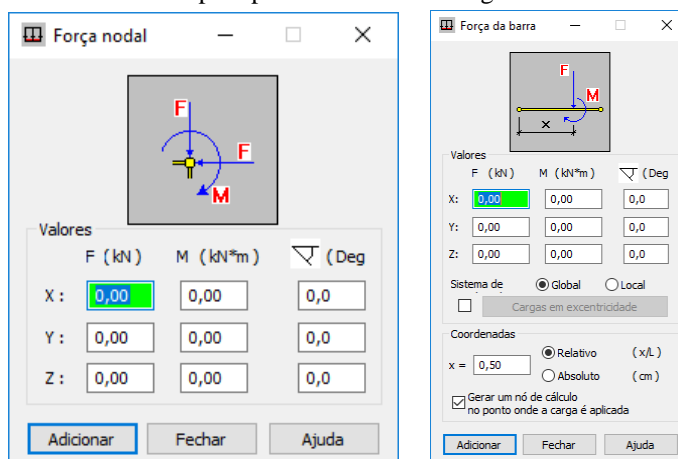
O Robot, por sua vez, apresenta o melhor desempenho. Além de ser mais rápido frente ao SAP2000, ele exibe uma interface mais agradável, com todos os tipos de cargas apresentados no mesmo formulário, bem segmentado, e com seus ícones apresentando boa intuitividade nas representações (figura 40). A nível de carga cognitiva, poder preencher a que barras aplicar uma carga em forma de linha de comando melhora o desempenho, além de aumentar a flexibilidade do software. Outro aspecto é que o preenchimento das cargas apresenta legendas (figuras 41, 42) e opções que melhoram muito a consistência, e refletem no aumento da visibilidade e eficiência em termos de heurísticas.

Figura 40 – Formulário do Robot para seleção do tipo de carga que será realizado



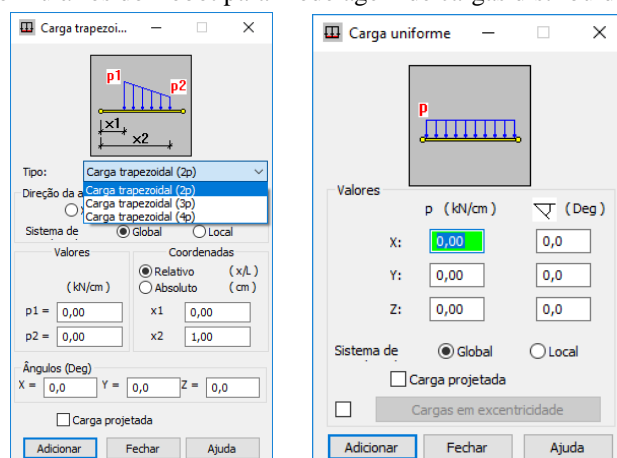
Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Figura 41 – Formulários do Robot para preenchimento de cargas concentradas em nós e barras



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Figura 42 – Formulários do Robot para modelagem de cargas distribuídas em barras



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

A despeito desses destaques para o Robot na modelagem das cargas, há muito o que pode ser melhorado em todos os softwares. Ainda com todos os pontos fortes encontrados, há muitas margens para melhoria das cargas cognitivas, o que pode ser melhorado mudando o paradigma de interação encontrados. A utilização de demasiados formulários, por exemplo, pode ser alterada, o que por si só diminui passos e tempo de interação. Em se tratando de softwares gráficos em 3D, buscar utilizar esses recursos, sem necessitar mudar o ponto de atenção do software a cada interação melhora seu desempenho em usabilidade.

Também deve-se notar que os softwares estudados se encontram estagnados em termos de layout. Hoje, quando todos os softwares buscam interfaces mais agradáveis e modernas, os softwares de análise estrutural utilizam interfaces com aparência antiga, sem modernidades, sem efeitos em 3 dimensões, e de pouca interatividade, sendo muito engessados. Este, por outro lado, não é o caso do Inventor, o qual apresenta uma interface mais moderna frente aos demais, porém por outro lado apresentou péssimos desempenhos. E é por todos os destaques positivos e negativos realizados neste capítulo que se avança para a próxima etapa, a qual realiza a proposição de uma nova interface, baseando-se no reaproveitamento com reciclagem de alguns conceitos, e na proposição de novos paradigmas e soluções para a melhoria da modelagem em softwares de análise estrutural.

4.3 PROPOSIÇÃO DE UM NOVO MODELO DE INTERAÇÃO

Com todos os dados necessários coletados, é possível iniciar o processo de geração de alternativas. Aqui adota-se um método iterativo para gerar uma nova interface para software de análise de estruturas em 3D, onde são realizadas 3 iterações que evoluem em termos das considerações levadas em conta. Para cada iteração são dados nomes de alternativas e, portanto, lista-se as 3 iterações como Alternativa 1, Alternativa 2 e Alternativa 3.

As 3 iterações são realizadas teoricamente, sem a criação de um protótipo de interface, sendo a última delas, i.e., a Alternativa 3, a que dará origem ao protótipo. A Alternativa 1 é a compilação dos melhores casos avaliados pelo método KLM-GOMS, sem qualquer tipo de modificação. Isto significa que ela utiliza o TRAME para definir as etapas de modelagem dos materiais e seções, o Robot para desenho geométrico e modelagem das cargas, e o SAP2000 para as restrições. Para esse agrupamento, conseqüentemente, é dado o nome de Alternativa 1.

A Alternativa 2, por sua vez, considera analisar todos os dados KLM-GOMS encontrados e buscar enxugá-los ou modificá-los sem alterar os conceitos e paradigmas encontrados. Esta é, pois, uma alternativa que utiliza o método tradicional do KLM-GOMS, o qual analisa os passos, coleta a carga cognitiva através da medição do tempo para realização das atividades. É a partir disso que se busca os pontos falhos para buscar uma modificação que busque diminuir a carga cognitiva.

E por fim a Alternativa 3 é a alternativa que dará origem ao protótipo. É considerado mudanças nos conceitos e paradigmas, oferecendo alternativas diferentes que visam melhorar as leituras de cargas cognitivas consideravelmente, além de utilizar as heurísticas para robustecer o desempenho. Não obrigatoriamente novas alternativas são viáveis ou mais eficientes, e por isso apenas alternativas cuja carga cognitiva seja melhorada são consideradas, sem deixar de levar em conta as heurísticas. Quando não é possível melhorar a carga, as heurísticas são usadas para incrementar e otimizar o procedimento adotado. Os tempos mensurados estão apresentados no quadro 10.

Quadro 10 – Tempos mensurados para as Alternativas desenvolvidas

	Ftool	TRAME	Robot	SAP2000	Inventor	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Qtd. Barras (un)	5	5	13	13	13	13	13	13
Qtd. Restrições (un)	3	3	6	6	6	6	6	6
Qtd. Cargas (un)	6	4	12	12	12	12	12	12
Atividade 1.1 (s)	16,56	13,00	22,06	22,02	25,91	13,00	8,45	8,45
Atividade 1.2 (s)	11,07	-	21,52	27,20	28,42	11,07	6,92	5,25
Atividade 2.1 (s)	14,27	6,55	18,01	21,69	28,05	6,55	6,55	7,85
Atividade 2.2 (s)	12,67	-	12,69	19,69	24,60	12,67	8,52	9,15
Atividade 3 (s)	60,21	39,65	68,97	106,05	102,49	68,97	59,80	58,62
Atividade 3 (s/un)	12,04	7,93	5,31	8,16	7,88	5,31	4,60	4,51
Atividade 4 (s)	17,05	10,65	25,84	20,85	45,80	20,85	18,25	14,92
Atividade 4 (s/un)	5,68	3,55	4,31	3,48	7,63	3,48	3,04	2,49
Atividade 5 (s)	65,74	42,50	88,86	94,40	140,81	88,86	72,85	66,67
Atividade 5 (s/un)	10,96	10,63	7,41	7,87	11,73	7,41	6,07	5,56
Tempo Total (s)	376,70	-	257,95	311,90	396,08	221,97	181,34	170,91
Redução em função ao menor tempo dos softwares estudados (Robot)						13,95%	29,70%	33,74%
Redução em função da Alternativa 1							18,30%	23,00%
Redução em função da Alternativa 2								5,75%

Fonte: elaborado pelo autor

4.3.1 Alternativa 1

A Alternativa 1 é a seleção de cada procedimento, dentro dos softwares estudados, que apresentarem os melhores resultados. Essa união apresenta os melhores pontos, mas uma interface construída através destes modelos falha consideravelmente em consistência. Como trata-se apenas de uma alternativa que busca estabelecer as referências para incrementação do modelo, ela não é de fato uma alternativa que visa qualquer tipo de implementação.

Esta interface fictícia apresenta as ferramentas para criação de seções desenvolvidas pelo TRAME e pelo Ftool, ambos softwares 2D e, portanto, para realização de ambas as atividades demandar-se-ia um total de 24,07 segundos. Para a atividade 2 a seleção seria a mesma, sendo representada pelo TRAME e pelo Ftool, e totalizaria 19,22 segundos. Já para desenvolvimento da atividade 3 adotar-se-ia a alternativa que apresenta o menor valor unitário, sendo este pertencente ao Robot, com 5,31 segundos por barra, totalizando 68,97 segundos.

A atividade 4 compreende a definição das restrições, e como foi visto o melhor desempenho é apresentado pelo SAP2000 com 3,48 segundos por restrição, consumindo 20,85 segundos para conclusão. E fechando a coleção de procedimentos, define-se o Robot como o software que dá origem ao melhor levantamento de carga cognitiva para a atividade 5, com 7,41 segundos para modelar cada carga, em média. Isso implica um total de 88,86 segundos para a totalização da atividade 4.

Conclui-se, por conseguinte, que a partir apenas dos softwares estudados, deve-se ter como meta na elaboração do protótipo um desempenho mínimo equivalente aos dados listados acima. A previsão, pelo KLM-GOMS, seria de um gasto de 221,97 segundos para desenvolver todas as atividades definidas pela pesquisa, uma redução de 13,95% considerando o desempenho do Robot, o melhor dos estudados.

4.3.2 Alternativa 2

Todos os modelos poderiam ser reaproveitados de alguma maneira, apenas otimizando-se seus conceitos de modelagem e pequenas falhas. Um exemplo das falhas referidas é, por exemplo quando houver caixa para preenchimento de dados, esta selecionar, com apenas um clique, todo o texto presente, evitando que o usuário tenha que realizar cliques desnecessários para modificar

o texto de entrada. Da mesma maneira já deixar o primeiro campo selecionado ao entrar em um novo formulário, poupando a necessidade de se apontar o mouse e clicar no campo desejado.

Além disso alguns operadores simplesmente não são necessários, e podem ser excluídos, bem como também é possível adotar mais atalhos nas interfaces, e menos menus. Isso é importante tendo em conta que estes menus apresentam muitos deslocamentos de mouse, o que é prejudicial pois costuma representar as maiores perdas de tempo no desenvolvimento das atividades, atrás apenas de cliques e digitações (ver Apêndice C).

Os cliques e digitações, por sua vez, são a parte básica da interação no caso de softwares como os de análise estrutural, haja vista que entrada de dados está inerentemente ligado com essas ações. Outro operador que causa perda de tempo considerável é a mudanças entre teclado e mouse, então deve-se buscar agrupar todas as ações com mouse, e todas com teclado, evitando intercalar. Quando possível, priorizar o teclado acaba causando menor perdas de tempo, enquanto interações com o mouse implicam maior interatividade da interface.

O resultado dessas melhorias implica em algumas mudanças, e reflete consideravelmente na diminuição dos tempos previstos pelo KLM-GOMS. Apesar de tantas melhorias, é importante considerar que se trata de uma iteração de melhoria, e neste estágio não são consideradas nenhuma análise de usabilidade que considere as heurísticas, ainda se tratando de um misturado de ideias e conceitos com origens em outros softwares. O Apêndice D apresenta tanto os passos resultantes dessas mudanças, bem como os novos tempos que seriam gastos para a modelagem.

A partir do exposto no Apêndice D, pode-se notar que para a Alternativa 1 foi possível diminuir os tempos medidos pelo TRAME e pelo Ftool de 13s e 11,07s para, respectivamente, 8,45 e 6,92 para realização das atividades 1.1 e 1.2. No primeiro caso foram eliminadas etapas dos percursos para criação de materiais, permitindo-se que fosse acessado diretamente pela página principal, além de não ser necessário alcançar um campo que necessite clique para ativar criação de materiais. Além disso troca-se a unidade padrão do software para elasticidade dos materiais de MPa para GPa, retirando a necessidade de preenchimento de zeros que podem ser suprimidos.

Já para a etapa da atividade 1.2 foi reorganizada os passos, diminuindo um operador H que realiza a mudança mouse-teclado. Essa mudança também permitiu retirar um formulário, implicando na redução de mais 2 operadores desnecessários que se referem ao direcionamento

e clique do mouse. Esse novo reordenamento acaba retirando um operador mental, o qual reduz, sozinho, mais 1,35 segundos.

Já para as atividades 2º tempo, como pode ser visto no Quadro 10 e pelo Apêndice D, foi reduzido apenas para a Atividade 2.2, passando a 8,52 segundos. A redução segue a mesma realizada nas atividades 1, com diminuição de passos para alcançar menu, reorganização de mudanças mouse-teclado, reordenação de formulários, e, quando aplicável, supressão de operadores mentais devido essas mudanças. A Atividade 2.1 não foi possível ser diminuída, pois encontra-se otimizada tanto quanto foi possível encontrar melhorias.

A Atividade 3, a qual baseia-se no Robot, a diminuição do tempo previsto para interação foi de 9,17 segundos para 59,80 segundos. As mudanças são devido a diminuição de passos necessários para acessar o menu, e uma alteração do modo de inserção dos dados. De modo geral o desempenho do Robot já se encontrava otimizado, e o único problema encontrado foi o excesso de comandos necessários para alcançar as ferramentas necessárias. Isso foi realizado para a Atividade 4 para redução do tempo necessário de acordo com o SAP2000, resultando numa redução de apenas 2,60 segundos, totalizando 18,25 segundos.

A redução na Atividade 5, utilizando o KLM-GOMS, foi a mais considerável, passando para 72,85 segundos, uma redução de 16 segundos (representando 18%). Essas mudanças foram a supressão de passos desnecessários, otimização da função de seleção de barras por linha de comando e reordenação dos passos. Todas as alterações estão apresentadas no Apêndice D. O resultado é uma redução total de 29,70% do tempo necessário pelo Robot, e redução de 18,30% considerando-se o valor encontrado pela Alternativa 1.

4.3.3 Alternativa 3

A Alternativa 3 compreende a evolução da Alternativa 2 com a aplicação das heurísticas para melhoria de seus procedimentos, bem como a transição entre eles. Inicialmente foram realizadas as devidas mudanças, as quais resultam em uma elaboração completa das tabelas do KLM-GOMS. Após todos estes dados definidos, foi realizada a implementação da alternativa para verificar a consistência dos dados gerados. Assim, o KLM-GOMS resultante da Alternativa 3

apresentado no Apêndice E é o mesmo do protótipo final. Os conceitos inicialmente previstos, porém, estão relacionados a seguir.

Inicialmente se destaca que a união de diversos métodos diminui consideravelmente a consistência da interface, uma vez que os diferentes conceitos utilizados por cada um não são padronizados, não havendo semelhança entre eles. Os melhores exemplos disso são os métodos para definição dos materiais e seções, onde um faz uso de catálogos, prezando pela eficiência, e o outro faz uso da simplicidade com a redução de informações na tela.

Uma vez que a análise estrutural se trata de uma disciplina cuja base utiliza dados de mercado, como utilização de materiais e seções existentes no mercado, o conceito do TRAME será adotado como padrão para essas respectivas atividades. Assim, apesar do bom desempenho do Ftool devido sua simplicidade nas atividades 1.2 e 2.2, a utilização de catálogos mostrou-se muito mais eficiente nas atividades 1.1 e 2.1, e uma vez que se objetiva a padronização dos procedimentos para melhoria da consistência se torna fundamental.

É previsto, porém, um aumento de carga cognitiva para a realização da atividade 2.2, visto que aumenta a quantidade de interações com o mouse. Isso ocorre porque a determinação de seções retangulares é de fácil realização. Entretanto, para manter a consistência, é previsto uma interface cujo desenvolvimento da atividade segue os mesmos passos de seções mais complexas, como as metálicas. Desta forma, apesar de resultar no aumento da carga cognitiva mensurada, a eficiência do software aumenta na medida que aumenta a consistência da interface. Ou seja, neste caso será priorizado, para aumento da eficiência, a melhoria da consistência em detrimento da simplicidade.

Na adoção dos catálogos de seções e materiais deve-se prever a necessidade de o usuário adotar opções não catalogadas. Deste modo, caso o usuário precise criar algum material, deve-se priorizar a interação com teclado, utilizando-se da tecla TAB para alternar campos em formulários para entradas de dados, pois a interação com mouse na entrada de dados numéricos aumenta a carga cognitiva prevista pelo KLM-GOMS. Neste mesmo sentido cada função pode ser finalizada com a tecla ESC, e ao executar uma função, esta é reiniciada automaticamente, sendo necessário um segundo clique ou um segundo Enter para finalizá-la.

A consequência dessas considerações está apresentada no quadro 10. Pode-se perceber que a solução encontrada consiste na manutenção da solução da Alternativa 2 para a Atividade 1.1

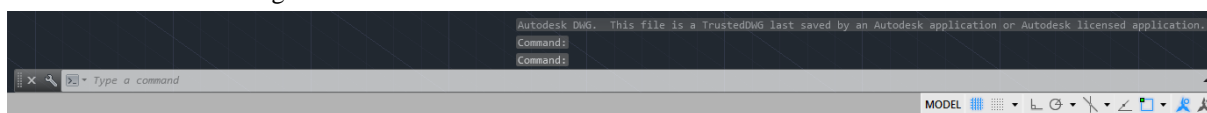
(mantendo 8,45 segundos) e a diminuição da carga cognitiva para a atividade 1.2 (de 6,92 para 5,25, decorrente de descartar o conceito do Ftool e adaptar o do TRAME para criação de concretos).

Além disso apresenta-se o aumento dos tempos previstos para a atividade 2.1 (de 6,55 para 7,85) e 2.2 (de 8,52 para 9,15), sendo a primeira motivada pelo novo conceito introduzido, o qual retira a criação de material de dentro da função de determinação de seções, e a segunda a manutenção do conceito utilizado pelo TRAME de utilização de catálogos, mantendo o mesmo perfil de apresentação utilizado para as seções metálicas. Na prática deve-se considerar que anteriormente a definição de materiais e seções estava ligada, e a soma destas atividades representava 43,29 segundos na Alternativa 1, e passou para 30,7 segundos na Alternativa 3 (redução de 29,1%).

Por outro lado, comparando-se com a Alternativa 2 (30,44 segundos) há um aumento 0,26 segundos, porém esta apresenta sérios problemas de consistência devido a mescla de conceitos de Ftool e TRAME. Ou seja, resolve-se um sério problema de usabilidade ao custo da adição de apenas 0,26 segundos pelo método KLM-GOMS.

Já em relação a modelagem geométrica percebe-se haver grande perda de tempo nos modelos estudados, apesar de o Robot introduzir um conceito interessante que pode ser melhorado. Este é o caso dos objetos para modelagem, para o qual sugere-se sua modificação para utilização de geometrias de apoio. Estas geometrias seriam utilizadas para auxílio da modelagem, onde cada linha poderia ser convertida em barra. Aliado a isso, aumentando a flexibilidade do software, também se sugere a utilização de linha de comando aos moldes do utilizado no AutoCAD, como visto na figura 43.

Figura 43 – Linha de comando existente no Autodesk AutoCAD



Fonte: Autodesk AutoCAD 2018

Utilizar uma plataforma de desenho em conjunto com as funcionalidades de modelagem estrutural evidencia melhoria em alguns tópicos de usabilidade, em especial a flexibilidade por permitir mais um modo de interação para modelagem geométrica. Além disso melhora a

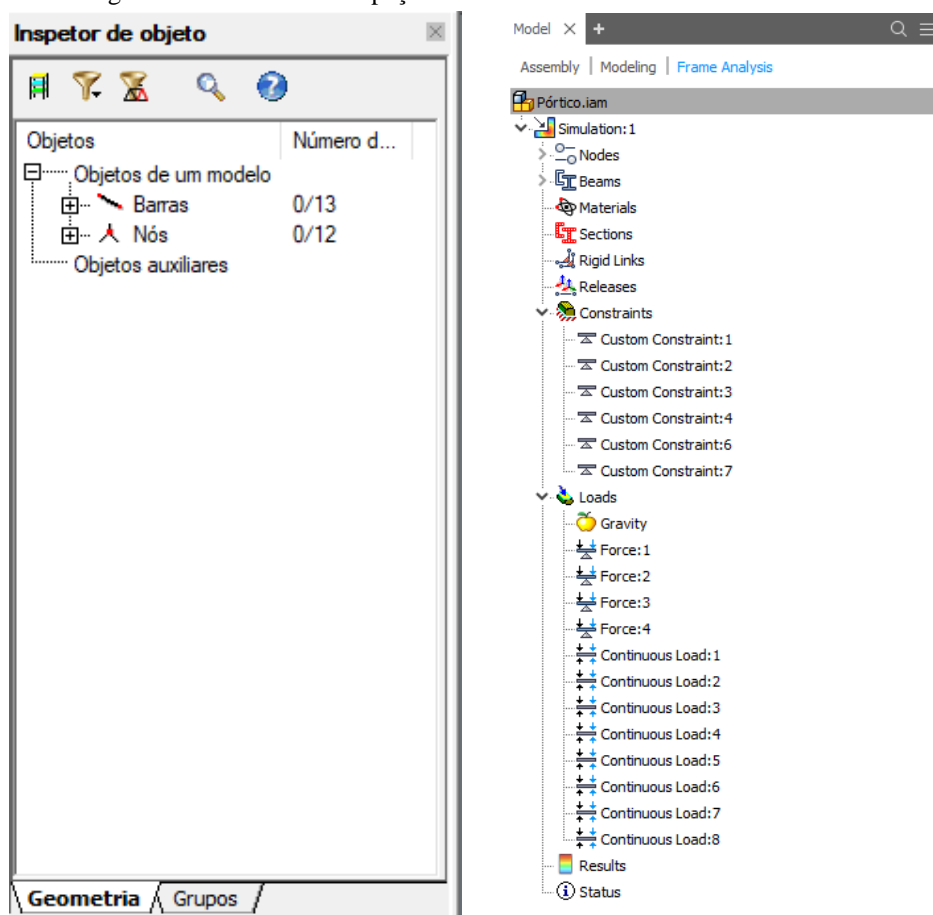
consistência do software ao utilizar um método consagrado para desenho, que são as plataformas CAD.

Seguindo a heurística que se refere a flexibilidade, e considerando destaque ao método diferente de modelagem do Inventor, ainda que mais complexo, um outro meio de modelagem se faz interessante de ser implementado. Uma vez que desenho de estruturas exige parametrização, uma adaptação do conceito do Inventor pode facilitar o desenho 3D através de geometrias de apoio em 2D desenhadas em planos nos eixos xy, xz e yz. Cada um desses planos apresentaria um novo modo de visualização que poderia ser acessado em abas, onde para cada um existe uma cota, em direção perpendicular ao plano, e que poderia ser alterado manualmente. Aliado a estes modos de visualização estaria o modo em 3D, o qual é o padrão.

Ainda como meios de aumentar a flexibilidade do software, sugere-se a adoção de uma árvore para inspeção dos elementos existentes durante a modelagem, tais como seções, materiais, linhas, barras, nós, restrições e cargas. Esta ferramenta auxilia na edição e localização de elementos pertencentes a modelagem com maior facilidade, e faz parte da melhoria da eficiência e flexibilidade especialmente durante as etapas não-lineares de modelagem. Na figura 44 (na página seguinte) apresenta-se exemplos utilizados pelo Robot e pelo Inventor.

O reflexo, além das citadas melhorias de usabilidade, é uma redução de uma média de 5,31 para 4,51 segundos gastos para modelagem de cada barra, uma redução de 15%. Já em relação a otimização realizada na Alternativa 2, a melhoria foi de uma média de 0,09 segundos por barra apenas, o que ainda representa diminuição do tempo previsto de modelagem.

Figura 44 – Árvores de inspeção de elementos do Robot e do Inventor



Fonte: elaborado pelo autor através do Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Para a definição das restrições a referência torna-se o SAP2000, uma vez que a interação 3D apresenta diversas soluções a mais que a do TRAME, tornando o conceito deste último pesado em termos de carga cognitiva devido excesso de informações. As melhorias que poderiam ser feitas são especialmente gráficas, sem grandes impactos previstos no KLM-GOMS como foi visto na Alternativa 2 (quadro 10). Para esta atividade, porém, evitar utilização de mouse prejudica demais o desempenho frente às heurísticas, pois carrega muitas informações que são mais bem expressas em termos gráficos em detrimento de dados numérico-textuais. Esta mesma questão acaba se tornando o problema recorrente no lançamento das cargas.

Assim, para melhoria dos procedimentos de modelagem das restrições e das cargas é proposto um modelo muito mais interativo e intuitivo, com uso predominantemente gráfico, e com procedimentos padronizados para manter a consistência da plataforma do protótipo a ser gerado. O primeiro passo é selecionar a função, entre restrição ou carga, e posteriormente selecionar uma barra ou carga que será utilizado para configuração.

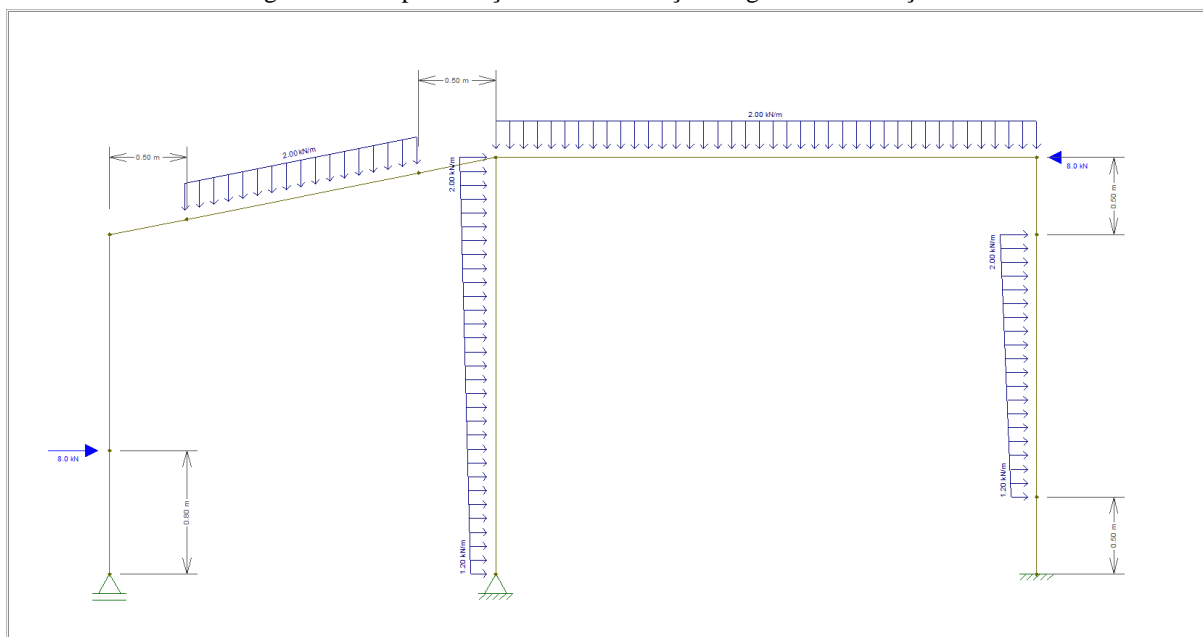
No caso da função para definição das restrições, a etapa de configuração pode ser feita através da seleção entre as 3 restrições mais utilizadas, apresentadas de modo gráfico. Caso decida-se por uma configuração diferente, ela pode ser configurada através de um formulário semelhante ao utilizado pelo SAP2000 (figura 37). Para a representação gráfica dos elementos de restrição recomenda-se a utilização da representação gráfica utilizada pelo Robot, uma vez que este é o único que apresenta desenhos semelhantes aos símbolos convencionalmente usados para representação das restrições, e os quais os demais softwares apresentam alternativas de baixa intuitividade. A figura 45, na página seguinte, apresenta os gráficos utilizados, por convenção, na representação 2D – utilizado pelo Ftool e pelo TRAME –, e a figura 46 demonstra solução adotada pelo Robot.

A redução encontrada é significativa em relação a Alternativa 1 e 2. Os dados mostrados no quadro 10 apontam 3,48 segundos/restrrição para a Alternativa 1, 3,04 segundos/restrrição para a Alternativa 2, e 2,49 segundos/restrrição para o novo conceito introduzido pela Alternativa 3. Em relação às duas primeiras alternativas, as reduções representam 28,4% e 18,2%, além das melhorias sugeridas pela análise das heurísticas, as quais foram explanadas anteriormente.

Já a concepção das cargas, seguindo este mesmo conceito, inicial com a seleção entre uma carga concentrada em nó, uma carga pontual em barra, e uma carga distribuída. Para cada uma delas deve-se selecionar o elemento aplicável (nó ou barra) e proceder as devidas configurações. A primeira etapa de configuração é a definição dos eixos para o qual elas são usadas, a segunda é a magnitude, e a terceira são as cotas de referência no caso das barras. Findada a configuração, esta carga é aplicada a esta barra e pode-se escolher outras barras que se deseja aplicar esta mesma carga.

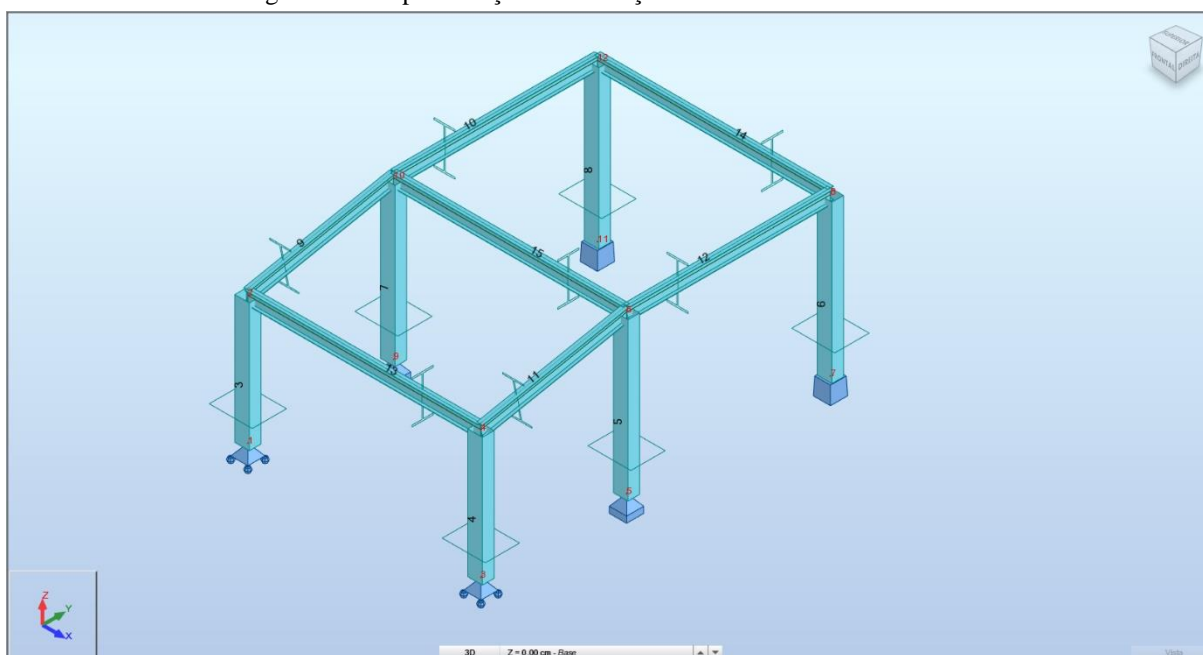
Este novo modelo apresentou 5,56 segundos/carga como tempo médio, frente aos 7,41 segundos/carga da Alternativa 1 e 6,07 segundos/carga na Alternativa 2. A diminuição é de 25% e 8,5% respectivamente. Totaliza-se, assim, uma redução total de 33,74% do tempo necessário pelo Robot, 23% em relação a Alternativa 1, e 5,75% em relação a Alternativa 2, sendo o total previsto para a modelagem pela Alternativa 3 de 170,91 segundos.

Figura 45 – Representação 2D das restrições seguindo convenção



Fonte: elaborado pelo autor através do Ftool

Figura 46 – Representação das restrições em 3D baseadas nas 2D



Fonte: elaborado pelo autor através do Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Ainda para a etapa de modelagem de carga, é previsto um armazenamento de cargas que facilita as etapas de modelagem não-linear. Para cada configuração de carga pode-se armazená-la em botões de atalho presentes na interface para evitar ter de configurá-las novamente. Assim, caso

seja a necessidade repetir a aplicação de uma carga já anteriormente utilizada, basta seleccionar o botão e aplicar as demais. À carga atribuída a atalho é dado o nome de Carga-Padrão, sendo os passos para armazenamento e chamada apresentados nas tabelas 3 e 4, sendo previstos os tempos de 6,35 e 5,52 segundos respectivamente.

Tabela 3 – Passos para configurar carga-padrão

<i>Atividade S/N Configuração de cargas "Padrão" para serem rechamadas</i>			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar nó ou barra que será utilizada para gravar uma carga padrão	M	P [barra]
2	Clicar nesta barra ou nó		K [click]
3	Alcançar botão "Criar Grupo de Cargas Padrão"		P [botão]
4	Clicar no botão "Criar Grupo de Cargas Padrão"		K [click]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Preencher valor "Xx,x kN"	7	K [xx,x kN]
7	Apertar tecla ENTER	1	K [ENTER]
8	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
<i>Fim da Atividade S/N</i>			

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 4 – Tempo para chamada de carga-padrão previamente configurada

<i>Atividade S/N Rechamada de uma carga-padrão já configurada</i>			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar Botão "Aplicar Grupo de Cargas Padrão"	M	P [ComboBox]
2	Clicar no Botão		K [click]
5	Selecionar nós ou barras	1	P [barra]
6	Clicar nos nós ou barras	1	K [click]
7	Duplo click no botão auxiliar para aplicar e fechar		K _s [aux]
<i>Fim da Atividade S/N</i>			

Fonte: elaborada pelo autor

Os tempos de chamada caem consideravelmente quando aplicadas a mais de uma barra ou nó, onde por exemplo, para aplicar uma carga padrão para 2, 3 e 4 barras gasta-se 2,76, 2,27 e 2,03 segundos, respectivamente, para cada nó ou barra.

A partir disso, é descrita, teoricamente, a Alternativa 3 a qual é resultado de alternativas geradas por iterações. A primeira iteração agrupa apenas soluções já existentes, cujos novos modelos são inteiramente baseados nos modelos adotados pelos softwares estudados. O simples agrupamento de cada modelo com melhor desempenho já apresenta enormes melhorias em termos de carga cognitiva, como pode ser visto no quadro 10. Esta é a chamada Alternativa 1, a qual não apresenta nenhuma mudança além do agrupamento das notas 10 encontradas.

Já a Alternativa 2 é o mesmo agrupamento com adaptações que melhoram o desempenho de acordo com o KLM- GOMS, mas sem sugerir mudanças baseadas nas heurísticas. E por fim a

Alternativa 3 foi gerada teoricamente com melhorias de usabilidade, prevendo seus impactos na carga cognitiva, a qual foi verificada e adaptada durante a implementação.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO E REFINO DO PROTÓTIPO FINAL

As iterações permitiram realizar melhorias nos tempos previstos para um protótipo teórico. A melhoria de desempenho em usabilidade foi comprovada e descrita, mas a implementação do protótipo é a etapa que testará sua viabilidade a nível de interface, verificando se os dados obtidos são coerentes e não apresentam falhas e/ou defeitos, comprovando sua funcionalidade em relação às tarefas de modelagem.

Ainda que se trate de um protótipo sem as funcionalidades completas de um software de análise estrutural, o objetivo é demonstrar que as soluções, em termos de melhoria da interação com a interface são viáveis. Foram estudados 5 softwares, para os quais foram mensuradas as cargas cognitivas previstas através do método KLM-GOMS. Durante o desenvolvimento, foram realizadas observações que resultaram uma avaliação heurística quanto as principais falhas existentes nestes softwares.

A partir destes resultados foi possível segmentar qual melhor software para cada atividade, o que gerou uma alternativa misturando cada uma desses melhores desempenhos. Foi realizado um filtro para diminuir o tempo gasto para a interação, otimizando esse agrupamento. E em seguida foram postas melhorias de acordo com avaliações heurística, sendo mantidas algumas soluções, outras sendo adaptadas, e as demais apresentando propostas de soluções que sugerem novos paradigmas para modelagem estrutural.

Na sequência é exibido o item 4.4.1, tratando da página principal do protótipo; 4.4.2, retratando a interface de configuração de materiais; 4.4.3 expondo a modelagem das seções; 4.4.4 tratando da modelagem geométrica; 4.4.5 sobre a definição das restrições; e 4.4.6 explicando o processo de definição de carregamentos e atribuição de cargas.

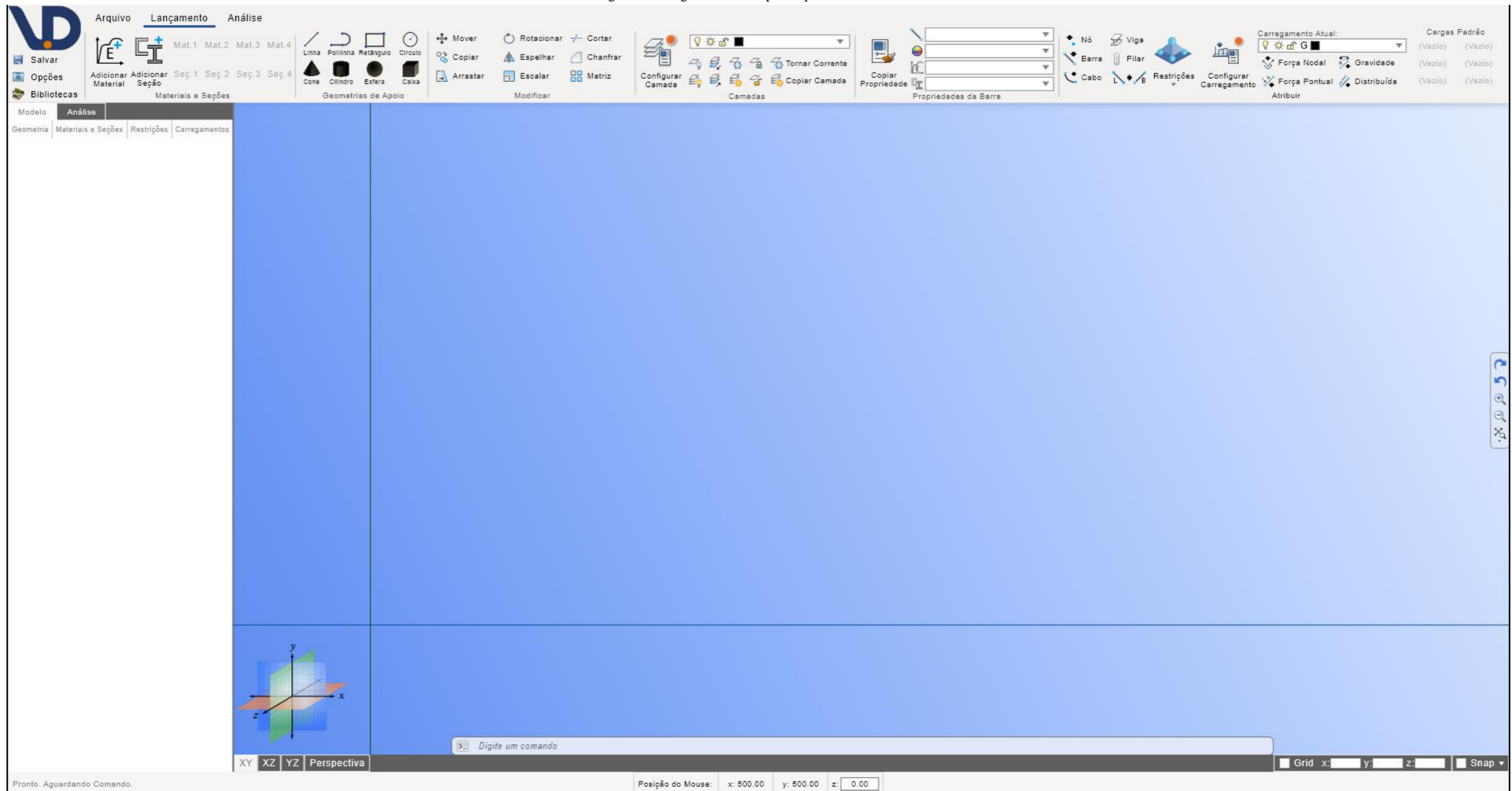
4.4.1 Página principal/inicial

A figura 47 (na página a seguir) apresenta a interface inicial do protótipo que é resultado do refino da implementação da Alternativa 3. Durante sua elaboração os passos inicialmente previstos pela Alternativa 3 foram verificados e corrigidos quando necessários, e a solução decorrente está apresentada no Apêndice E.

Inicialmente deve-se notar que a organização da faixa superior segue o modelo de modelagem linear. Primeiramente define-se o material, seguido da seção, depois realiza-se a modelagem geométrica seguido da definição das barras. Logo depois foi disposto botão para configuração das restrições, seguidos das funcionalidades referentes às cargas, tais como configuração de carregamentos e definições das cargas. Algumas funcionalidades, porém, foram elaboradas apenas após a implementação inicial.

Do refino resultou a implementação de duas ferramentas de camadas, a primeira utilizada para o desenho, onde misturam-se as linhas de barras (situada no nicho ‘Camadas’), e a outra para os carregamentos. (situada no nicho ‘Atribuir’) Outra ferramenta criada são botões de atalho para materiais e seções criados (no nicho ‘Materiais e Seções’), e para a configuração de cargas-padrão (canto superior direito, no nicho ‘Atribuir’). As demais considerações são provenientes da concepção das melhorias explicitadas na Alternativa 3, tais como as ferramentas de desenho baseadas nos sistemas CAD (nichos ‘Geometrias de Apoio’, ‘Modificar’, ‘Camadas’ e ‘Propriedades da Barra’), a linha de comandos, as abas para desenho em cotas nos planos xy, xz e yz, e a árvore de inspeção.

Figura 47 – Página inicial do protótipo desenvolvido



Fonte: elaborada pelo autor baseado no Autodesk AutoCAD 2018

No nicho Geometrias de Apoio estão todas as geometrias que podem ser construídas. Como todos os comandos, podem ser chamadas tanto por botões como pela linha de comando, e a interação é igual a realizada pelas ferramentas CAD, com preenchimento das coordenadas na linha de comando, a qual apresenta todo o feedback necessário para correta realização da tarefa. O nicho ‘Modificar’ apresenta ferramentas como Matriz, Espelhar, Cortar, Arrastar e etc, que são ferramentas de apoio para a modelagem de desenhos, e podem ser aplicadas tanto às linhas quanto às barras.

As camadas gerenciam as configurações de cores das barras e linhas, onde para cada linha se configura sua respectiva cor, e quando criados agrupamentos de barras, estas passam a ser apresentadas como uma nova camada que não pode ser compartilhada com as linhas. Quando desejado, é possível ocultar, bloquear e congelar essas camadas, da mesma maneira que se faz nas plataformas CAD. Já o nicho “Propriedades das Barras” é usado para gerenciar as configurações da atual seleção de barras, bem como permite também copiar propriedades de outras barras. Neste nicho é possível modificar o nome do agrupamento de barras para a selecionada, sua cor, sua seção e seu material.

As abas xy, xz e yz apresentadas na parte inferior da interface foram criadas como ferramentas adicionais de apoio ao desenho da estrutura. Quando ativa o modo de visualização no plano xy, um campo localizado na parte inferior passa a estar disponível para edição. Trata-se do eixo z, o qual possibilita o desenho em diversas cotas em relação ao plano xy, o que está demonstrado na figura 47, em ‘Posição do Mouse’. De mesmo modo é possível desenhar no plano xz, modificando-se manualmente a cota y, bem como é possível desenhar no plano yz modificando-se manualmente a cota x.

Cada plano apresenta cor de fundo baseado no eixo conforme representado no campo inferior esquerdo da área de trabalho: azul para xy, vermelho para xz e verde para yz. Este conceito busca melhorar a usabilidade do protótipo, facilitando ao usuário saber em qual plano se está trabalhando.

Do lado esquerdo, observando-se a figura 47, é apresentada a árvore de inspeção. Nela consta todos os elementos constantes no projeto sendo desenvolvido para análise, sendo estes elementos segmentados em Geometria, Materiais e Seções, Restrições e Carregamentos. Esta subdivisão, ainda que aumente a carga cognitiva pelo método KLM-GOMS, diminui a

quantidade de informações disponíveis na tela quando necessário utilizar esta funcionalidade, melhorando a usabilidade. Outros softwares, como o Inventor, apresentam todas estas informações agrupadas verticalmente, e quando em excesso de elementos, pode ser difícil encontrá-los.

No canto direito da tela, ao centro, estão disponíveis as ferramentas de zoom, além das ferramentas de voltar e avançar. Enquanto isso, no canto inferior direito estão as ferramentas de Grid e Snap. Essas funcionalidades servem de apoio à modelagem, e incrementam especialmente a usabilidade em termos de autonomia, flexibilidade e eficiência através de dar controle ao usuário, diminuindo volume de trabalho e aumentando os modos que as tarefas podem ser realizadas.

4.4.2 Criação e definição de materiais

A primeira tarefa que precisa ser realizada é a criação de um aço. Esta atividade pode ser iniciada ao acessar o botão Adicionar Material (figura 47), o qual abrirá o formulário mostrado na figura 48. Assim, como foi definido anteriormente, o protótipo é munido de um catálogo com os principais aços, cujos nomes são os mesmos comercializados no Brasil.

Figura 48 – Formulário para seleção ou criação de um aço

Rótulo	f_y (kN/cm ²)	f_u (kN/cm ²)	E (GPa)	γ (kN/cm ³)
ASTM A36	25	40	200	78.5
MR 250	25	40	200	78.5
AR 350	35	45	200	78.5
AR 415	41.5	52	200	78.5
AR 350 COR	35	48.5	200	78.5
A-572 G42	29	41.5	200	78.5
A-572 G50	34.5	45	200	78.5
A-588	34.5	48	200	78.5
A-242 (t<19mm)	31.5	48	200	78.5

Fonte: elaborada pelo autor baseado no TRAME 5

A definição de um material pode ser feita através de um simples clique quando ele já houver na base de dados. Como pode ser visto nas figuras 48 e 49, o protótipo apresenta a possibilidade

de configurar apenas 2 materiais, mas a adição de outros – como madeira e alumínio, por exemplo – pode ser realizado utilizando o mesmo conceito.

Figura 49 – Formulário para seleção ou criação de um concreto

The interface shows a 'Concreto' tab with a form for defining a new material. The form includes fields for 'Rótulo' (set to 'ABNT-C25 (Grupo I)'), 'f_{ck} (Tensão Característica)' (25 MPa), 'E_{cs} (M. Elasticidade)' (24 GPa), and 'γ_e (Peso Específico)' (25 kN/m³). Below the form are five buttons: 'Adicionar e Utilizar', 'Adicionar/Utilizar/Fechar', 'Utilizar', 'Utilizar e Fechar', and 'Fechar'. To the right is a table of concrete grades.

Rótulo	f _{ck} (MPa)	E _{cs} (GPa)	γ (kN/cm ³)
ABNT-C20 (Grupo I)	20	21	25
ABNT-C25 (Grupo I)	25	24	25
ABNT-C30 (Grupo I)	30	27	25
ABNT-C35 (Grupo I)	35	29	25
ABNT-C40 (Grupo I)	40	32	25
ABNT-C45 (Grupo I)	45	34	25
ABNT-C50 (Grupo I)	50	37	25
ABNT-C60 (Grupo II)	60	40	25
ABNT-C70 (Grupo II)	70	42	25
ABNT-C80 (Grupo II)	80	45	25
ABNT-C90 (Grupo II)	90	47	25

Fonte: elaborada pelo autor baseado no TRAME 5

Caso não exista o material desejado, basta preencher o formulário e adicionar um novo material. Neste ponto foi concebido que cada entrada de dados tem uma unidade padronizada, mas pode ser mudada através de configurações de sistema. Assim, antes de preencher cada campo, já estará exibida a unidade correspondente, podendo, entretanto, digitar manualmente uma outra unidade, a qual será convertida logo que for mudado o campo. Caso nenhuma unidade seja preenchida, é considerada a unidade configurada. Este aspecto da modelagem segue a mesma funcionalidade para qualquer campo de preenchimento que apresente unidades.

A partir disso, visando todas as possibilidades que possam ser desejadas pelo usuário, foram criados 5 botões, onde o termo ‘adicionar’ refere-se à criação de novo material, utilizar refere-se à adoção de determinado material ao projeto, e fechar para fechar o formulário. A utilização de um material acarreta a ativação de um botão de atalho na página principal da plataforma, facilitando sua utilização para as etapas não-lineares de modelagem. Além disso, só são exibidos os materiais utilizados quando necessária edição, haja vista que isto aumenta a simplicidade e a visibilidade das informações.

Os botões de atalho de materiais, e de seções, são preenchidos por ordem de configuração.

4.4.3 Criação e definição de seções

Para a tarefa de definição ou criação de seções existe o formulário que pode ser acessado pelo botão Adicionar Seção (figura 47). Inicialmente será aberto o formulário exposto na figura 50, o qual é usado para seleção ou criação de seções I. Esta janela se assemelha bastante à do TRAME, porém apresenta algumas modificações.

Figura 50 – Formulário para definição ou criação de seções I

The interface is divided into several functional areas:

- Navigation:** Tabs for 'Perfis I', 'Perfis H', 'Laminados e Soldados', 'Formados à Frio', 'Retangulares', and 'Genéricas'. Below these are buttons for specific section sizes: W150, W200, W250, W310, W360, W410, W460, W530, and W610.
- Legend - Perfil I:** A diagram of an I-section with dimensions labeled: d (total depth), d' (web depth), tw (web thickness), bf (flange width), and tf (flange thickness). The Y and X axes are also shown.
- Dimensões:** Input fields for 'Nome', d (mm), bf (mm), tw (mm), tf (mm), and d' (mm). Buttons for 'Criar' and 'Excluir' are present.
- Lista de Perfis:** A table with columns '#', 'Perfil', and 'Material'. It lists three profiles: 1 (W150x13.0), 2 (W150x18.0), and 3 (W150x24.0).
- Orientação da Seção:** Radio buttons for 0°, -90°, and 90°.
- Seleção do Material:** A dropdown menu and buttons for 'Aço CA50', 'ABNT-C25', 'Mat.3', 'Mat.4', and 'Criar Novo Material'.
- Propriedades de Barras no Projeto:** A table with columns: Id., Descrição, Camada, Perfil, Orientação, and Material. It contains five rows, all with dashes in the description and material columns.
- Footer:** A button labeled 'Fechar' and a note: 'Duplo Clique para Adicionar Nova Barra à Lista'.

Fonte: elaborada pelo autor baseado no TRAME 5

As semelhanças referem-se à exposição dos catálogos, os quais inicialmente são acessados através de abas (perfis I, perfis H, laminados e soldados, formados à frio, retangulares e genéricos). Posteriormente são acessadas as bitolas através de botões (no caso dos perfis I, as bitolas são (W150, W200, W250, etc.), e para as quais são listados os perfis existentes.

Caso seja desejado criar uma seção não existente nos catálogos, é possível preencher o formulário no nicho 'Dimensões', sendo a seção adicionada à lista da bitola selecionada no momento. Além disso é previsto que se pode desejar que as seções estejam rotacionadas em relação ao eixo, o que pode ser configurado em 'Orientação da Seção'.

Como também pode ser visto, para cada seção adicionada ao projeto, isto é, seção será posta a disposição no atalho da página inicial e nas listas de propriedades de barras, será atribuído um material. Ou seja, serão criados agrupamentos de barras com seção, material e orientações definidos. Caso seja desejado mudar todo um agrupamento, deve-se acessar este formulário novamente, enquanto caso alguma barra seja editada através de “Propriedades da Barra” na página inicial, ela será atribuída a um grupo com as suas mesmas propriedades e, caso não exista nenhum, um novo é automaticamente criado e exibido nesta janela.

Ainda como pode ser visto na figura 50, todos os materiais constantes nos atalhos da página principal também são apresentados em forma de atalho no nicho ‘Seleção do Material’. Caso o material desejado não conste nos atalhos, ele pode ser acessado através da ComboBox apresentada logo acima.

Após selecionadas todas as propriedades necessárias, o botão “Atribuir à Barra” preenche automaticamente a lista ‘Propriedades de Barras no Projeto’. A descrição é preenchida automaticamente, mas pode ser editada. O padrão de preenchimento é o nome constante em ‘Lista de Perfis’ e o nome do material, seguindo o exemplo apresentado na figura 51.

Figura 51 – Formulário para definição ou criação de seções retangulares

The interface shows a 'Retangulares' tab with buttons for profile sizes B10 through B40. A legend shows a rectangle with width 'b' and height 'h'. A 'Lista de Perfis' table lists profiles from R20x20 to R20x60. The 'Seleção do Material' section has a dropdown menu and buttons for 'Aço CA50', 'ABNT C25', 'Mat. 3', 'Mat. 4', and 'Criar Novo Material'. The 'Propriedades de Barras no Projeto' table is as follows:

Id.	Descrição	Camada	Perfil	Orientação	Material
1	W200x22.5 - Aço CA50	0	W200x22.5	0°	Aço CA50
2	R20x25 - ABNT C25	0	R20x25	0°	ABNT C25
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

At the bottom of the table, it says 'Duplo Clique para Adicionar Nova Barra à Lista'. A 'Fechar' button is at the bottom right.

Fonte: elaborada pelo autor baseado no TRAME 5

A figura 51 demonstra que, para cada seção selecionada em ‘Lista de Perfis’, seus dados são mostrados em ‘Dimensões’. Caso esses dados sejam editados e clicados em Criar, um novo perfil é definido, sendo necessário atribuir um nome diferente aos já existentes.

Ainda deve-se notar que, para a configuração das seções retangulares, foi adotado o mesmo padrão das demais seções, como a I mostrada na figura 50. O objetivo é manter a consistência do software, mantendo a padronização na disposição da configuração das seções. Esta opção visa apenas a usabilidade, uma vez que a carga cognitiva prevista é maior que a solução mais simples estudada e otimizada na Alternativa 2.

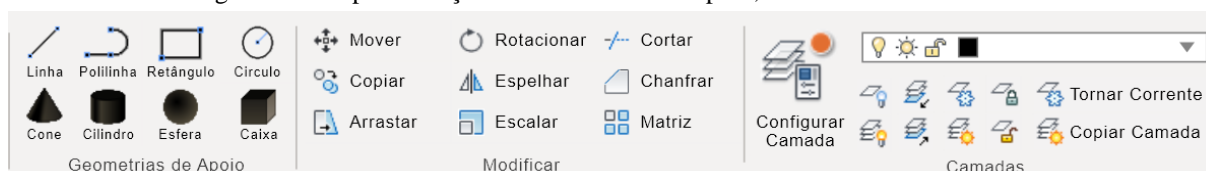
Como seções retangulares podem apresentar quaisquer dimensões, foi criado um botão, juntamente aos de seleção de bitolas, com nome de ‘Outros’. Nele podem ser inseridas outras dimensões sem que se perca a organização dos dados.

4.4.4 Procedimento de modelagem geométrica

É na modelagem geométrica que o protótipo passa a apresentar mudanças consideráveis frente aos softwares estudados. Ao invés de adotar lançamento de barras através de métodos primitivos, sugere-se adotar a funcionalidade e ferramentas de desenho aos modelos das plataformas CAD.

Desta maneira, o primeiro passo foi definir as ferramentas que devem existir para que haja uma modelagem fácil, sem alteração do paradigma utilizado nos principais softwares CAD do mercado. Esses recursos são destacados da interface na figura 52, e consistem em Geometrias de Apoio, funções Modificar e Camadas.

Figura 52 – Implementação de Geometrias de Apoio, Modificar e Camadas



Fonte: elaborada pelo autor baseado no Autodesk AutoCAD 2018

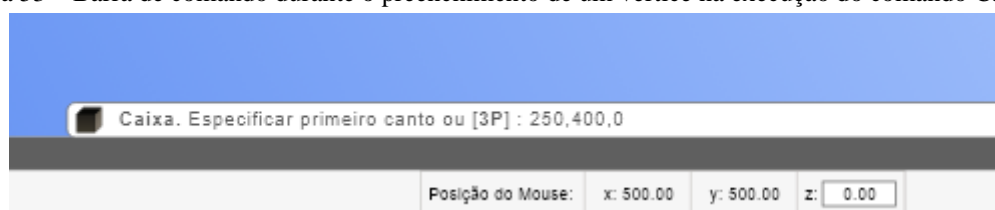
As geometrias de apoio são as mesmas geometrias existentes nos softwares CAD, entretanto elas não geram superfícies, haja vista que se trata de um software de análise por barras, sem

objetivo de implementar outros elementos estruturais. Para auxiliar a modelagem deve-se ainda implementar as ferramentas de modificação como rotação, chanfro, matriz, arrastar, escalar etc. Essas ferramentas permitem elaborar derivações das geometrias básicas que podem ser lançadas.

Ainda, como meio de facilitar o lançamento, bem como ajudar na posterior conversão de linhas em barras, deve ser implementada uma ferramenta de camadas. É através dela que se pode desenhar geometrias em outras camadas que podem ser congeladas, ocultadas ou bloqueadas durante o desenho. Um exemplo de utilidade delas é a possibilidade de selecionar linhas específicas para exclusão ou conversão. É importante destacar que o recurso de camadas também é utilizado pelas barras, porém elas são configuradas separadamente dentro de “Adicionar Seção”.

Ainda para o desenho das geometrias de apoio deve-se explicitar a necessidade da implementação da barra de comando. Através dela é possível evitar a criação de excessivos formulários que diminuem a visibilidade do sistema, pois apresentam ao usuário novas informações que podem ser suprimidas. Um exemplo disso é mostrado na figura 52, o qual representa o primeiro ponto de entrada na execução do comando Caixa. O usuário ainda poderia digitar 3P, e em seguida lançar coordenadas que formam um retângulo, para posteriormente lançar a altura, formando uma caixa. Além disso, ainda seria possível lançar estas coordenadas através do mouse.

Figura 53 – Barra de comando durante o preenchimento de um vértice na execução do comando Caixa

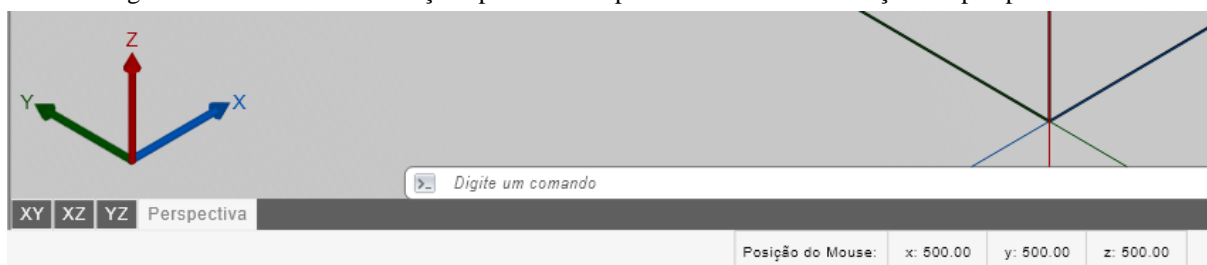


Fonte: elaborada pelo autor

Para auxílio ao desenho ainda se destaca a utilidade das abas de visualização (figura 54). Caso o usuário desejar, é possível desenhar a estrutura em duas dimensões com o auxílio dos modos de visualização nos planos XY, XZ e YZ. Para cada um deles equivale uma cota perpendicular ao plano, como por exemplo a cota em Z para o plano XY. Esta cota pode ser alterada no campo ‘Posição do Mouse’. Desta forma é possível realizar o desenho em duas dimensões em dois

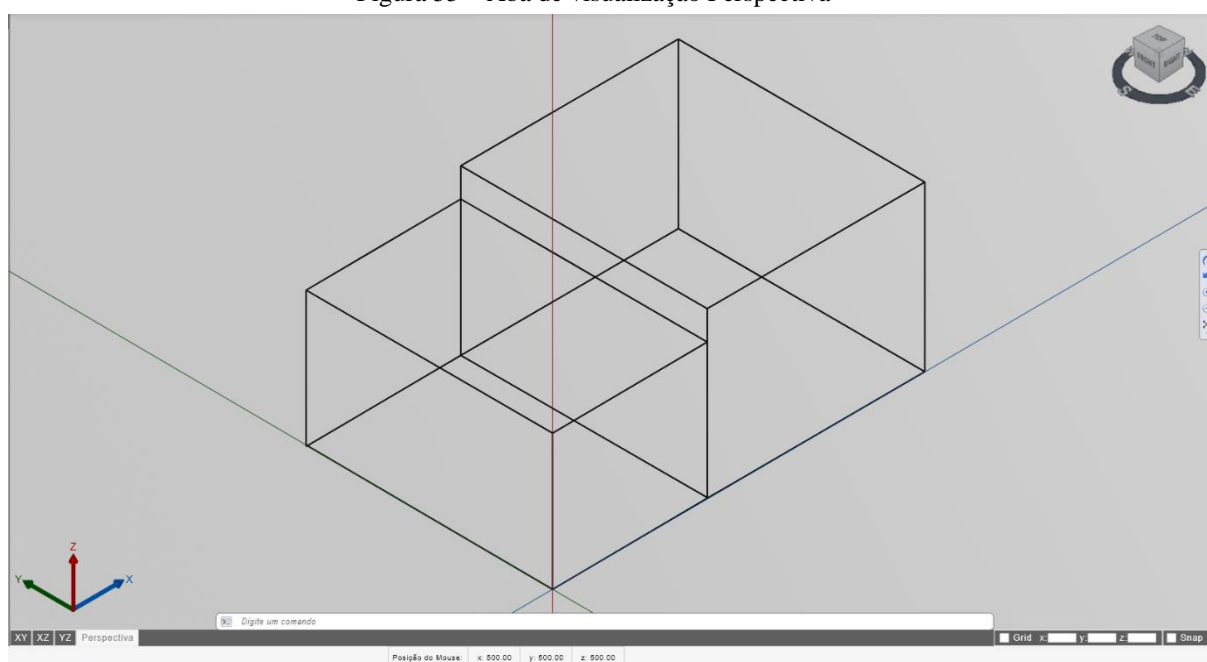
diferentes planos, e depois em perspectiva visualizá-los, como por exemplo exibido na figura 54. Ainda, visando facilitar o usuário a se situar, para cada modo de visualização compreende uma cor: para o XY o azul, para XZ o vermelho e para YZ o verde.

Figura 54 – Abas de visualização apresentam 3 planos além do visualização em perspectiva



Fonte: elaborada pelo autor

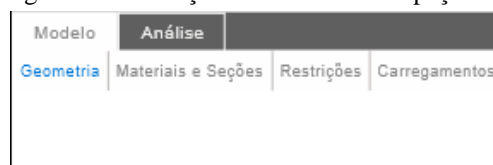
Figura 55 – Aba de visualização Perspectiva



Fonte: elaborada pelo autor

Aliado a isso foi elaborada uma árvore de inspeção (figura 56). Cada elemento gerado é armazenado e pode ser acessado e editado através dela. Em Geometria se situam todas as linhas, barras e nós criados, em Materiais e Seções estão todas as propriedades de barras criadas, e em Restrição são listadas as restrições modeladas, e em carregamentos pode-se visualizar os carregamentos e as cargas aplicadas à estrutura.

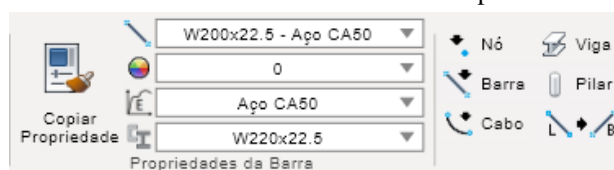
Figura 56 – Cabeçado da árvore de inspeção



Fonte: elaborada pelo autor baseado no Autodesk Inventor Professional 2018

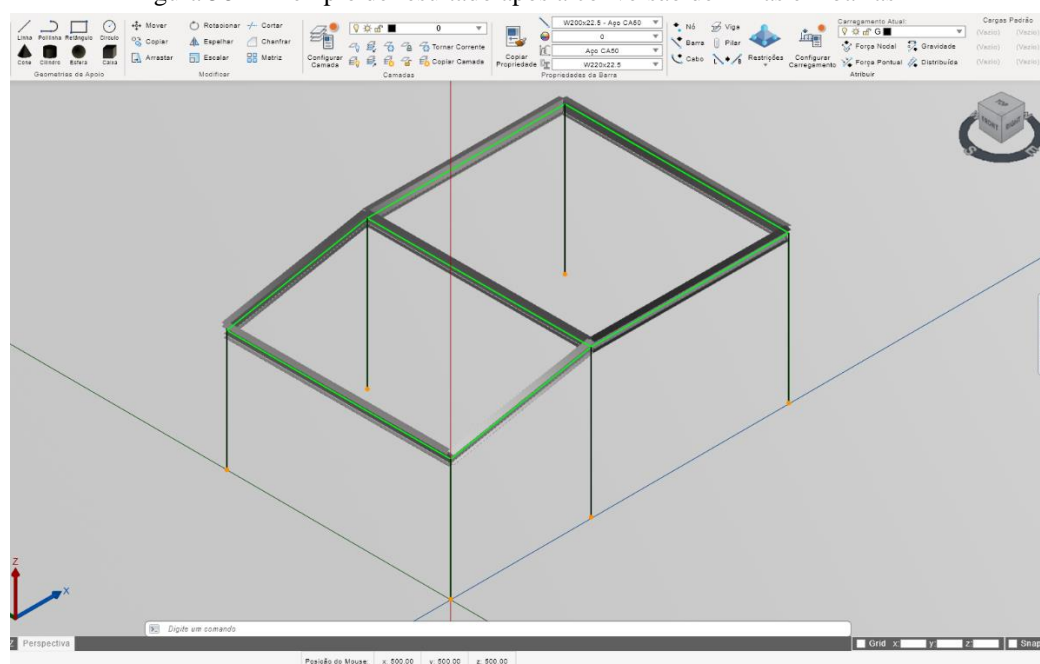
Deve-se destacar que para este novo modo de modelagem geométrica é necessária uma ferramenta que faça a conversão das linhas em barras. Para tal, além desse recurso é necessário que sejam apresentadas as propriedades que serão prescritas à barra após a conversão da linha. Em ‘Propriedades da Barra’, na figura 57, são apresentados os dados correntes que serão atribuídos após a conversão, a qual é realizada com a função representada pelo botão situado no canto inferior direito. Um exemplo dessa conversão está apresentado na figura 58.

Figura 57 – Nichos utilizados para conversão de Linhas em Barras, e também para definição de barras e nós sem auxílio de Geometrias de Apoio



Fonte: elaborada pelo autor baseado no Autodesk AutoCAD 2018

Figura 58 – Exemplo de resultado após a conversão de linhas em barras



Fonte: elaborada pelo autor

4.4.5 Configuração das restrições

A elaboração do protótipo oferece um novo padrão bem diferente dos estudados no que se trata da modelagem das chamadas condições de contorno, em especial as restrições e as cargas. Ambas as etapas de modelagem foram pensadas em se utilizar dos recursos gráficos disponíveis, aumentando a dinamicidade e tornando a interação mais agradável, refletindo em melhor consistência, visibilidade e eficiência.

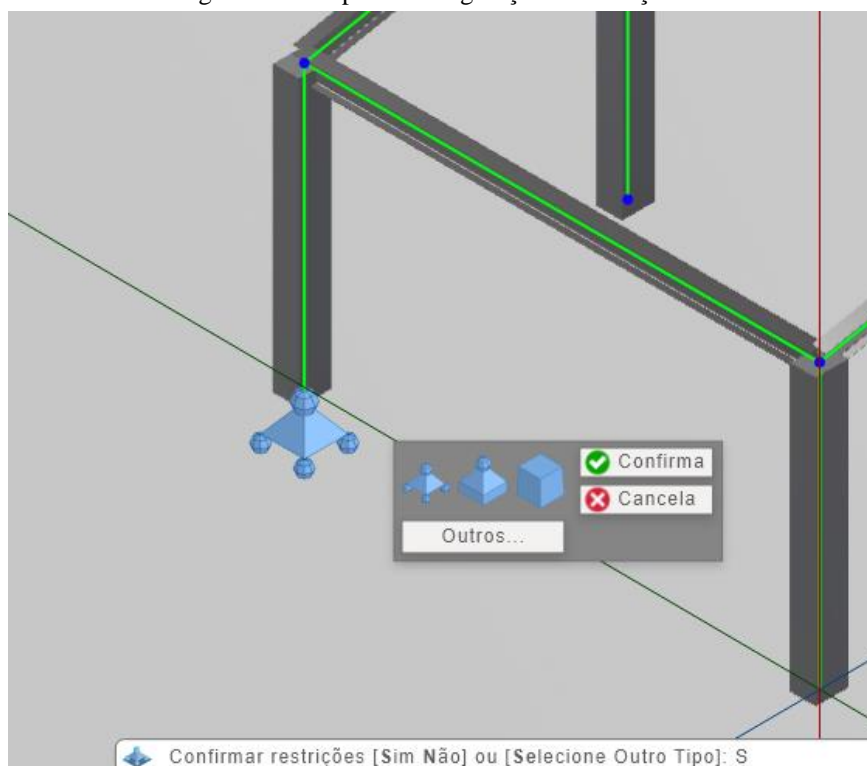
A consistência vem de promover os avanços gráficos em uma área cujas interfaces são demasiadas simplificadas, tornando-as incoerentes com a atual realidade dos softwares das mais diferentes aplicações. A visibilidade provém da melhoria dos aspectos gráficos que promovem melhor apresentação das informações, as quais passam a ser mais intuitivas e menos complexas. E a eficiência tem com origem a melhor produtividade devido as melhorias gráficas e diminuição do volume de trabalho e diminuição da carga cognitiva.

A modelagem das restrições, no protótipo é ativada através do botão Restrições, as quais podem ser realizadas de duas maneiras. A primeira é baseada em conceito já existente, e é ativada através da seta de expansão presente logo abaixo do ícone, o qual permite selecionar uma entre as 3 restrições mais utilizadas (a notar, restrição vertical, restrição horizontal e engaste), ou uma quarta opção onde abre-se um formulário para preenchimento da configuração desejada. A segunda é ativada com um simples clique no ícone, a qual foi adotada como solução para aumentar a usabilidade e diminuir a carga cognitiva.

Este novo procedimento se inicia com a seleção de um nó onde será aplicada a primeira restrição, e onde ela será definida. Após a seleção do nó um formulário de configuração aparece ao lado do nó, como na figura 59. No primeiro uso a restrição padrão selecionada é o apoio vertical, representado pelo primeiro ícone no formulário. Já caso seja usada outra restrição, na próxima utilização ela estará ativa ao invés do apoio vertical.

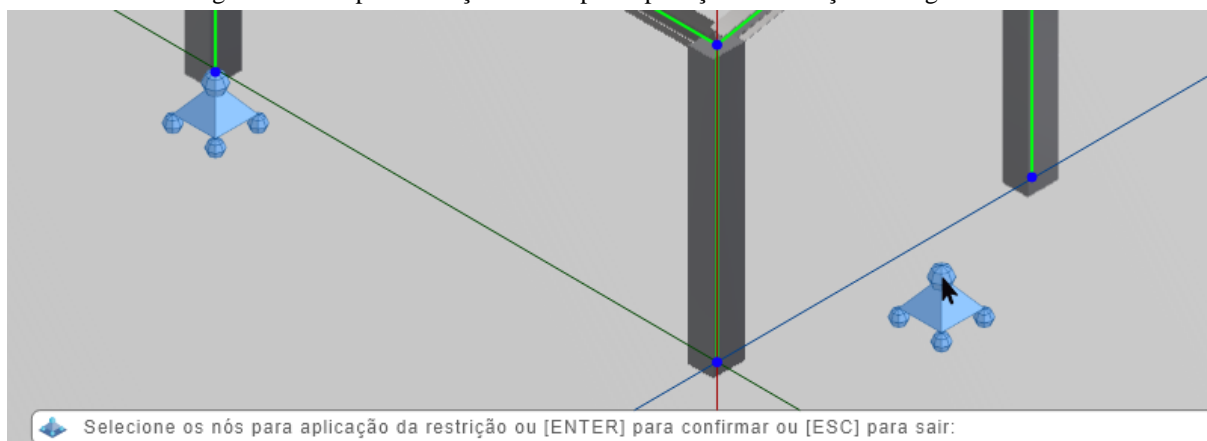
Na sequência, após confirmada a configuração, pode-se clicar em 'Confirma', e dará origem a etapa de seleção de nós que utilizarão esta mesma restrição. Enquanto eles estão sendo selecionados, o ponteiro do mouse arrasta a restrição configurada consigo como meio de feedback do sistema, situando o usuário de que se está na seleção de nós e qual a restrição configurada (figura 60).

Figura 59 – Etapa de configuração da restrição



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 60 – Etapa de seleção de nós para aplicação da restrição configurada



Fonte: elaborada pelo autor

Neste ponto há duas maneiras de aceitar a seleção: apertando na tecla Enter, ou apertando no botão auxiliar do mouse. Ambas as opções levam a nova etapa de seleção de nó para configuração de uma nova restrição. Se este não for o caso, um segundo Enter ou pressionamento do botão auxiliar finalizam a função. Este modelo de procedimento para configurar as restrições segue o mesmo conceito adotado para configuração das cargas.

4.4.6 Definição dos carregamentos e atribuição das cargas

A última funcionalidade fundamental para a etapa de modelagem estrutural se refere aos carregamentos e cargas. Carregamentos são agrupamento de cargas, e por isso precisam ser configurados antes do início de definir quais cargas estão atuando sobre a estrutura. Para tal é necessário entrar em ‘Configurar Carregamento’.

A etapa de configuração de carregamento compreende na seleção de algumas configurações que apresentam analogia à funcionalidade de camadas utilizadas na modelagem geométrica (figura 61). Para cada carregamento, além das funcionalidades tradicionais utilizadas nas camadas, agrega-se a possibilidade de considerar ou não a Gravidade. Caso esteja sendo considerada um G fica presente ao lado do nome. Também é possível configurar outras cores que serão utilizadas graficamente na modelagem, e assim cada carregamento pode apresentar uma cor para diferenciação.

Figura 61 – Formulário de configuração de carregamento

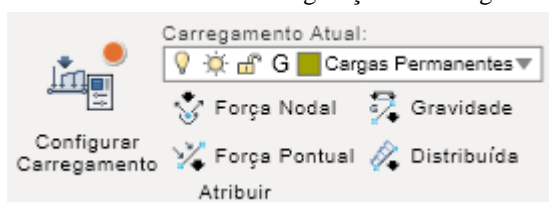
Status	Nº	L/D	C/D/B/D	Gravidade	Cor	Nome
✓	1	💡	☀️🔒	G	■	Cargas Permanentes

Fonte: elaborada pelo autor

Ainda na figura 61 deve ser destacado a seção ‘Status’, a qual define qual o carregamento atual selecionado. Isto também pode ser visualizado na janela principal como mostrado na figura 62. Além disso, a gravidade pode ser ativada ou desativada do carregamento corrente ao clicar no

botão Gravidade. Também pode-se ver que, ao contrário do encontrado nos softwares estudados, o protótipo apresenta cargas agrupadas dentro de funções, diminuindo a dificuldade de encontrar qual carga se deseja utilizar. São definidas assim, as forças nodais, as forças pontuais e as forças distribuídas.

Figura 62 – Formulário de configuração de carregamento



Fonte: elaborada pelo autor

As forças são compreendidas pelas forças concentradas em nós, e de modo análogo foi criada a força pontual, porém com esta sendo aplicada a barras. A diferença é que a força pontual permite configurar quantas cargas pontuais forem desejadas em uma barra. De modo análogo à pontual foi concebida a carga distribuída, a qual é utilizada para configurar cargas constantes e variáveis, sendo as variáveis podendo apresentar qualquer geometria desejada, e não apenas trapezoidais como encontrado em SAP2000 e Robot, por exemplo.

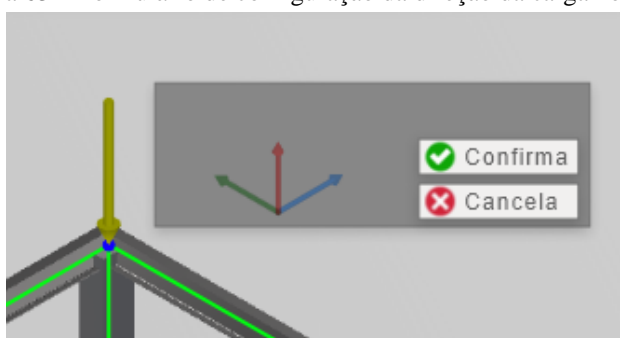
Com fins de manter a consistência dos procedimentos adotados no protótipo, a modelagem de cargas segue o mesmo procedimento adotado para as restrições, porém com alguns acréscimos devido sua maior complexidade. Os passos são os seguintes:

1. Selecionar o tipo de carga que será adotado;
2. Selecionar um nó ou barra para configuração da carga;
3. Selecionar tantos pontos quanto necessário para definir a quantidade de cargas (carga pontual) ou mudanças de magnitude (carga distribuída);
4. Definir a direção das cargas;
5. Atribuir os valores às cargas;
6. Configurar as cotas de referências em relação à barra, quando aplicável;
7. Selecionar outros nós ou barras que utilizarão a carga;

A primeira e a segunda etapas seguem os mesmos procedimentos definidos para as restrições, enquanto as etapas 3, 4 e 5 equivalem à etapa de configuração, que é simplificada para as restrições.

Após selecionada um nó ou barra, um formulário como o demonstrado na figura 63 aparece ao lado. A definição da seleção da direção das cargas é feita através do clique nos eixos, os quais apresentam as mesmas cortes do eixo de coordenadas presente na área de trabalho, com objetivo de manter a consistência do protótipo.

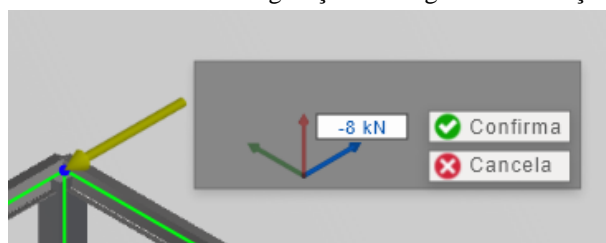
Figura 63 – Formulário de configuração da direção da carga nodal



Fonte: elaborada pelo autor

Ao se definir as direções das cargas, um campo aparece logo acima dos eixos do formulário (figura 64), e automaticamente a representação da carga na área de trabalho é atualizada. Realizada a etapa de configuração, a qual ainda apresenta outros passos nas cargas em barras, vem a etapa de seleção dos elementos que receberão a mesma carga, sendo que o ponteiro do mouse fica com a representação da carga para situar o usuário, assim como foi definido para as restrições. Também, seguindo a mesma lógica, após definidos os elementos que receberão as cargas, um clique com o botão auxiliar do mouse volta à etapa de seleção de elemento para configuração de uma nova carga, e um segundo clique no botão auxiliar finaliza a função.

Figura 64 – Formulário de configuração da magnitude da força nodal



Fonte: elaborada pelo autor

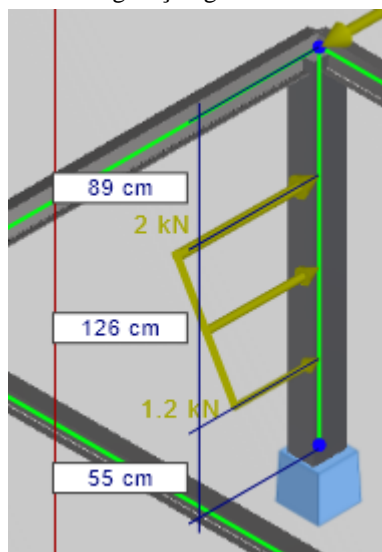
Como pode ser visto, a carga nodal é de simples configuração. As cargas pontuais e distribuídas, por outro lado, apresentam algumas etapas a mais. Após a seleção da barra para configuração da carga, deve-se selecionar a quantidade de pontos, na barra, os quais definirão os diversos pontos que representarão cargas pontuais ou picos de magnitude nas cargas distribuídas. Para cada ponto selecionado é mostrada uma carga na estrutura, e após a inserção do primeiro ponto um formulário de configuração é apresentado (figura 65).



Fonte: elaborada pelo autor

No exemplo da figura 65 está sendo configurada uma carga distribuída na direção do eixo x e com dois pontos selecionados na barra. Como pode ser visto, é possível selecionar ainda a direção da carga, sendo a 'Global' a direção dos eixos globais, e a Local em relação aos eixos da barra. Também deve-se notar que a carga pode ser inserida tanto na área de trabalho quanto no formulário, sendo que neste último pode ser realizada a inserção dos valores das cargas com o uso de um separador definido por um ponto-e-vírgula, e onde a ordem dos valores segue a ordem de seleção no desenho. Após a definição da magnitude da carga, deve-se definir sua configuração geométrica em relação à barra (figura 66).

Figura 66 – Formulário de configuração geométrica de uma carga distribuída



Fonte: elaborada pelo autor

A configuração da geometria é feita através dos campos mostrados na figura 66, e são preenchidos de mesmo modo feito em formulários. A mudança de um campo para outro pode ser feita com o mouse ou com o pressionamento da tecla TAB. Findada as etapas de configuração bastam realizar a seleção das demais barras que serão aplicadas a mesma carga.

Já a funcionalidade das cargas padrão são feitas através da seleção de uma carga pelo mouse, seguido do clique em um dos botões no respectivo campo situado ao lado dos botões de aplicação de cargas (figura 67), o qual permite configuração de um nome na barra de comandos. A chamada é feita ao clicar no botão onde a carga foi aplicada, sendo que as cargas em barras e nós só podem ser aplicados nos seus respectivos elementos. Caso uma carga configurada seja aplicada em uma barra com diferente comprimento, a ela será aplicada as mesmas magnitudes, porém com as cotas de referência sendo escalonada em função do comprimento da barra.

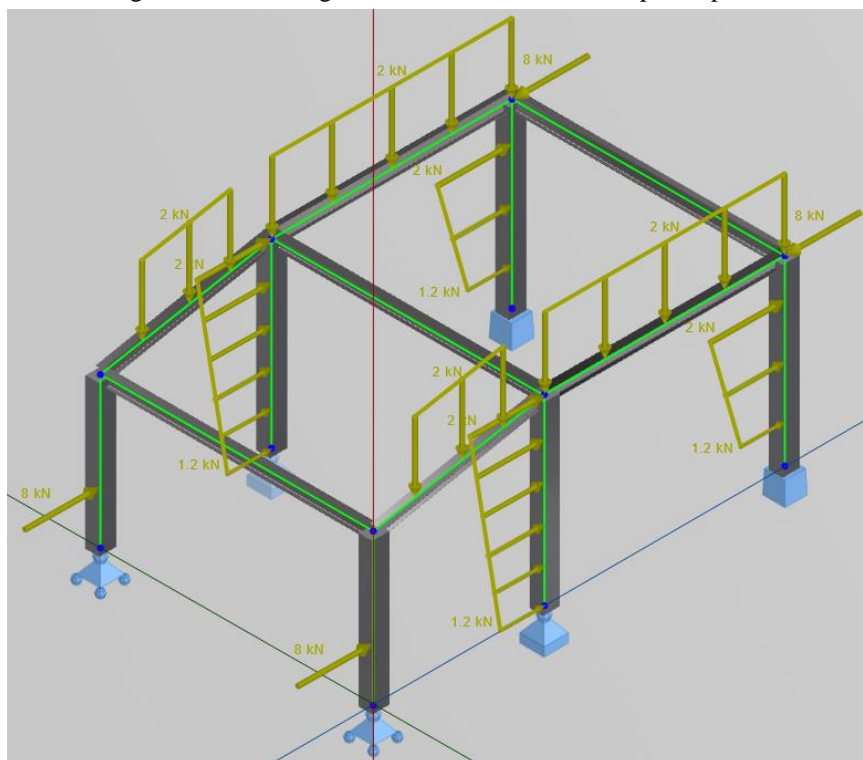
Figura 67 – O local para configuração dos botões de Cargas-Padrão são situados ao lado das cargas



Fonte: elaborada pelo autor

Deste modo é apresentado um protótipo de interface construído através da aplicação do KLM-GOMS e das heurísticas de usabilidade. O resultado da mesma estrutura, modelada pelos demais softwares estudados, está apresentado na figura 68, e cujo tempo previsto para sua modelagem é de 170,91 segundos, uma diminuição de 87,04 segundos em comparação com o Robot, o software com melhor desempenho mensurado.

Figura 68 – Modelagem da estrutura realizada no protótipo

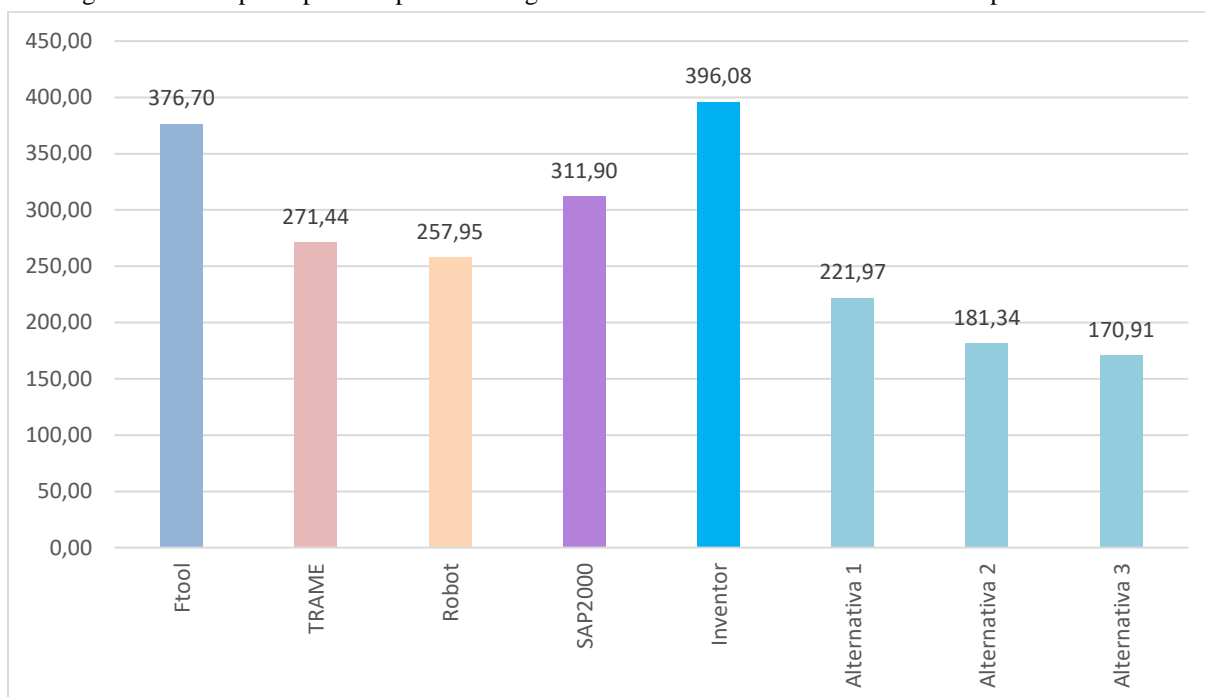


Fonte: elaborada pelo autor

4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Agrupar as heurísticas de usabilidade com a modelagem preditiva do comportamento humano permitiu diminuir significativamente o tempo de modelagem de uma estrutura. Como pode ser visto no resumo criado através da figura 69, a diminuição do tempo total caiu de 257,95 – considerando o Robot como referência – para 170,91 segundos, uma redução de 87,04 segundos.

Figura 69 – Tempo dispendido pela modelagem em cada software considerando os tempos unitários



Fonte: elaborada pelo autor

Deve-se notar, porém, que os valores considerados no montante do tempo do TRAME desconsidera os tempos das atividades o qual não apresenta funcionalidade (atividades de criação de concreto e sua respectiva seção retangular). Apesar disso, este software ainda apresenta tempo superior ao Robot, que por sua vez teve o melhor desempenho dentre os softwares considerados. Também deve-se explicar que os tempos dos softwares em 2D, aonde foram unitarizados os tempos, foram extrapolados à quantidade de barras existentes na modelagem 3D, permitindo assim a comparação.

Essa redução, todavia, é uma redução que desconsidera modelagens mais longas, sendo que, considerando os tempos unitarizados, o potencial de diminuição é ainda maior devido a implementação da ferramenta de modelagem rápida de cargas (cargas-padrão) e do sistema de criação de barras baseado no Autodesk AutoCAD 2018. Fazer a extrapolação do tempo que seria gasto entre os softwares, no entanto, não é tão simples pois a chamada unitarização dos tempos representa os tempos de configuração de etapas da modelagem, e quanto mais vezes for aplicada determinada configuração, maior é o tempo de economia. Ainda assim, apesar de não representar um tempo preciso, ainda serve de referência para comparação, uma vez que estas continuam sendo proporcionais na comparação entre os softwares.

Neste caso, onde mais se aplicam as reduções são nas cargas e na modelagem geométrica. O valor das cargas-padrão, por exemplo, apresenta pouca variação já a partir de 50 cargas, onde o recurso apresenta gasto estimado é de 1,36 segundos por carga, considerando entre configuração da carga-padrão e sua aplicação às 50 barras. Com 200 cargas, este valor varia pouco, diminuindo para 1,31 segundos por carga.

A comparação com o Robot, porém, não é simples. Uma vez que este permite realizar a seleção de barras que receberão uma carga via linha de comando, este mecanismo seria mais rápido não fosse a grande quantidade de barras e as diversas configurações de seções que existiriam em um grande projeto, o que atrapalha na seleção. Apesar disso, o Robot também apresenta bons valores, alcançando 1,42 segundos por barra (ou nó). Este valor também é baixo devido ao fato de que o tempo de seleção de barras, ou nós, é de 1,3 segundos, o que corresponde à ação de apontar para um elemento e mais um clique neste, valores que correspondem a 1,3 e 0,2 segundos respectivamente, o mesmo que acontece com novo modelo de carga-padrão sugerido. Naturalmente, os valores tendem a convergir conforme maior o número de elementos a serem selecionados.

A diferença, entretanto, deve considerar a etapa não-linear de modelagem, a qual significa na ação de atividades já realizadas antes. Isso significa que, supondo ter que realizar uma nova chamada de 50 cargas já aplicadas previamente, podendo ser a mesma, mas em diferentes momentos, implicada num total de, pelo menos, 370 segundos com o Robot, e apenas 211 segundos no protótipo gerado pela Alternativa 3. Estes valores indicam 2,65 minutos menos de modelagem (quase 43% a menos).

Outro ponto que representa grande diminuição de tempo é na modelagem das seções. A Alternativa 2, dentre os novos modelos propostos, olhando apenas para os números, seria a mais eficiente, porém apresenta problemas de usabilidade devido avaliações heurísticas. Da mesma maneira o TRAME apresenta problemas devido não apresentar concreto como possibilidade de modelagem de seções. Na prática, a Alternativa 3 corresponde a interface do TRAME modificada em pequenos aspectos, e os acréscimos de tempo existentes no novo modelo existem devido justamente ao fato de haver a implementação de concreto aos catálogos, bem como de seções retangulares. Ou seja, a evolução entre os 2 melhores se dá em termos de heurísticas e não carga cognitiva.

Assim sendo, deve-se comparar o Ftool com a Alternativa 3. Assim como as cargas, a nova Alternativa apresenta um método de modelagem mais rápido, assim como o Ftool apresenta. Há melhorias, porém, significantes em termos de usabilidade, uma vez que a edição é mais simples, e a interface mais moderna., resultado das heurísticas. Dito isto, a comparação em relação a carga cognitiva deve ser feita com base nos tempos utilizados para configuração das cargas. A diferença é de 13,47 segundos com o Ftool para 8,5 segundos com a Alternativa 3, tendo como valores as médias entre as atividades 2.1 e 2.2. Isto representa uma diminuição de quase 37%, e considerando um projeto com 50 seções diferentes, a economia de tempo alcança 248,5 segundos.

Outro ponto de grande reflexo em termos de diminuição é a modelagem da estrutura a nível de barras, o que é estudado em termos da Atividade 3. Em termos de números unitários de acordo com as atividades desenvolvidas, compara-se o Robot com a Alternativa 3. A redução, nestes termos, foi de 5,31 para 4,51 segundos por barra, redução de 15% (0,8 s/barra). Esta etapa é uma das mais consideráveis em termos de modelagem, e quando se fala em uma estrutura que deve ser simulada em um grande projeto, se fala em milhares de barras. Supondo um valor de 20.000 barras, essa diferença de tempo alcançaria a ordem de mais de 4 horas. De um modo geral, porém, a criação de pavimentos costuma ser repetida, e as etapas acabam compreendendo pequena diferença de tempo de diferença entre os softwares. Ainda assim, para cada 750 barras modeladas, por exemplo, a diferença de tempo chega a 10 minutos.

Em relação às atividades de modelagem de materiais e de restrições, as considerações de aumento de economia de tempo não são tão significativas. Isto dito, pois, são atividades cujo volume de repetições é pequeno. Geralmente se utiliza apenas um, no máximo 2 materiais na modelagem. E as restrições também são limitadas a poucos nós. Assim as diminuições, apesar de apresentar diferenças significativas em termos percentuais, não apresentam impactos tão grandes quanto os demais aspectos estudados. Assim retrata-se a diminuição do tempo unitário por restrição com diminuição de 3,55 para 2,49 segundos por restrição na comparação entre TRAME e a Alternativa 3., o que representa diminuição de 30% (1,06 segundos por restrição).

Em termos de materiais deve-se considerar que o TRAME tem problemas de usabilidade, ainda que seja eficiente seu sistema de catálogos. Isto pois, novamente, não apresenta possibilidade de configurar concretos. Além disso também foi possível melhorá-lo em termos de carga cognitiva, e de forma muito considerável, apesar do baixo impacto durante o tempo total de

uma modelagem longa. Comparando aos valores que puderem ser levantados, o TRAME alcançou 13 segundos na Atividade 1.1, e o protótipo alcança 8,45 segundos, uma redução de 35%, o que significa 4,55 segundos. Já tomando-se o Ftool como melhor desempenho na Atividade 1.2, a comparação fica ainda mais desigual: 11,07 segundos contra 5,25 segundos com o novo modelo. A diminuição alcança mais de 47%, totalizando redução de 5,82 segundos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise estrutural é uma parte básica de projetos de construção civil, e vem passando por transformações desde o início de sua utilização. Com o emprego de computadores na resolução dos problemas estruturais, soluções mais complexas tornaram-se viáveis, bem como a viabilização de edificações cada vez maiores. Apesar de toda a facilidade trazida, a grande evolução computacional se faz presente apenas na resolução e cálculo dessas estruturas, com baixo enfoque na usabilidade dessas ferramentas.

Hoje em dia praticamente todas as estruturas construídas passam pela etapa de projeto estrutural. A produtividade ligada a esta etapa do projeto é fundamental e, portanto, é essencial que estas ferramentas apresentem alta produtividade. Através dessa pesquisa se fez notar que muito já foi feito acerca da capacidade computacional, mas pesquisas e melhorias nas interfaces desses softwares se fazem inexistentes. Softwares utilizados nas universidades, visando auxiliar no aprendizado das disciplinas estruturais são demasiadamente simples, e apresentam enorme margem para melhorias. Enquanto isso, os programas adotados no mercado de trabalho apresentam grande complexidade devido ao excesso de ferramentas que devem ser embutidas para suprir a necessidade dos engenheiros estruturais.

Durante a realização da etapa de revisão da literatura foi encontrado que a modelagem preditiva do comportamento humano poderia ser capaz de ajudar na solução dos problemas encontrados. Através dessa disciplina é possível analisar interfaces mediante atividades a serem desenvolvidas, e através das quais é possível verificar onde os usuários perdem maior quantidade de tempo. Ou seja, é possível averiguar onde se encontram excessos de carga cognitiva que podem ser removidos, ou então que abram espaço para novas soluções capazes de diminuir estes tempos. Além disso foi constatado que, além da carga cognitiva, as heurísticas são ferramentas essenciais no projeto de interfaces que visam maior ergonomia.

Assim sendo, dada a importância dos softwares de análise estrutural, e dadas ferramentas que poderiam contribuir para melhoria, foi sugerido que as heurísticas da usabilidade, junto com a modelagem preditiva do comportamento humano são capazes de melhorar o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras através da promoção da usabilidade e da diminuição da carga cognitiva.

A carga cognitiva, através do método KLM-GOMS é capaz de mensurar o tempo gasto no desenvolvimento de determinadas atividades, quantificando, assim, a carga cognitiva. As heurísticas, por sua vez, são capazes de avaliar interfaces já existentes, bem como balizar a geração de novas alternativas. São, portanto, ferramentas complementares, e através das quais foi definido o objetivo específico de criar um protótipo de interface visando a comprovação de que as heurísticas e métodos preditivos são capazes de resolver os problemas constatados.

Para tanto, inicialmente foi necessário cumprir alguns objetivos, definidos como objetivos secundários. Inicialmente foram investigados os processos de interação na modelagem de estruturas em softwares CAE, através dos quais foi possível identificar e descrever os processos envolvidos. Na sequência foram encontradas e analisadas as dificuldades encontradas no processo de modelagem, e para os quais foram avaliados e propostos novos agrupamentos para os processos de modelagem, os quais foram avaliados para se definir quais desses processos seriam capazes de compor a interface do protótipo.

Foi verificado que a modelagem consiste em 5 etapas: definição dos materiais utilizados; seções que compõem a estrutura; definição da geometria estrutural; atribuição das restrições; e modelagem das cargas à estrutura. Além disso, foi notado que a modelagem apresenta duas fases, uma primeira linear, onde as etapas de modelagem ocorrem sequencialmente, e uma segunda não-linear, que se trata de alterações e acréscimos à estrutura modelada.

Durante a análise das dificuldades foram constatados diversos problemas, os quais variam desde simplicidade à excesso de informações, além de diversas etapas que poderiam ser otimizadas com a diminuição nos passos para realização das etapas encontradas. A modelagem dos materiais e seções não são de fácil acesso, a modelagem geométrica apresenta pouca dinamicidade, com uso de formulários desnecessários ignorando soluções mais rápidas já presentes nos softwares CAD. Lançar cargas e restrições são tarefas repetitivas, e que raramente é possível modelar, especialmente em estruturas complexas, de modo linear, sendo necessário repetir todos os passos de modelagem de cargas e restrições já utilizadas.

Outro problema comum é a falta de unificação de certas ferramentas. Este é o caso das cargas, onde para cada tipo de carga se apresenta uma função diferente. Por exemplo cargas constantes e variáveis são ativadas através de comandos diferentes, o que não é necessário. Além disso

cargas concentradas, tanto em barras quanto em nós, devem ser lançadas uma a uma, sendo necessário repetir passos já realizados durante sua configuração.

Além dos problemas encontrados empiricamente, os softwares selecionados para o estudo também foram verificados através do KLM-GOMS. Foram definidas atividades que deviam ser cumpridas, e para cada uma delas foram anotados os passos necessários, definidos os operadores relacionados à cada um dos passos, e depois contabilizados os tempos gastos. Uma vez que foram selecionados softwares 2D e 3D, as atividades de desenho geométrico, definição das restrições e atribuição das cargas também foram anotados unitariamente para viabilizar a comparação, ou seja, a quantidade de passos e o tempo total foi dividido, respectivamente, de acordo com quantidade de barras, restrições e cargas.

A partir dos dados apurados, foram estabelecidas notas visando a comparação dos tempos encontrados. Essas notas foram configuradas em forma de graduação, onde o melhor desempenho recebeu a nota 10, e o pior recebeu nota 0. A partir das notas atribuídas foram também calculadas notas médias, o que permite verificar o quanto os procedimentos de cada software poderiam ser melhorados.

Através disso foi verificado que 2 dos softwares se sobressaíram, porém, ainda apresentando grande potencial para melhoria. O TRAME foi o grande destaque, porém trata-se de um software cujo bom desempenho conflita com a ausência de ferramentas capazes de modelar concreto. Por outro lado, seu ótimo desempenho nas atividades de modelagem de materiais e seções chamou atenção ao fato de que catálogos são fundamentais para diminuir o tempo de modelagem para estas etapas.

Um segundo destaque fica ao Robot, o qual apresentou o segundo melhor desempenho, ainda que com nota média que evidenciou haver muitas margens para melhoria. Seu destaque ficou com as etapas de modelagem geométrica e atribuição das cargas, e cujos procedimentos resultaram na base para criação de novos modelos para a criação do protótipo.

A nível de representações gráficas deve-se destacar o Inventor, um software que no levantamento da carga cognitiva teve desempenho muito fraco na comparação com os demais softwares. Seus méritos provêm de seu enfoque diferente, o qual permite criar protótipos virtuais em 3D utilizando um paradigma diferente da modelagem clássica dos softwares CAD, e cuja finalidade principal não se refere a análise estrutural. Seu estudo, porém, acaba trazendo

aspectos gráficos que ajudam na atualização dos softwares voltados para análise estrutural, em especial para o desenvolvimento do protótipo resultado desta pesquisa.

Em termos da análise de usabilidade, os softwares apresentam problemas em relação à consistência, eficiência, flexibilidade e simplicidade. O principal problema de consistência refere-se a falta de padronização, em especial em relação a convenções sobre ícones e símbolos existentes nos softwares – como linhas de comando, por exemplo –, onde cada programa busca novo modelo sem seguir ferramentas já consagradas no mercado, preferindo empregar métodos mais primitivos como o uso de formulários simplistas. A eficiência acaba tendo seu reflexo na avaliação realizada pelo KLM-GOMS, uma vez que este é capaz de medir o volume de trabalho necessário para realizar determinadas tarefas.

Outro principal aspecto é a falta de flexibilidade nos softwares de análise estrutural. Junto a simplicidade, estes dois são aspectos que causam os maiores problemas aos programas. O excesso de simplicidade que buscam acaba engessando a utilização, assim como a falta de ferramentas ou métodos alternativos de se resolver uma atividade. A utilização dos recursos gráficos presentes nos demais softwares são excelentes aliados para resolver estas questões.

E é tendo em vista todas as questões analisadas que foi gerado o protótipo. Seu desempenho frente a carga cognitiva foi capaz de diminuir o tempo de modelagem de uma estrutura simples em 3D em cerca de 33% em relação ao software com melhor desempenho. Esta diminuição se dá especialmente devido as análises provenientes do método KLM-GOMS, o qual permitiu melhorar procedimentos já existentes e gerar novas ideias.

A nível de modelagem de materiais e seções não foram encontradas alternativas melhores que as estudadas a nível conceitual. Foi possível, porém, otimizar seu desempenho. Além disso, seguindo as heurísticas, foi adaptada a ideia de criação de materiais e seções seguindo o conceito de catálogos já existente para materiais e seções metálicas para seções mais simples como retângulos, bem como catálogo de concretos de acordo com a norma brasileira que estabelece os parâmetros de projeto para concretos. Este foi o meio, portanto, de se manter a consistência do software em relação às suas próprias ferramentas.

Também respeitando especialmente a consistência, além da eficiência buscada pelo KLM-GOMS, a linha de comando foi determinante para melhoria da carga cognitiva na modelagem geométrica. A ideia da criação de geometrias de apoio foi baseada no conceito único encontrado

que é utilizado pelo Robot, os chamados objetos, que criam geometrias cujos vértices tornam-se nós, e as arestas barras. A eliminação desta conversão automática acaba diminuindo o tempo de modelagem, assim como a utilização da linha de comando. A adoção desta última ainda permite eliminar formulários desnecessários durante a modelagem.

Para as ferramentas de modelagem de restrições e cargas se chegou à conclusão de que a criação e um novo paradigma de modelagem é mais consistente com a modelagem de uma estrutura. Todos os procedimentos acabam se reduzindo as etapas de criação, configuração e aplicação. É baseado nisso que se chegou ao protótipo, o qual utiliza o conceito de primeiro definir um nó ou barra, depois configurar a restrição ou a carga, e só então aplicar ela aos demais elementos desejados. Junto a isso está um novo conceito gráfico, utilizando ferramentas mais interativas, as quais trazem maior simplicidade, flexibilidade e autonomia, além de atualizar a modelagem estrutural aos recursos gráficos disponíveis.

Além disso, foi sugerido a implementação de um recurso como solução para um dos principais problemas da modelagem estrutural: a repetição de cargas já modeladas previamente. Foi sugerido um nicho que compreende atalhos configuráveis de cargas frequentemente usadas, as quais, após salvas, podem ser chamadas através de um botão, poupando o retrabalho de configuração desta carga. Também foi implementado o conceito de camadas de barras, em analogia às camadas de linhas existentes nos softwares CAD, e utilizada para os carregamentos. Utilizar essa base conceitual das plataformas CAD também permite a edição das configurações das propriedades das barras de modo muito mais rápido.

O desenvolvimento do protótipo resulta em um conceito novo, muito mais rápido e interativo que os encontrados no mercado de trabalho, e cuja origem se encontra na utilização da modelagem preditiva do comportamento humano, seguindo critérios de usabilidade. O KLM-GOMS permite analisar sistematicamente dados quantificáveis, podendo-se verificar excessos de carga cognitiva desnecessários. Juntamente a ele, a utilização das heurísticas permitiu verificar outros problemas nas interfaces estudadas, e especialmente ajudou a balizar a concepção do protótipo. Pôde-se perceber que se trata de ferramentas complementares, e cujo uso simultâneo é capaz de melhorar substancialmente interfaces, uma vez que ampliam os aspectos considerados nos estudos.

REFERÊNCIAS

ADOBE INC. **XD**, Adobe Inc., 2019. Disponível em:
<<https://www.adobe.com/br/products/xd.html>>

ALTOQI. **Eberick**, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9241-11 Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores**. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2008, **Anais...** [s.l: s.n.]

AUTODESK. **Robot Structural Analysis Professional**. 2017a. Disponível em:
<<https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

AUTODESK. **Inventor**. 2017b. Disponível em:
<<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

BAUMEISTER, L. K.; JOHN, B. E.; BYRNE, M. D. A comparison of tools for building GOMS models. In: CHI '00: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS 2000, The Hague, The Netherlands. **Anais...** The Hague, The Netherlands: ACM Press, 2000.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. [s.l: s.n.].

BEARD, D. V.; SMITH, D. K.; DENELSBECK, K. M. Quick and dirty GOMS: A case study of computed tomography interpretation. **Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 157–180, 1996.

CAMPANARI, F. A. **Teoria das Estruturas**. Rio de Janeiro/RJ: Guanabara Dois, 1985.

CARD, S. K.; MORAN, T. P.; NEWELL, A. The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. **Communications of the ACM**, [s. l.], v. 23, n. 7, 1980.

CARD, S. K.; MORAN, T. P.; NEWELL, A. **The Psychology of Human-Computer Interaction**. [s.l.] : Taylor& Francis Group, 1983.

CSI. **SAP 2000**, CSI, 2017.

CYBIS, W.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações**. 2nd. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2010.

CYBIS, W. de A. **A descrição de um problema de usabilidade**. 2018. Disponível em:
<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/hiperdocumento/unidade3_3_1_1.html>. Acesso em: 9 set. 2018.

CYBIS, W.; HOLTZ, A.; FAUST, R. Ergonomia e usabilidade. **São Paulo: Novatec**, [s. l.], 2010.

DAYSTAR SOFTWARE INC. **Usability**. 2019. Disponível em: <<http://www.daystarsoftware.com/usability>>. Acesso em: 18 jan. 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. xxii ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788582602997/pageid/163>>

DUNLOP, M. D.; MONTGOMERY MASTERS, M. Investigating five key predictive text entry with combined distance and keystroke modelling. **Personal and Ubiquitous Computing**, [s. l.], 2008.

ELLWANGER, R. J. **Análise Matricial de Estruturas de Barras**. Janeiro/20 ed. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2006.

ELWART, T.; GREEN, P.; LIN, B. **Predicting driver distraction using computed occlusion task times: Estimation of task element times and distributions**. [s.l.: s.n.].

EMBARCADERO TECHNOLOGIES. **Delphi® - Visão geral**. 2019. Disponível em: <<https://www.embarcadero.com/br/products/delphi>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

ESTEVES, M. et al. Applied user performance modeling in industry - A case study from medical imaging. In: **Digital Human Modeling**. [s.l.: s.n.].

FELIPPA, C. A. A historical outline of matrix structural analysis: A play in three acts. **Computers and Structures**, [s. l.], v. 79, n. 14, p. 1313–1324, 2001.

FENVES, S. J. et al. **STRESS: A User's Manual: A Problem-Oriented Computer Language for Structural Engineering**. 2nd. ed. [s.l.] : The MIT Press, 1964.

GARRETT, F. **IBM cria Summit, supercomputador mais rápido do mundo de 200 petaflops**. 2018. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/06/ibm-cria-summit-supercomputador-mais-rapido-do-mundo-de-200-petaflops.ghtml>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

GHALI, A.; NEVILLE, A. M. **Structural analysis, a unified classical and matrix approach**. 7th. ed. [s.l.] : Taylor& Francis Group, 2017.

GINN, S. CLIsis: An Interface for Visu-ally Impaired Users of Apache Isis Applications. [s. l.], 2016.

GRAY, W.; JOHN, B.; ATWOOD, M. The precis of Project Ernestine or an overview of a validation of GOMS. In: ... OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN ... 1992, Monterey, CA, USA. **Anais...** Monterey, CA, USA: ACM Press, 1992.

GREEN, P.; KANG, T.-P.; LIN, B. **Touch Screen Task Element Times for Improving SAE Recommended Practice J2365: First Proposal**. [s.l.: s.n.].

GU, Y. et al. **Structural Optimization for Practical Engineering: Software Development and Applications**. [s.l.] : Elsevier Ltd, 1999. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080430089500508>>

HEVNER, A. et al. Design Science in IS Research. **MIS Quarterly**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HOCHSTEIN, L. GOMS. [s. l.], 2002. Disponível em:

<[https://cefns.nau.edu/~edo/Classes/CS477_WWW/Docs/TechArticles/GOMS and Keystroke-Level Model.pdf](https://cefns.nau.edu/~edo/Classes/CS477_WWW/Docs/TechArticles/GOMS%20and%20Keystroke-Level%20Model.pdf)>

HOLLEIS, P. et al. Keystroke-level model for advanced mobile phone interaction. In: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS - CHI '07 2007, **Anais...** [s.l: s.n.]

HOLLEIS, P.; SCHERR, M.; BROLL, G. A revised mobile KLM for interaction with multiple NFC-Tags. In: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE (INCLUDING SUBSERIES LECTURE NOTES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LECTURE NOTES IN BIOINFORMATICS) 2011, **Anais...** [s.l: s.n.]

HUDSON, S. E. et al. A tool for creating predictive performance models from user interface demonstrations. In: UIST '99: PROCEEDINGS OF THE 12TH ANNUAL ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY 1999, Asheville, NC, USA. **Anais...** Asheville, NC, USA: ACM Digital Library, 1999.

INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. **Definition and Domains of Ergonomics**. 2018. Disponível em: <<https://www.iea.cc/whats/>>. Acesso em: 26 set. 2018.

JOHN, B. E. et al. Predictive human performance modeling made easy. In: PROCEEDINGS OF THE 2004 CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS - CHI '04 2004, **Anais...** [s.l: s.n.]

JOHN, B. E.; JASTRZEMBSKI, T. S. Exploration of Costs and Benefits of Predictive Human Performance Modeling for Design. In: PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COGNITIVE MODELING 2010, **Anais...** [s.l: s.n.]

JOHN, B. E.; KIERAS, D. E. Using GOMS for user interface design and evaluation: Which technique? **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 287–319, 1996.

JOHN, B. E.; NEWELL, A. Predicting the time to recall computer command abbreviations. **CHI '87: Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface**, [s. l.], v. 18, p. 33–40, 1987. Disponível em:

<<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=29933.30857>>

KANG, T.-P. et al. **Usability of a prototype generation 4 Hyundai-Kia navigation radio: Evidence from an occlusion experiment and SAE J2365 and Pettitt's method calculations**. [s.l: s.n.].

KIERAS, D. E. Towards a practical GOMS model methodology for user interface design. In:

HELANDER, M. (Ed.). **Handbook of human-computer interaction**. Ann Arbor, MI, USA: Elsevier B.V, 1988. p. 135–157.

KIERAS, D. E. et al. GLEAN: A computer-based tool for rapid GOMS model usability evaluation of user interface designs. In: **UIST '95: PROCEEDINGS OF THE 8TH ANNUAL ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE AND SOFTWARE TECHNOLOGY 1995**, Pittsburgh, PA, USA. **Anais...** Pittsburgh, PA, USA: ACM Press, 1995.

KIM, G. J. **Human – Computer Interaction Fundamentals and Practice. Human Computer Interaction: Fundamentals and Practice**, Boca Raton, FL, USA, 2015.

KO, A. J. et al. The state of the art in end-user software engineering. **ACM Computing Surveys**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 1–44, 2011. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1922649.1922658>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 26. ed. Petrópolis.

KURRER, K.-E. **The History of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics**. Berlin, Germany: Ernst & Sohn Verlag, 2012. Disponível em: <<http://au.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-3433018383.html>>

LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. **Research Methods in Human Computer Interaction**. 2nd. ed. Cambridge, MA, USA: Morgan Kaufman, 2017.

LEE, A. et al. Fingerstroke time estimates for touchscreen-based mobile gaming interaction. **Human Movement Science**, [s. l.], 2015.

LI, F. et al. The 1Line keyboard: a QWERTY layout in a single line. ... **of the 24th annual ACM ...**, [s. l.], 2011.

LIU, Y.; RÄIHÄ, K. J. Predicting Chinese text entry speeds on mobile phones. In: **PROCEEDINGS OF THE 28TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS - CHI '10 2010**, **Anais...** [s.l.: s.n.]

MACNEAL, R. H. Some organizational aspects of NASTRAN. **Nuclear Engineering and Design**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 254–265, 1974.

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**. 2nd. ed. Rio de Janeiro/RJ: PUC-Rio, 2017. a. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~lfm>>

MARTHA, L. F. **Ftool - Two-Dimensional Frame Analysis Tool**, Marlin, 2017. b. Disponível em: <<https://www.ftool.com.br/Ftool/site/about>>

MCCORMAC, J. **Structural Analysis, Using Classical and Matrix Methods**. 4th. ed. [s.l.] : Wiley and Sons, Inc, 2007.

MCGUIRE, W.; GALLAGHER, R. H.; ZIEMIAN, R. D. **Matrix Structural Analysis**. 2. ed. [s.l.] : John Wiley & Sons, Inc, 2000.

MILLER, G. A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. **Psychological Review**, [s. l.], v. 101, n. 2, p. 343–352, 1956. Disponível em: <http://www.psych.utoronto.ca/users/peterson/psy430s2001/Miller_GA_Magical_Seven_Psych_Review_1955.pdf>

MITK. **The Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK)**. 2018. Disponível em: <<http://mitk.org/wiki/MITK>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

MOHD EHMER, K.; FARMEENA, K. A Comparative Study of White Box , Black Box and Grey Box Testing Techniques. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, [s. l.], v. 3, n. 6, p. 12–15, 2012.

NIELSEN, J. Enhancing the explanatory power of usability heuristics. **Conference companion on Human factors in computing systems - CHI '94**, [s. l.], p. 210, 1994. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=259963.260333>>

NIELSEN, J.; MOLICH, R. Heuristic Evaluation of user interfaces. In: CHI '90 PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS 1990, Seattle, Washington, USA. **Anais...** Seattle, Washington, USA

ORMONDE, P. C.; SOUZA, A. S. C. De. **Software Educacional Livre para análise não linear de pórticos planos em estruturas metálicas**. 2013. Universidade Federal de São Carlos, [s. l.], 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4687/5600.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

ORMONDE, P. C.; SOUZA, A. S. C. De. **TRAME**, UFSCar, 2018. Disponível em: <<http://trameestruturas.blogspot.com/p/download.html>>

PECHANSKY, R. **Um modelo baseado em princípios de usabilidade para aplicação em interfaces de usuário para a interação humano-computador**. 2011. UFRGS, [s. l.], 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/49087>>

PETTITT, M.; BURNETT, G. Visual demand evaluation methods for in-vehicle interfaces. **International Journal of Mobile Human Computer Interaction**, [s. l.], 2010.

PETTITT, M.; BURNETT, G.; STEVENS, A. An extended keystroke level model (KLM) for predicting the visual demand of in-vehicle information systems. In: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS - CHI '07 2007, **Anais...** [s.l: s.n.]

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction**. 1st. ed. [s.l.] : John Wiley & Sons, Inc, 2002. Disponível em: <<http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471492787.html>>

RAMKUMAR, A. et al. Using GOMS and NASA-TLX to Evaluate Human–Computer Interaction Process in Interactive Segmentation. **International Journal of Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 123–134, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10447318.2016.1220729>>

REITMAN OLSON, J.; OLSON, G. M. The Growth of Cognitive Modeling in Human-Computer Interaction Since GOMS. **Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 5, p. 221–265, 1990.

SAD, H. H.; POIRIER, F. Modeling word selection in predictive text entry. In: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE (INCLUDING SUBSERIES LECTURE NOTES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LECTURE NOTES IN BIOINFORMATICS) 2009, **Anais...** [s.l: s.n.]

SCHÄFER, M. **Computational Engineering — Introduction to Numerical Methods**. 1. ed. Darmstadt, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/3-540-30686-2>>

SCHREPP, M. GOMS analysis as a tool to investigate the usability of web units for disabled users. **Universal Access in the Information Society**, [s. l.], 2010.

SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. **Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction**. [s.l: s.n.].

SILVA, M. F. D.; MARTHA, L. F.; MENEZES, I. F. M. De. **Ferramenta Gráfico-Interativa para o Dimensionamento de Pórticos Planos de Concreto Armado Considerando Não Não Linearidade Geométrica**. 2017. PUC-Rio, [s. l.], 2017.

SPALTEHOLZ, L. **KeySurf - A keyboard Web navigation system for persons with disabilities**. 2012. [s. l.], 2012.

THE INTERACTION DESIGN FOUNDATION. **Human-Computer Interaction (HCI)**. 2018. Disponível em: <<https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-computer-interaction>>. Acesso em: 13 set. 2018.

TONN-EICHSTÄDT, H. Measuring website usability for visually impaired people-a modified GOMS analysis. In: PROCEEDINGS OF THE 8TH INTERNATIONAL ACM SIGACCESS CONFERENCE ON COMPUTERS AND ACCESSIBILITY - ASSETS '06 2006, **Anais...** [s.l: s.n.]

TQS INFORMÁTICA LTDA. **TQS**, 2019.

USER EXPERIENCE PROFESSIONALS' ASSOCIATION. **KLM-GOMS**. 2012. Disponível em: <<https://www.usabilitybok.org/klm-goms>>. Acesso em: 9 set. 2018.

WELLS, R. A. **ICES STRUDL - I: Structural design language, the use of ICES STRUDL - I**. [s.l.] : Structures Division and Civil Engineering Systems Laboratory, MIT, 1967.

APÊNDICE A – Levantamento de Softwares para Análise Estrutural por Barras

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
1	RSTAB	Dlubal	x	x	x	3D	Pt-Br	x		Existe versão para estudante/pesquisa sem fins lucrativos	https://www.dlubal.com/pt/educacao/estudantes/software-de-analise-estrutural-gratis-para-estudantes
2	STRAP	SAE		x	x	3D	Pt-Br	x	x	Não foi localizada nenhuma versão para estudante	http://www.sae.eng.br/software/strap/strap_trial.html
3	CADRE Pro	CADRE Analytic	EP	x	x	3D	Eng	x	x	A versão estudante é paga	https://www.cadreanalytic.com/prices.htm
4	2D Frame Analysis	Engissol		x	x	2D	Eng	x		Não consta informação sobre existência de versão para estudantes	http://www.engissol.com/2d-frame-analysis-static-edition.html
5	Ftool	PUC-Rio/Tecgraf/Alis	x			2D	Pt-Br	x		Agora necessita um cadastro no site. Necessita mais informações, pois constava que a nova versão era paga	https://www.alis-sol.com.br/Ftool/
6	AcadFrame	USP	x			2D	Pt-Br	x		No site diz que o lançamento data do final de 2006, porém houve atualização em 2009. Sem referência sobre existência de versão paga	http://www.set.eesc.usp.br/software_depto/acadframe/
7	Mastan2	Projectdesigns.org	x			3D	Eng	x	x	Desenvolvido na Cornell Bucknell Universities. Livre	http://www.mastan2.com/download.html
8	Visual Barras	UPF				2D	Pt-Br			Precisa criar uma conta pra acessar qualquer porcaria	http://www.eTOOLS.upf.br/
9	TRAME	UFSCar	x			2D	Pt-Br	x		Tem até um blog	http://trameestruturas.blogspot.com.br/p/download.html
10	SAP2000	CSI		x	x	3D	Eng	x	x	Não foi encontrada qualquer referência à versão educacional/estudante	https://www.csiamerica.com/support/downloads
11	Adapt-Builder	Adapt		x	x	3D	Eng	x	x	Concreto armado e protendido. Até uma versão trial deve ser requisitada	http://www.adaptsoft.com/software.php
12	TQS	TQS	EL	x	x	3D	Pt-Br	x	x	Concreto armado. Existe versão para estudante limitada por pavimentos. Não foi encontrado nada sobre se essa versão estudante é paga	http://www.tqs.com.br/produtos-e-solucoes/sistemas-em-conjunto/cadtqs-estudante
13	MultCalc	MultCalc	x	x	x	3D	Pt-Br	x	x	As licenças são aceitas apenas a alunos comprovadamente matriculados. Os períodos em que são distribuídas as licenças são restritos (março a dezembro). Aparentemente concreto armado	http://www.multcalc.com.br/educacional.html
14	CypeCad	CYPE	x	x	x	3D	Pt-Br	x	x	Tem uma versão livre que funciona de noite e madrugada de segunda a sexta, mais o dia inteiro de sábado e domingo. Concreto armado	http://versoes.cype.pt/after_hours.htm
15	Framework	Mechanical Programs	x			3D	Eng	x		Acho que é só barras. Livre	http://members.ziggo.nl/wolsink/
16	Tricalc	Arktec		x	x	3D	Pt-Br	x	x	A versão demo é muito limitada	http://www.arktec.com/PT/Demostracion/Download/Trical/TricalDemostracionDescargastP.aspx
17	Robot Structural Analysis / Inventor / Fusion 360	Autodesk	x	x	x	3D	Pt-Br	x	x	Versão livre para estudantes. A mesma coisa dos demais produtos da Autodesk livres para estudantes	https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview
18	Space Gass	Space Gass	EL	x	x	3D	Eng	x		Apresenta uma versão limitada a alguns recursos, porém a melhor parte funciona. A versão estudantil gera arquivos não compatíveis com a versão comercial e vice-versa. Necessita um registro. A licença vale por 1 ano acadêmico, podendo renovar por mais 1 ano caso continue sendo estudante de engenharia	http://www.spacegass.com/student/
19	GBW32	GRAPE Software		x	x	3D	Eng	x		O software roda completo sem registro, mas pedem que seja registro caso pretenda utilizá-lo além de um teste	http://www.grapesoftware.mb.ca/grape5_003.htm
20	LISA	Sonnenhof Holdings	EL	x	x	3D	Eng		x	Tem versão livre limitada	http://www.lisa-fet.com/

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
21	Analysis for Windows	Cuylaerts Engineering	x			3D	Eng			Aparentemente não há versão paga. Também não foi possível ver screenshots	http://www.cuylaerts.net/
22	Traglast	?	x			2D		x		Sem muitas informações importantes. Aparentemente o programa é em alemão	http://traglast.sourceforge.net/#help
23	DS-Frame2D	?	x			2D	Eng			Livre, 2D, baixado através da sourceforge	https://sourceforge.net/projects/dsframe2d/
24	Smart Frame 2D	?		x		2D	Eng	x		Só se sabe que tem versão trial, mas não foi possível nem encontrar um site do autor. O programa exige uma chave de ativação e não se tem informações sequer de como consegui-la	Sem site oficial encontrado. Apenas sites que apresentam um download do software, mas sem remeter ao detentor
25	Visual Analysis	IES		x	x	3D	Eng	x	x	Não tem versão livre ou para estudantes	https://www.iesweb.com/products/visualanalysis/index.htm
26	Frame3DD	Duke University	x			3D	Eng	x		Perfeito. Aberto, sem versão paga, open source...	http://frame3dd.sourceforge.net/
27	Structural Engineering Library	Enercalc	x	x	x	3D	Eng	x	x	Existe versão para estudante, sendo que ela tem um "prazo de validade"	https://enercalc.com/select_help/index.html?license_types.htm
28	CloudCalc	CloudCalc		x	x	3D	Eng	x		Parece ser análise apenas de barras, e não apresenta nenhuma versão para estudantes. Além disso faz análise específica de aço	http://www.cloudcalc.com/
29	STAAD	Bentley	x	x	x	3D	Eng	x	x	Existe um registro que é feito na Bentley, a qual permite a liberação de licenças gratuitas a estudantes	https://www.bentley.com/pt/learn/for-students-and-educators/academic-programs
30	ANSYS	ANSYS	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Versão estudantil é limitada a 100k nós ou elementos	http://www.ansys.com/academic/free-student-products#tab1
31	ABAQUS	Dassault Systemes	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Apresenta simulação de barras. A versão estudante é limitada a 1000 nós	https://academy.3ds.com/en/software/abaqus-student-edition
32	ATENA	Cervenka Consulting		x	x	3D	Eng		x	Apenas MEF, mas é uma ferramenta que parece muito eficiente para concreto armado	http://www.cervenka.cz/products/atena/
33	Beam.2D Pro	EngiLab		x	x	2D	Eng	x		Existe uma versão livre (Lite) mas MUITO limitada. A versão paga até nem é cara, mas é paga mesmo assim, e pode ser usada para qualquer propósito	https://www.engilab.com/products/engilab-beam-2d/editions
34	FIN EC	fine	EP	x	x	3D	Eng	x	x	Existe licença acadêmica e licença para pesquisas. Ambas são pagas. E caras.	https://www.finesoftware.eu/academic-licenses/
35	MasterSeries Structural Analysis	MasterSeries	x	x	x	3D	Eng	x	x	1 ano de licença para estudantes. O acesso parece fácil demais...	http://www.masterseries.com/product-range/students
36	midas Gen	Midas		x	x	3D	Eng	x	x		
37	GSA Analysis	Oasys	EP	x	x	3D	Eng	x	x	Existe uma versão universitária que deve ser paga pela universidade, e assim feito, alunos podem usá-la em seus computadores pessoais. Mais informações no endereço ao lado	http://www.oasys-software.com/company/university_licensing.html
38	Pro_SAP	2SI	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Na verdade não é uma versão para estudante, pois se trata de um período livre durante a noite/madrugada de sábado e domingo para todos (licença e-time). Não tenho certeza se tem barras, mas aparentemente é bem possível!	http://www.2si.it/en/prosap.php
39	AxisVM	AxisVM	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Existe uma versão estudantil limitada. O programa apresenta tanto barras quanto MEF	http://axisvm.eu/axisvm_download_free_students_license.html
40	CivilFEM	CivilFEM	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Versão estudantil gratuita, porém limitada. A limitação até que é relativamente alta	http://www.civilfem.com/products/civilfem/civilfem-student/

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
41	ConSteel e csFrame	ConSteel Solutions	x	x	x	3D	Eng	x	x	Barras, e especializado em aço. Apresenta uma interface com o Tekla Structures. Tem versão educacional. ESTÁ FORA PELOS CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	http://www.consteelsoftware.com/en/download-trial-version
42	A3D Max	CADS		x	x	3D	Eng	x		Existe outros da mesma empresa. Encontrei relação com o SCIA Engineer. Verificar	https://cads.co.uk/portfolio-item/a3d-max-frame-analysis/
43	CompoSIDE/FESpace	CompoSIDE			x	3D	Eng	x	x	MEF e barras. Não consegui muitas informações. Também não encontrei referências sobre material academico ou estudantil, tampouco trial. É um programa que funciona na nuvem. Sua principal característica é apresentar uma série de ferramentas que servem para o gerenciamento de projetos, além das análises estruturais	http://www.composide.com/modules/
44	Statik	cube	EP	x	x	3D	Eng	x		Também tem de MEF, mas apresenta ferramenta exclusiva de barras, que é o que interessa. Existe versão para estudante, mas deve ser paga uma taxa (esta seção da licença educacional é em alemão)	http://www.cubus-software.com/Guests/Studenten/d_main.html
45	Diamonds e 1-2-Build	BuildSoft	x	x	x	2D	Eng	x		A empresa várias ferramentas, algumas inclusive bem parecidas. O Diamond e o 1-2-Build são os que interessam. O primeiro parece ter barras e MEF (3D). O segundo é barras em 2D. Apresentam versões educacionais que podem ser usadas durante um ano letivo (aparentemente apenas pelo "método" gringo	http://www.buildsoft.eu/en/licenses-education
46	Diana	Diana FEA		x	x	3D	Eng		x	Aparentemente apresenta apenas MEF. Não tem nenhuma versão para estudante, apesar de existir versão trial com todas as funcionalidades mediante cadastro	https://dianafea.com/DIANA-Trial-Request
47	EdiLus	ACCA Software	x	x	x	3D	Eng	x	x	Tem site em português, mas o software, aparentemente, não apresenta versão em português	http://www.accasoftware.com/ptb/educacional/
48	ELS Modeler e AEM Solver	ASI	EP	x	x	3D	Eng		x	Combinação de ferramentas de MEF para análise estrutural (modelador + análise)	https://www.extremeloading.com/software-modules/aem-solver/
49	FEM-Design e WIN-Statik	StruSoft	x	x	x	3D	Eng	x	x	Apresenta duas ferramentas, uma de MEF, outra de barras. A de barras é 2D. O de MEF tem versão educacional, enquanto sobre o de barras não há informações de uma versão educacional	http://www.strusoft.com/products/win-statik
50	Frilo e SCIA Engineer	Nemetschek	x	x	x	3D	Eng	x	x	Frilo: MEF, mas trata-se apenas de ferramentas para usos em pelas específicas. Apresenta versão para estudante, sendo necessário inclusive enviar documentação que comprove o uso estudantil. Além disso, a versão para estudante pode ser usada por apenas 12 meses. Tem aplicativo específico de barras, diferente do de MEF. SCIA Engineer: MEF e possivelmente barras. Apresenta licença gratuita para estudantes mediante inscrição e autorização. Também apresenta estudos que utilizaram o software em teses e etc	http://www.frilo.eu/en/sales/students.html

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
51	Larsa 4D Structure	Larsa	x	x	x	3D	Eng	x	x	MEF. Existe versão livre para estudante mediante cadastro	https://www.larsa4d.com/trial/?type=academic
52	LUSAS Civil & Structural	LUSAS	EP	x	x	3D	Eng	x	x	MEF e barras. Apresenta versão acadêmica, mas aparentemente paga. Versão estudante existe, mas limitado e dependente da aquisição da versão acadêmica	http://www.lusas.com/academic/index.html
53	MatrixFrame	Matrix	x	x	x	3D	Eng			Pórticos 3D limitados por nós em uma versão estudantil. Existe também uma versão acadêmica que não está claro se é gratuita - aparentemente sim. Neste último caso, é liberada uma licença específica para uso	https://www.matrix-software.com/uk/education/student/index.html
54	Structural Analysis and Design	PROKON		x	x	3D	Eng			MEF e pórticos. Apresenta versão trial	https://www.prokon.com/downloads/prokon-setup
55	RISA-3D	Nemetschek		x	x	3D	Eng			MEF. Versão demo a pedido	https://risa.com/forms/demo_request.html
56	S-FRAME Structural Analysis and Design	S-Frame		x	x	3D	Eng			Barras com placas e cascas. Sem informações sobre licença estudantil ou derivados. Até para aquisição normal é necessário entrar em contato	https://s-frame.com/index_files/ContactUs.htm
57	GSE Structural Analysis	SAFI	EPL		x	3D	Eng			MEF e possivelmente barras. Apresenta uma licença limitada a períodos do ano com preço especial aos estudantes, sendo sujeito a análise	http://www.safi.com/?page_id=439
58	Structural 3D	SkyCiv	EL e EP	x	x	3D	Eng			Apresenta MEF e Barras. Existe também ferramentas para pórticos, porém ABSURDAMENTE limitadas. A versão para estudante é mais barata, mas paga-se uma mensalidade. Tudo baseado na nuvem	https://skyciv.com/free-frame-calculator/
59	Building Design	SOFISTiK	x	x	x	3D	Eng			MEF e, aparentemente, também apresenta barras. Apresenta uma versão gratuita para estudantes	https://www.sofistik.com/downloads/educational-version/
60	Tekla Structural Designer	Tekla	x	x	x	3D	Eng			MEF e Barras. É possível conseguir uma licença gratuita para estudante. Não encontrei informações sobre possíveis limitações	https://campus.tekla.com/
61	SuperSuite	Graitec		x	x	3D	Eng			CAD, análise e design. Se desmembra em várias subferramentas. Pago com versão demo	https://uk.graitec.com/supersuite/superstress/
62	FEMtools	DDS	EP	x	x	3D	Eng			Apresenta MEF e Barras. Existe versão acadêmica paga com desconto, além de versão de demonstração	https://www.femtools.com/products/licensing.htm
63	iStructural	Daystar		x	x	3D	Eng			Não dá pra saber se é de Pórticos. Apresenta versão demo, sendo toda sua funcionalidade na Nuvem. Diz ser a única com um corpo de engenheiros de usabilidade	https://www.istructural.com/login
64	FrameCE	FrameCE Software Solutions	x	x	x	3D	Eng			Pórticos 3D. Apresenta versão livre, porém não fala das limitações	http://www.framece.com/downloads.html
65	LIRA-SAPR	LiraLand	x	x	x	3D	Eng			MEF, mas também pórticos. Apresenta versão antiga free (2013)	https://www.liraland.com/files/
66	VersaFrame	Digital Canal		x	x	3D	Eng			Pórticos 3D. É pago, porém existe possibilidade de download de versão trial que deve ser pedido mediante e-mail	https://digitalcanalstructural.com/download-evaluation/
67	TRIMAS Frame	RIBTEC	x	x	x	3D	Eng			Pórticos 3D. É pago, mas em um pdf consta que existe versão para estudante, a qual deve ser pedida mediante e-mail.	https://www.rib-software.com/en/main/rib-solutions/structural-engineering/structural-engineering-fem/3d-fem-system-for-framed-structures.html
68	WinFRAM	ENCAD Systems		x	x	3D	Eng			Pórticos 3D. Programa não livre, e apresenta uma versão trial de 30 dias	http://www.encad.ie/indexNC.html

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
69	FRAME2Dexpress	RUNET	EP	x	x	2D	Eng			Pórticos em 2D. Apresenta uma versão Lite livre para estudantes que diz não apresentar um Wizard e perfis metálicos pré-configurados	http://www.runet-software.com/FRAME2Dexpress.htm
70	STRAD	4M		x	x	3D	Eng			Pórticos em 3 dimensões. Também apresentam ferramenta que utilizam MEF. Apesar de dizer que é trial, essa ferramenta específica sequer foi encontrada nos downloads	http://www.4msa.com/stradENG.html
71	ThreeDFrame	Ralf Martin Hansen	x	x	x	3D	Eng			Apresenta uma versão 2D também, sendo que a 2D é livre e a 3D é livre pra professores	http://www.ralfmartinhansen.de/twdframe/threed/intro.htm
72	spAcademic	Structure1oPoint	EP	x	x	3D	Eng			Existe versão acadêmica, cuja solicitação é feita através de e-mail. Apresenta versões 2D e 3D. Não informa se são pagas, mesmo as versões acadêmicas	https://www.structurepoint.org/university.asp
73	Adina Solids & Structures	Adina	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Tipo um ABAQUS ou ANSYS. Apresenta versão acadêmica, onde pode ser distribuída uma versão para estudantes limitado a 900 nós	http://www.adina.com/adina-structures.shtml
74	HyperWorks	Altair	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Parece ser um programa na mesma linha de ABAQUS e ANSYS. A versão educacional é limitada. Provavelmente tem função de barras também	https://altairuniversity.com/hyperworks-2017-student-edition-limitations/
75	Eberick	AltoQI		x	x	3D	Eng	x	x	Sem versão educacional. Programa pra concreto armado	http://web.altoqi.com.br/downloads
76	AutoFEM	AutoFEM Software		x	x	3D	Eng		x	Sem referências sobre existência de barras, mas é trivial que tenha. Não tem versão educacional, mas tem versão Lite Limitada	http://autofem.com/en/autofem-downloads/autofem-lite.html
77	CVSpro ToolBOX	CadVantage				3D	Eng			site não entra	site não entra
78	CAEplex	CAEplex	EL	x	x	3D	Eng		x	Sem referências sobre existência de barras, mas é trivial que tenha. Existe uma versão limitada gratuita. É na nuvem	https://www.caeplex.com/pricing.php
79	Structural Mechanics Module	Comsol		x	x	3D	Eng	x	x	Módulos complementares que o deixam muito completo. Sem versão para estudantes	https://br.comsol.com/structural-mechanics-module
80	Conself FEA	Conself			x	3D	Eng		x	Não encontrei sequer indícios de existir versão trial	https://conself.com/blog/category/fea/
81	Elmer	CSC	x			3D	Eng		x	É livre e com código fonte disponível. A instalação é complicada, FEA bem completo aparentemente. Não aprofundo pois estará fora dos parâmetros para ir à próxima etapa de filtragem	https://www.csc.fi/web/elmer/sources-and-compilation
82	Deal.II	dealii.org	x			3D	Eng	x	x	Parece ser apenas livre. A instalação não parece simples. Não aprofundo pois estará fora dos parâmetros para ir à próxima etapa de filtragem	https://github.com/dealii/dealii
83	LinPro	Enes Siljak	x			2D	Eng	x		Parece ser apenas livre	http://siljak.ba/toysforchildren.html#download
84	FEniCS	Fenics Project	x			3D	Eng		x	Programa tipo Elmer e Deal.II	https://fenicsproject.org/download/
85	FreeFEM++	FreeFEM	x			3D	Eng		x	Programa tipo Elmer e Deal.II	http://www.freefem.org/ff++/download.php
86	GetFEM++	GetFEM	x			3D	Eng		x	Programa tipo Elmer e Deal.II	http://getfem.org/download.html
87	AStrutTie	HanGILT				3D	Eng			site não conectando	site não conectando
88	GT Strudl	Hexagon		x	x	3D	Eng	x	x	Usado para estruturas de aço, madeira, concreto, etc	https://hexagonppm.com/products/analysis-product-family/gt-strudl
89	RCB	Inducta			x	3D	Eng	x	x	Nem mesmo referência de uma versão demo ou trial foi encontrada	https://www.inducta.com.au/Pricing.html
90	VisualFEA	Intuition Software				3D	Eng			não se encontra nenhuma informação sobre download de qualquer tipo. Sequer da pra saber se é pago, gratuito e etc	

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
91	Mecway FEA	Mecway	EL	x	x	3D	Eng	x	x	Versão gratuita é limitada. Sem versão estudante	http://mecway.com/download/
92	MSC Nastran	MSC Software	EL	x	x	3D	Eng		x	Existe versão estudantil limitada a projetos de pequenas escalas	http://www.mssoftware.com/page/students
93	NISA/Civil	NISA			x	3D	Eng	x	x	Estruturas de aço e concreto. Necessita login pra ter mais informações sobre disponibilidade	https://www.nisasoftware.com/nisa-civil-download
94	OOFEM	OOFEM.org	x			3D	Eng		x	Open source	https://github.com/Micket/oofem
95	QuickField	QuickField	EL	x	x	3D	Eng		x	Limitado por nós, mas com todas as funcionalidade do programa	https://quickfield.com/free_soft.htm
96	Simscale	Simscale	x	x	x	3D	Eng	x	x	É baseado na web. Uso academico necessita inscrição	https://www.simscale.com/academic-program/
97	Strand7	Strand7	EP	x	x	3D	Eng	x	x	A versão estudantil é paga via mensalidade	http://www.strand7.com/student/
98	CAEFEM	CAC Concurrent		x	x	3D	Eng	x	x	Fala em custar um preço irrisório frente os concorrentes. Necessário contato com eles pra saber de preços e download de versão trial. No site aparece um download que é livre, mas não se encontra referência de ser livre comercialmente ou não	http://www.caefem.com/Downloads.htm
99	Cast3M	Université de Montpellier	x		x	3D	Eng		x	Para usar livre em caso academico/pesquisa, deve-se referir e citar o Cast3M e o site deles. Nestas condições, é livre. É necessário, porém, fazer um registro no site	http://www-cast3m.cea.fr/index.php?xml=download1
100	Code_Aster	EDF	x			3D	Eng		x	É um open_sorce que necessita Python pra rodar	https://www.code-aster.org/spip.php?rubrique21
101	Creo Elements / Direct FEA	PTC	x	x	x	3D	Eng		x	Tem versão para estudante, e não encontrei referências de limitações	https://www.ptc.com/en/academic-program/products/free-software
102	ED-Elas2D	FemScope		x	x	2D	Eng		x	Existe versão em inglês do programa, porém o site do programa é todo em alemão e não foi encontrada versão em inglês. Não foi encontrada versão livre, apenas demo (ressaltando que não encontrei site em inglês). Informações basicamente de outros sites	http://www.femscope.de/10.0.html
103	FEAP	University of California	EP		x	3D	Eng		x	A versão estudantil é paga	http://projects.ce.berkeley.edu/feap/
104	FEBIO	University of Utah e University of Columbia	x		x	3D	Eng		x	É um programa desenvolvido especialmente para aplicações a problemas de biomecânica. Livre para uso não comercial. Fornecido com código fonte	https://febio.org/about/licensing/
105	FEDEM Mechanical	FEDEM								Site não abre nada. Não foi possível pegar muitas informações	http://www.fedem.com/software/fedem-mechanical/
106	FELIPE	Bath University	x			2D	Eng	x	x	Tem um programa específico de barras em 2D. Duvidas se funciona no W10	http://www.maths.bath.ac.uk/~mbr20/felipe/download.htm
107	FEMdesigner	FEMdesigner			x	3D	Eng		x	Não foram encontradas nem mesmo versões trial ou demo	http://www.femdesigner.com/
108	FesaWin	ORCA Offshore	EP		x	3D	Eng	x	x	A versão educacional é paga	http://www.fesawin.com/index.htm?p=purchase
109	FlexPDE	PDE Solutions	EL	x	x	3D	Eng	x	x	A versão estudantil, na verdade, é foi substituída por uma versão Lite limitada	http://www.pdesolutions.com/license.html
110	Impact	Impact	x			3D	Eng	x	x	Problemas de dinâmica de corpos incompressíveis	http://www.impact-fem.org/dev_source_en
111	KeyCreator Analysis	Kubotek	x	x	x	3D	Eng		x	A ferramenta de análise não foi encontrada para mais informações, mas encontra-se referências dela. Existe versão livre para estudante	http://kubotek3d.com/
112	LapFEA	LapCAD			x	3D	Eng		x	Sem maiores informações. Sem citações sobre versão trial, tampouco livre	http://lapcad.com/wordpress/

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Ord.	Nome	Empresa/Instituição	Versões de distribuição			Dimensões ***	Lingua	Modelo		Observações	Site
			Gratuito / Livre / Estudante*	Demo / Trial / Limitado**	Pago			Barras	MEF		
113	LS-DYNA	LSTC	EP	x	x	3D	Eng	x	x	Aparentemente a versão educacional é paga e ilimitada	http://www.lstc.com/sales
114	PAFEC EC	PACSYS							x	Nada de informações sobre download e licenças foram encontradas	
115	PERMAS	INTES Stuttgart					Eng		x	Já foi usado ou é usado pela Porsche. Nada sobre downloads, versões livres, limitadas, estudantis...	https://www.intes.de/kategorie_permas/einfuehrung
116	PZFlex	PZFlex		x	x	3D	Eng		x	Sem versão estudantil ou educacional, apenas demo	https://pzflex.com/software/features_specs/
117	SoftEd	Compass	x	x	x	3D	Eng		x	As versões são todas demo, e a ativação é feita ao entrar no programa. Uma versão estudantil existe, e na verdade é uma integração de 2 softwares: um que faz tarefas, e outro que de fato é o software. Não encontrei referência sólida sobre limitações nesse caso estudantil. Na verdade parece ser livre (RamSeries é o "main program")	http://www.compassis.com/compass/en/Productos/Otros+productos/SoftEd
118	Roshaz	?		x	x	3D	Eng		x	O site que seria o oficial segundo a Wiki não existe mais. Última atualização de acordo com o print screen do site ao lado indica que a última versão é de 2011, bem como não existir versão livre ou para estudantes	https://www.cesdb.com/roshaz.html
119	SC03 STEP CADverter	Theorem Solutions							x	O sistema foi desenvolvido para a Rolls-Royce. Não se consegue nenhuma grande informação sobre licença e distribuição, sendo necessário um cadastro apenas para este propósito.	http://www.theorem.com/STEP/SC03_STEP.htm
120	Sesam GenIE	DNV-GL	x	x	x	3D	Eng	x	x	Consta que existe uma oferta especial para instituições de ensino, mas sem informações mais específicas sobre possíveis valores ou limitações. Necessita um cadastro	https://www.dnvgl.com/software/contact/Sesam-GenIE-lite-free-trial-receipt.html
121	SfePy	University of West Bohemia	x			3D	Eng	x	x	Necessário plataforma Python para rodar. Aparentemente é livre e open source	http://sfepy.org/doc-devel/downloads.html
122	SimForDesign	Fidesys		x	x	3D	Eng		x	A versão gratuita é limitada. Por este motivo foi preenchido como uma "trial"	https://www.sim4design.com/en/pricing
123	SimWise 4D	Design Simulations Technologies	EP	x	x	3D	Eng		x	Fala em "pricing" pra licença educacional, além de precisar ser uma instituição cadastrada	https://www.design-simulation.com/simwise4d/purchase.php
124	SLFFEA	University of California - San Diego	x			3D	Eng	x	x	Open source. Última atualização de download em 2008	http://slffea.sourceforge.net/download.html
125	SolidWorks	Dassault Systemes	x	x	x	3D	Eng		x	Na loja diz que possivelmente há um versão livre para estudantes de determinadas instituições de ensino	https://storefront.dsgraphics.com/studentstore/default.php
126	SOLVIA Finite Element System	SOLVIA Engineering				3D	Eng	x	x	Sem informação encontradas sobre download e licenças	http://www.solvias.com/doc.html
127	Welsim	WelSimulation				3D	Eng		x	Informações sobre preço e licenças apenas mediante criação de login no site	http://welsim.com/buyWelsim
128	Zébulon	Paristech & Onera		x	x	3D	Eng	x	x	Aparentemente as versões para download são demo/trial. Para conseguir licença, é necessário entrar em contato, sendo que não foram encontradas referências de versões estudantis ou educacionais	http://www.zset-software.com/downloads/versions/
129	Real3D	Computations & Graphics			x	3D	Eng	x		Única referência direta de que existe versão educacional e demo é em pdf que contem os termos de licença na concessão de uma licença. O download disponível não informa se a versão é demo	https://www.cg-inc.com/Order/Order
130	Aurora	Z88	x			3D	Eng	x	x	Tem versão comercial gratuita. Há ainda um add-on para GPU, porém eles avisam que em pequenos casos ele pode gerar resultados errado. Ainda apresenta outras restrições...	https://en.z88.de/download-z88aurora/

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Legendas

- * Quando houver versão de estudante limitada, será preenchido EL. Quando houver versão estudantil paga, será preenchido EP. EPL significa que é paga e limitada
- ** Quando houver versão de estudante livre, subentende-se que há versão demo/trial
- *** Subentende-se que quando houver 3D, obrigatoriamente existe função 2D

Ler observações

Faltam informações

Crítérios de Exclusão

Softwares cuja empresa apresente outros com MEF não foram incluídos por questões de repetição
Softwares exclusivos ou de aplicação à um sistema estrutural específico não foram incluídos (apenas vigas ou terças ou treliças)
Programas que utilizem outros para pré/pós processamento também não estão incluídos
Programas em outras línguas que não Pt ou Eng, não foram considerados
Programas em Excel estão fora
Excluídos softwares antigos que não foram apresentados como funcionais em versões recentes do Windows
Programas exclusivos para plataforma celular também estão fora
Específico de algum tipo de análise, como por exemplo apenas Fluidos

APÊNDICE B – Levantamento e Descrição dos Passos de Modelagem

Software: **Ftool**

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)				
#	Descrição		Codificação	
1	Alcançar botão "Parâmetros de Materiais"	M	P	[botão]
2	Clicar no botão "Parâmetros de Materiais"		K	[click]
3	Alcançar botão "Criar novos parâmetros de materiais"		P	[botão]
4	Clicar no botão "Criar novos parâmetros de materiais"		K	[click]
5	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
6	Digitar nome para novo material (Aço CA50)		5	K [ço 50]
7	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Aço CA50)		3	K _s [ACA]
8	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
9	Alcançar botão "Tipo de material"	M	P	[botão]
10	Abrir a lista "Tipo de material" no ComboBox		K	[botão]
11	Alcançar tipo de material (Aço)		P	[opção]
12	Clicar na opção (Aço)		K	[material]
13	Alcançar botão "Done"		P	[botão]
14	Clicar no botão "Done"		K	[click]
15	Alcançar campo para edição do módulo de elasticidade	M	P	[campo]
16	Pressionamento do botão do mouse para seleção do valor a ser alterado		0,5	K [click]
17	Percorrer o trecho a ser alterado (5)		P	[valor]
18	Soltar botão do mouse		0,5	K [click]
19	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
20	Digitar novo valor (0)		K	[0]
21	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
Fim da Atividade 1.1				

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)				
#	Descrição		Codificação	
1	Alcançar botão "Parâmetros de Materiais"	M	P	[botão]
2	Clicar no botão "Parâmetros de Materiais"		K	[click]
3	Alcançar botão "Criar novos parâmetros de materiais"		P	[botão]
4	Clicar no botão "Criar novos parâmetros de materiais"		K	[click]
5	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
6	Digitar nome para novo material (C25)		2	K [25]
7	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C25)		K _s	[C]
8	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
9	Alcançar botão "Tipo de material"	M	P	[botão]
10	Abrir a lista "Tipo de material" no ComboBox		K	[botão]
11	Alcançar tipo de material (Concreto)		P	[opção]
12	Clicar na opção (Concreto)		K	[material]
13	Alcançar botão "Done"		P	[botão]
14	Clicar no botão "Done"		K	[click]
15	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
Fim da Atividade 1.2				

Atividade 2.1: Definição da 1ª seção (W200x22,5)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Propriedades de Seções"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Propriedades de Seções"		K [click]
3	Alcançar botão "Criar novas propriedades de seção"		P [botão]
4	Clicar no botão "Criar novas propriedades de seção"		K [click]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Digitar nome para novo material (W200x22,5)	8	K [200x22,5]
7	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - W200x22,5)		K _s [W]
8	Alcançar a caixa "Gerdau-AcoMinas Perfis I"	M	P [caixa]
9	Clicar na caixa "Gerdau-AcoMinas Perfis I"		K [click]
10	Alcançar botão "Done"		P [botão]
11	Clicar no botão "Done"		K [click]
12	Alcançar a lista de bitolas		P [botão]
13	Clicar na lista		K [click]
Atividade 2.1 - Continua na próxima página			

Atividade 2.1: Definição da 1ª seção (W200x22,5) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
14	Apontar para a bitola 200		P [botão]
15	Clicar na bitola 200		K [click]
16	Apontar na seta para pular para a próxima seção		P [botão]
17	Clicar até localizar a seção W200x22,5 (2x)	2	K [click]
Fim da Atividade 2.1			

Atividade 2.2: Definição da 2ª seção (20x25)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Criar novas propriedades de seção"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Criar novas propriedades de seção"		K [click]
3	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
4	Digitar nome para novo material (R20x25)	5	K [20x25]
5	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - R20x25)		K _s [R]
6	Alcançar a caixa "Parameterized > Rectangle"		P [caixa]
7	Clicar na caixa "Parameterized > Rectangle"		K [click]
8	Alcançar botão "Done"		P [botão]
9	Clicar no botão "Done"		K [click]
10	Alcançar campo para edição da altura da seção	M	P [campo]
11	Pressionamento do botão do mouse para seleção do valor a ser alterado	0,5	K [click]
12	Percorrer o trecho a ser alterado (0)		P [valor]
13	Soltar botão do mouse	0,5	K [click]
14	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
15	Digitar novo valor (25)	2	K [25]
16	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
17	Pressionar tecla DEL para apagar o valor 0 do campo		K [DEL]
18	Digitar novo valor (20)	2	K [20]
19	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
Fim da Atividade 2.2			

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 2D com 5 barras)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar caixa "Grid"	M	P [caixa]
2	Clicar na caixa "Grid" para ativá-la		K [click]
3	Alcançar caixa "Snap"		P [caixa]
4	Clicar na caixa "Snap" para ativá-la		K [click]
5	Alcançar campo para configuração da distância do Grid e Snap no eixo X		P [campo]
6	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente		K _s [dmc]
7	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
8	Digitar o valor 0.5	3	K [0.5]
9	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
10	Alcançar campo para configuração da distância do Grid e Snap no eixo Y		P [campo]
11	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente		K _s [dmc]
12	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
13	Digitar o valor 0.1	3	K [0.1]
14	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
15	Alcançar campo para configurar tamanho da tela de visualização	M	P [campo]
16	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente (análogo ao zoom)		K _s [dmc]
17	Digitar o valor 8		K [8]
18	Pressionar tecla ENTER para mudar para o próximo campo		K [ENTER]
19	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
20	PAN para aparecer o centro de coordenadas da área de desenho	M	PAN [ajuste]
21	Alcançar botão "Inserir membro"		P [botão]
22	Clicar no botão "Inserir membro"		K [click]
23	Criar 5 linhas totalizando 13,65 metros + 1 operador mental por linha (5M)	M	D (5;58,93)
24	Clicks para desenhar as linhas (1 para cada vértice de cada linha)	10	K [click]
25	Pressionar tecla ESC para sair da função de adicionar linhas		K [ESC]
26	Alcançar botão "Aplicar Propriedades da Seção para todos os membros"		P [botão]
27	Clicar no botão "Aplicar Propriedades da Seção para todos os membros"		K [click]

Atividade 3.1 - Continua na próxima página

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 2D com 5 barras) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
28	Alcançar campo com a lista de seções		P [botão]
29	Clicar para abrir a lista		K [click]
30	Alcançar seção W200x22,5		P [botão]
31	Clicar na seção W200x22,5		K [click]
32	Posicionar mãos no teclado e mouse ao mesmo tempo		H [teclado]
33	Apontar o mouse para as duas barras que precisam ser editadas	2	P [barras]
34	2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - R20x25) - Shift+Click	2	K _s [seleção]
35	Alcançar botão "Aplicar Propriedades da Seção para os membros selecionados"		P [botão]
36	Clicar no botão "Aplicar Propriedades da Seção para os membros selecionados"		K [click]
37	Alcançar botão "Parâmetros de Materiais"	M	P [botão]
38	Clicar no botão "Parâmetros de Materiais"		K [click]
39	Alcançar botão "Aplicar Parâmetros do Material para todos os membros"		P [botão]
40	Clicar no botão "Aplicar Parâmetros do Material para todos os membros"		K [click]
41	Alcançar campo com a lista de materiais		P [botão]
42	Clicar para abrir a lista		K [click]
43	Alcançar material Aço CA50		P [botão]
44	Clicar no Material Aço CA50		K [click]
45	Posicionar mãos no teclado e mouse ao mesmo tempo		H [teclado]
46	Apontar o mouse para as três barras que precisam ser editadas	3	P [barras]
47	3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - R20x25) - Shift+Click	3	K _s [seleção]
48	Clicar no botão "Aplicar Parâmetros do Material para os membros selecionados"		K [click]

Fim da Atividade 3.1

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Condições de Suporte"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Condições de Suporte"		K [click]
3	Alcançar caixa "Fix" na opção para deslocamentos em x		P [caixa]
4	Clicar na caixa "Fix" para ativá-la na opção para deslocamentos em x		K [click]
5	Alcançar nó para aplicação da restrição		P [botão]
6	Clicar no nó para aplicação da restrição		K [click]
7	Alcançar botão "Aplicar Condições de Suporte para os membros selecionados"		P [botão]
8	Clicar no botão "Aplicar Condições de Suporte para os membros selecionados"		K [click]
9	Alcançar caixa "Fix" na opção para deslocamentos em y	M	P [caixa]
10	Clicar na caixa "Fix" para ativá-la na opção para deslocamentos em y		K [click]
11	Alcançar nó para aplicação da restrição		P [botão]
12	Clicar no nó para aplicação da restrição		K [click]
13	Alcançar botão "Aplicar Condições de Suporte para os membros selecionados"		P [botão]
14	Clicar no botão "Aplicar Condições de Suporte para os membros selecionados"		K [click]
15	Alcançar caixa "Fix" na opção para rotação em z	M	P [caixa]
16	Clicar na caixa "Fix" para ativá-la na opção para rotação em z		K [click]
17	Alcançar nó para aplicação da restrição		P [botão]
18	Clicar no nó para aplicação da restrição		K [click]
19	Alcançar botão "Aplicar Condições de Suporte para os membros selecionados"		P [botão]
20	Clicar no botão "Aplicar Condições de Suporte para os membros selecionados"		K [click]
Fim da Atividade 4			

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas.			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Inserir Nó"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Inserir Nó"		K [click]
3	Alcançar local para criação do nó (1x)		P [botão]
4	Clicar no local para efetuar a criação do nó		K [click]
5	Alcançar local para criação do nó (2x)	2	P [botão]
6	Clicar no local para efetuar a criação do nó	2	K [click]
7	Alcançar local para criação do nó (2x)	2	P [botão]
8	Clicar no local para efetuar a criação do nó	2	K [click]
9	Alcançar botão "Forças Nodais"	M	P [botão]
10	Clicar no botão "Forças Nodais"		K [click]
Atividade 5 - Continua na próxima página			

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
11	Alcançar botão "Criar nova Força Nodal"	P [botão]
12	Clicar no botão "Criar nova Força Nodal"	K [click]
13	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
14	Digitar nome para nova força (FN8)	1 K [8]
15	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - FN8)	2 K _s [FN]
16	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
17	Alcançar botão "Done"	P [botão]
18	Clicar no botão "Done"	K [click]
19	Alcançar campo para preencher o valor da força em Fx	M P [caixa]
20	Duplo clique no campo para preencher o valor da força em Fx	K _s [dmc]
21	Digitar valor 8 para a força	1 K [8]
22	Alcançar nó para aplicação da força	P [botão]
23	Clicar no nó para aplicação da força	K [click]
24	Alcançar botão "Aplicar força nodal para os nós selecionados"	P [botão]
25	Clicar no botão "Aplicar força nodal para os nós selecionados"	K [click]
26	Alcançar botão "Criar nova Força Nodal"	M P [botão]
27	Clicar no botão "Criar nova Força Nodal"	K [click]
28	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
29	Digitar nome para nova força (FN-8)	2 K [-8]
30	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - FN-8)	2 K _s [FN]
31	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
32	Alcançar botão "Done"	P [botão]
33	Clicar no botão "Done"	K [click]
34	Alcançar campo para preencher o valor da força em Fx	M P [caixa]
35	Duplo clique no campo para preencher o valor da força em Fx	K _s [dmc]
36	Digitar valor -8 para a força	2 K [-8]
37	Alcançar nó para aplicação da força	P [botão]
38	Clicar no nó para aplicação da força	K [click]
39	Alcançar botão "Aplicar força nodal para os nós selecionados"	P [botão]
40	Clicar no botão "Aplicar força nodal para os nós selecionados"	K [click]
41	Alcançar botão "Forças Uniformes"	M P [botão]
42	Clicar no botão "Forças Uniformes"	K [click]
43	Alcançar botão "Criar nova Força Uniforme"	P [botão]
44	Clicar no botão "Criar nova Força Uniforme"	K [click]
45	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
46	Digitar nome para nova força (FU2.0)	3 K [2.0]
47	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - FU2.0)	2 K _s [FU]
48	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
49	Alcançar botão "Done"	P [botão]
50	Clicar no botão "Done"	K [click]
51	Alcançar campo para preencher o valor da força Qy	M P [caixa]
52	Duplo clique no campo para preencher o valor da força em Qy	K _s [dmc]
53	Digitar valor -2 para a força	2 K [-2]
54	Alcançar barras (2x) para aplicação da força	2 P [botão]
55	Clicar nas duas barras - considerando apertar shift para selecionar duas ao mesmo tempo	2 K _s [click]
56	Alcançar botão "Aplicar força uniforme nas barras selecionadas"	P [botão]
57	Clicar no botão "Aplicar força uniforme nas barras selecionadas"	K [click]
58	Alcançar botão "Forças Lineares"	M P [botão]
59	Clicar no botão "Forças Lineares"	K [click]
60	Alcançar botão "Criar nova Força Linear"	P [botão]
61	Clicar no botão "Criar nova Força Linear"	K [click]
62	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
63	Digitar nome para nova força (FL2.0;1.2)	7 K [2.0;1.2]
64	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - FL2.0;1.2)	2 K _s [FL]
65	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
66	Alcançar botão "Done"	P [botão]
67	Clicar no botão "Done"	K [click]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
68	Alcançar campo para preencher o valor da força Pxi	M	P [caixa]
69	Duplo clique no campo para preencher o valor da força Pxi		K _s [dmc]
70	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
71	Digitar valor 2 para a força	1	K [2]
72	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
73	Alcançar campo para preencher o valor da força Pxj		P [caixa]
74	Duplo clique no campo para preencher o valor da força Pxj		K _s [dmc]
75	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
76	Digitar valor 1.2 para a força	3	K [1.2]
77	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
78	Alcançar barras (2x) para aplicação da força	2	P [botão]
79	Clicar nas duas barras - considerando apertar shift para selecionar duas ao mesmo tempo	2	K _s [click]
80	Alcançar botão "Aplicar força linear nas barras selecionadas"		P [botão]
81	Clicar no botão "Aplicar força linear nas barras selecionadas"		K [click]
Fim da Atividade 5			

Software: **TRAME**

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Perfis e Materiais"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Perfis e Materiais"		K [click]
3	Alcançar botão "Definir Aço"		P [botão]
4	Clicar no botão "Definir Aço"		K [click]
5	Alcançar a caixa "Configurar propriedades do aço"	M	P [caixa]
6	Clicar na caixa "Configurar propriedades do aço"		K [click]
7	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
8	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
9	Digitar nome para novo material (Aço CA50)	8	K [AÇO CA50]
10	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
11	Digitar valor da tensão de escoamento (50)	2	K [50]
12	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
13	Digitar valor da tensão de ruptura (55)	2	K [55]
14	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
15	Digitar valor do módulo de elasticidade (21000)	5	K [21000]
16	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
17	Digitar valor do peso específico (78,5)	4	K [78.5]
18	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
19	Pressionar tecla ENTER para fechar janela		K [ENTER]
20	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
Fim da Atividade 1.1			

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)			
#	Descrição	Codificação	
Não apresenta possibilidade de se criar Concreto			
Fim da Atividade 1.2			

Atividade 2.1: Definição da 1a seção (W200x22,5)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "W200"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "W200" para selecionar a bitola desejada		K [click]
3	Alcançar, na lista de perfis, a opção 3 (W200x22,5)		P [botão]
4	Clicar, na lista de perfis, a opção 3 (W200x22,5)		K [click]
5	Alcançar botão "Atribuir Perfil e Aço ao Grupo Selecionado"		P [botão]
6	Clicar no botão "Atribuir Perfil e Aço ao Grupo Selecionado"		K [click]
7	Alcançar botão "Fechar"		P [botão]
8	Clicar no botão "Fechar"		K [click]
Fim da Atividade 2.1			

Atividade 2.2: Definição da 2a seção (20x25)			
#	Descrição	Codificação	
Não desenvolvida pois não apresenta configuração de concreto. Considera-se desnecessário a criação de seção retangular.			
Fim da Atividade 2.2			

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 2D com 5 barras) através do mouse			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar o botão "Múltiplas Barras"	M	P [botão]
2	Clicar na caixa "Múltiplas Barras" para ativá-la		K [click]
3	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
4	Digitar coordenada do primeiro ponto (0,0)	3	K [0,0]
5	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
6	Digitar coordenada do segundo ponto (@0,80)	M	4 K [0,80]
7	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
8	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
9	Digitar coordenada do terceiro ponto (@0,140)	M	5 K [0,140]
10	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
Atividade 3.1 - Continua na próxima página			

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 2D com 5 barras) através do mouse - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
11	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
12	Digitar coordenada do quarto ponto (@50,10)	M 5	K [50,10]
13	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
14	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
15	Digitar coordenada do quinto ponto (@150,30)	M 6	K [150,30]
16	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
17	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
18	Digitar coordenada do sexto ponto (@50,10)	M 5	K [50,10]
19	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
20	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
21	Digitar coordenada do sétimo ponto (@350,0)	M 5	K [350,0]
22	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
23	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
24	Digitar coordenada do oitavo ponto (@0,-50)	M 5	K [0,-50]
25	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
26	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
27	Digitar coordenada do nono ponto (@0,-170)	M 6	K [0,-170]
28	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
29	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
30	Digitar coordenada do décimo ponto (@0,-50)	M 5	K [0,-50]
31	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
32	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
33	Pressionar tecla ESC para sair do "Múltiplas Barras"		K [ESC]
34	Pressionar tecla F6 para Ajustar Visualização	M	K [F6]
35	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
36	Alcançar o botão "Barra"	M	P [botão]
37	Clicar na caixa "Barra" para ativá-la		K [click]
38	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
39	Digitar coordenada do primeiro ponto (250,270)	7	K [250,270]
40	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
41	Digitar coordenada do segundo ponto (@0,-270)	M 6	K [0,-270]
42	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - @)		K _s [@]
43	Pressionar tecla ENTER para confirmar		K [ENTER]
44	Posicionar mão no mouse		H [mouse]

Fim da Atividade 3.1

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar a aba "Esquema Estático"	M	P [botão]
2	Clicar na aba "Esquema Estático"		K [click]
3	Pressionar tecla F4 para ativar a função de selecionar nós		K [F4]
4	Alcançar nó para aplicação da restrição		P [botão]
5	Clicar no nó para aplicação da restrição		K [click]
6	Alcançar botão "Apoio Rest. X -90"		P [botão]
7	Clicar no botão "Apoio Rest. X -90"		K [click]
8	Alcançar nó para aplicação da restrição		P [botão]
9	Clicar no nó para aplicação da restrição		K [click]
10	Alcançar botão "Apoio Rest. X e Y"		P [botão]
11	Clicar no botão "Apoio Rest. X e Y"		K [click]
12	Alcançar nó para aplicação da restrição		P [botão]
13	Clicar no nó para aplicação da restrição		K [click]
14	Alcançar botão "Engaste 0°"		P [botão]
15	Clicar no botão "Engaste 0°"		K [click]

Fim da Atividade 4

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas.			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar aba "Ações"	M	P [aba]
2	Clicar na aba "Ações"		K [click]
Atividade 5 - Continua na próxima página			

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
3	Alcançar botão "Casos de Carregamento - 'Ação - 1: Peso Próprio'"	P [botão]
4	Clicar no botão "Casos de Carregamento - 'Ação - 1: Peso Próprio'"	K [click]
5	Alcançar caixa "2"	P [botão]
6	Clicar na caixa "2" para selecioná-la	K [click]
7	Posicionar mão no teclado	H [teclado]
8	Digitar nome para nova força (Outras Forças)	11 K [utras orças]
9	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Outras Forças)	2 K _s [OF]
10	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
11	Alcançar botão "Fechar"	P [botão]
12	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
13	Posicionar mão no teclado	M H [teclado]
14	Pressionar tecla F4 para ativar a função de selecionar nós	K [F4]
15	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
16	Alcançar nó para aplicação da força	P [botão]
17	Clicar no nó para aplicação da força	K [click]
18	Alcançar botão "Nodal"	P [botão]
19	Clicar no botão "Nodal"	K [click]
20	Alcançar campo para preencher o valor da força em Fx	P [caixa]
21	Duplo clique no campo para preencher o valor da força em Fx	K _s [dmc]
22	Posicionar mão no teclado	H [teclado]
23	Digitar valor 8 para a força	1 K [8]
24	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
25	Alcançar botão "Atribuir à Seleção"	P [botão]
26	Clicar no botão "Atribuir à Seleção"	K [click]
27	Alcançar botão "Fechar"	P [botão]
28	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
29	Posicionar mão no teclado	M H [teclado]
30	Pressionar tecla F4 para ativar a função de selecionar nós	K [F4]
31	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
32	Alcançar nó para aplicação da força	P [botão]
33	Clicar no nó para aplicação da força	K [click]
34	Alcançar botão "Nodal"	P [botão]
35	Clicar no botão "Nodal"	K [click]
36	Alcançar campo para preencher o valor da força em Fx	P [caixa]
37	Duplo clique no campo para preencher o valor da força em Fx	K _s [dmc]
38	Posicionar mão no teclado	H [teclado]
39	Digitar valor -8 para a força	2 K [-8]
40	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
41	Alcançar botão "Atribuir à Seleção"	P [botão]
42	Clicar no botão "Atribuir à Seleção"	K [click]
43	Alcançar botão "Fechar"	P [botão]
44	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
45	Alcançar 1a barra para aplicação da força	M P [barra]
46	Clicar no nó para aplicação da força	K [click]
47	Alcançar 2a barra para aplicação da força	P [barra]
48	Clicar no nó para aplicação da força	K [click]
49	Alcançar botão "Distribuída"	P [botão]
50	Clicar no botão "Distribuída"	K [click]
51	Alcançar campo para preencher o valor da força em Qy	M P [caixa]
52	Duplo clique no campo para preencher o valor da força em Qy	K _s [dmc]
53	Posicionar mão no teclado	H [teclado]
54	Digitar valor -0.02 para a força	5 K [-0.02]
55	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
56	Alcançar botão "Atribuir a Todos"	P [botão]
57	Clicar no botão "Atribuir a Todos"	K [click]
58	Alcançar botão "Fechar"	P [botão]
59	Clicar no botão "Fechar"	K [click]

Fim da Atividade 5

Software: **Robot**

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar Menu "Ferramentas"	M	P [menu]
2	Clicar no menu "Ferramentas"		K [click]
3	Alcançar menu "Preferências do Trabalho"		P [menu]
4	Clicar no menu "Preferências do Trabalho"		K [click]
5	Alcançar botão "Modificação"		P [botão]
6	Clicar no botão "Modificação"		K [click]
7	Alcançar campo "Nome"	M	P [campo]
8	Clicar no campo "Nome"		K [click]
9	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
10	Digitar nome para novo material (Aço CA50)	5	K [ço 50]
11	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Aço CA50)	3	K _s [ACA]
12	Pressionar tecla TAB até mudar para o Módulo de Cisalhamento (4x)	4	K [TAB]
13	Digitar valor (8077)	4	K [8077]
14	Pressionar tecla TAB para mudar para a resistência característica	1	K [TAB]
15	Digitar valor (50)	2	K [50]
16	Pressionar tecla TAB para mudar para a resistência limite de tensão (2x)	2	K [TAB]
17	Digitar valor (55)	2	K [55]
18	Pressionar tecla TAB para mudar para o peso específico	1	K [TAB]
19	Digitar valor (0,0000785)	9	K [0,0000785]
20	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
21	Alcançar botão "Adicionar"		P [botão]
22	Clicar no botão "Adicionar"		K [click]
23	Alcançar botão "Ok"		P [botão]
24	Clicar no botão "Ok"		K [click]
25	Alcançar Lista "Aço"	M	P [lista]
26	Clicar na Lista "Aço"		K [click]
27	Alcançar item "Aço CA50" na lista		P [item]
28	Clicar em "Aço CA50" na lista		K [click]
Fim da Atividade 1.1			

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Modificação"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Modificação"		K [click]
3	Alcançar aba "Concreto"		P [aba]
4	Clicar na aba "Concreto"		K [click]
5	Alcançar campo "Nome"	M	P [campo]
6	Clicar no campo "Nome"		K [click]
7	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
8	Digitar nome para novo material (C25)	2	K [25]
9	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C25)	1	K _s [C]
10	Pressionar tecla TAB até mudar para o Módulo de Cisalhamento (2x)	2	K [TAB]
11	Digitar valor (2800)	4	K [2800]
12	Pressionar tecla TAB para mudar para o coeficiente de Poisson	1	K [TAB]
13	Digitar valor (0,2)	3	K [0,2]
14	Pressionar tecla TAB para mudar para o módulo de cisalhamento	2	K [TAB]
15	Digitar valor (1166,6)	6	K [1166,6]
16	Pressionar tecla TAB para mudar para o peso específico (2x)	2	K [TAB]
17	Digitar valor (0,000025)	8	K [0,000025]
18	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
19	Alcançar botão "Adicionar"		P [botão]
20	Clicar no botão "Adicionar"		K [click]
21	Alcançar botão "Ok"		P [botão]
22	Clicar no botão "Ok"		K [click]
23	Alcançar Lista "Concreto"	M	P [lista]
24	Clicar na Lista "Concreto"		K [click]
Atividade 1.2 - Continua na próxima página			

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto) - Continuação		
#	Descrição	Codificação
25	Alcançar item "C25" na lista	P [item]
26	Clicar em "C25" na lista	K [click]
27	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
28	Clicar no botão "Ok"	K [click]
Fim da Atividade 1.2		

Atividade 2.1: Definição da 1a seção (W200x22,5)		
#	Descrição	Codificação
5	Alcançar botão "Seções da Barra"	M P [botão]
6	Clicar na opção "Seções da Barra"	K [click]
7	Alcançar opção "Nova definição de seção"	P [botão]
8	Clicar na opção "Nova definição de seção"	K [click]
9	Apontar para a aba "Paramétrico"	P [aba]
10	Clicar na aba "Paramétrico"	K [click]
11	Apontar para o botão "I-Bysm"	P [botão]
12	Clicar no botão "I-Bysm"	K [click]
13	Apontar para o campo "Legenda"	P [campo]
14	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente	K _s [dmc]
15	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
16	Digitar nome para novo material (W200x22,5)	8 K [220x22,5]
17	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - W200x22,5)	K _s [W]
18	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
19	Apontar para o campo "b="	M P [campo]
20	Click no campo "b="	K [click]
21	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
22	Digitar valor (10,2)	4 K [10,2]
23	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
24	Digitar valor (19)	2 K [19]
25	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
26	Digitar valor (0,62)	4 K [0,62]
27	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
28	Digitar valor (0,8)	3 K [0,8]
29	Apontar para o botão "Adicionar"	P [botão]
30	Clicar no botão "Adicionar"	K [click]
Fim da Atividade 2.1		

Atividade 2.2: Definição da 2a seção (20x25)		
#	Descrição	Codificação
1	Alcançar ComboBox "Tipo de Seção"	M P [combobox]
2	Clicar na ComboBox "Tipo de Seção"	K [click]
3	Alcançar item "Coluna de CA"	P [item]
4	Clicar no item "Coluna de CA"	K [click]
5	Apontar para o campo "Legenda"	P [campo]
6	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente	K _s [dmc]
7	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
8	Digitar nome para novo material (R20x25)	5 K [20x25]
9	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - R)	K _s [R]
10	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]
11	Digitar valor (20)	2 K [20]
12	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
13	Digitar valor (25)	2 K [25]
14	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
15	Apontar para o botão "Adicionar"	P [botão]
16	Clicar no botão "Adicionar"	K [click]
17	Apontar para o botão "Fechar"	P [botão]
18	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
19	Apontar para o botão "Fechar"	P [botão]
20	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
Fim da Atividade 2.2		

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras)				
#	Descrição		Codificação	
1	Alcançar Menu "Geometria"	M	P	[menu]
2	Clicar no menu "Geometria"		K	[click]
3	Alcançar menu "Objetos"		P	[menu]
4	Clicar no menu "Objetos"		K	[click]
5	Alcançar botão "Cubo"		P	[botão]
6	Clicar no botão "Cubo"		K	[click]
7	Alcançar caixa "2 Pontos"		P	[caixa]
8	Clicar na caixa "2 Pontos"		K	[click]
9	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
10	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (3x)	3	K	[TAB]
11	Digitar valor (0;0;0)	5	K	[0;0;0]
12	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K	[TAB]
13	Digitar valor (400;350;0)	9	K	[400;350;0]
14	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K	[TAB]
15	Digitar valor (270)	3	K	[270]
16	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
17	Apontar para o botão "Aplicar"		P	[botão]
18	Clicar no botão "Aplicar"		K	[click]
19	Apontar para vértice de referência criado pelo paralelepípedo anterior	M	P	[botão]
20	Clicar neste vértice		K	[click]
21	Apontar para o campo "Ponto P2"		P	[campo]
22	Clicar no "Ponto P2"		K	[click]
23	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
24	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1	K _s	[Ctrl+A]
25	Digitar valor (400;-250;0)	10	K	[400;-250;0]
26	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K	[TAB]
27	Digitar valor (220)	3	K	[220]
28	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
29	Apontar para o botão "Aplicar"		P	[botão]
30	Clicar no botão "Aplicar"		K	[click]
31	Apontar para o botão "Fechar"		P	[botão]
32	Clicar no botão "Fechar"		K	[click]
33	Apontar para o botão "Barras"		P	[botão]
34	Clicar no botão "Barras"		K	[click]
35	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (1/6)	2	P	[nó]
36	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (1/6)	2	K	[click]
37	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (2/6)	2	P	[nó]
38	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (2/6)	2	K	[click]
39	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (3/6)	2	P	[nó]
40	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (3/6)	2	K	[click]
41	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (4/6)	2	P	[nó]
42	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (4/6)	2	K	[click]
43	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (5/6)	2	P	[nó]
44	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (5/6)	2	K	[click]
45	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (6/6)	2	P	[nó]
46	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (6/6)	2	K	[click]
47	Apontar para objeto criado	M	P	[botão]
48	Clicar no objeto criado		K	[click]
49	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
50	Pressionar e manter pressionada a tecla CTRL	0,5	K	[CTRL]
51	Apontar para segundo objeto criado		P	[botão]
52	Clicar no segundo objeto criado		K	[click]
53	Soltar a tecla CTRL	0,5	K	[CTRL]
54	Pressionar tecla DEL para excluir os objetos	1	K	[DEL]
55	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
56	Alcançar ComboBox "Tipo de Barra"	M	P	[combobox]
57	Clicar na ComboBox "Tipo de Barra"		K	[click]
58	Alcançar item "Barra Simples"		P	[item]
59	Clicar no item "Barra Simples"		K	[click]

Atividade 3.2 - Continua na próxima página

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
60	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (1/7)	2	P [nó]
61	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (1/7)	2	K [click]
62	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (2/7)	2	P [nó]
63	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (2/7)	2	K [click]
64	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (3/7)	2	P [nó]
65	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (3/7)	2	K [click]
66	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (4/7)	2	P [nó]
67	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (4/7)	2	K [click]
68	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (5/7)	2	P [nó]
69	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (5/7)	2	K [click]
70	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (6/7)	2	P [nó]
71	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (6/7)	2	K [click]
72	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (7/7)	2	P [nó]
73	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (7/7)	2	K [click]
74	Apontar para o botão "Fechar"		P [botão]
75	Clicar no botão "Fechar"		K [click]
Fim da Atividade 3.2			

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Apoios"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Apoios"		K [click]
3	Alcançar botão "Novo"		P [botão]
4	Clicar no botão "Novo"		K [click]
5	Apontar para o campo "Legenda"		P [campo]
6	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente		K _s [dmc]
7	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
8	Digitar nome para nova configuração de apoio (Simples)	6	K [imples]
9	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - S)	1	K _s [S]
10	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
11	Alcançar caixa "Ux"		P [caixa]
12	Clicar na caixa "Ux" para desmarcá-la		K [click]
13	Alcançar caixa "Uy"		P [caixa]
14	Clicar na caixa "Uy" para desmarcá-la		K [click]
15	Apontar para o botão "Adicionar"		P [botão]
16	Clicar no botão "Adicionar"		K [click]
17	Apontar para o botão "Fechar"		P [botão]
18	Clicar no botão "Fechar"		K [click]
19	Alcançar nó para aplicação da restrição Simples (2x)	M	2 P [nó]
20	Clicar no nó para aplicação da restrição Simples (2x)		2 K [click]
21	Alcançar item "Rotulado" na aba "Nodal" na janela de Apoios		P [item]
22	Clicar no item "Rotulado"		K [click]
23	Alcançar nó para aplicação da restrição Rotulado (2x)		2 P [nó]
24	Clicar no nó para aplicação da restrição Rotulado (2x)		2 K [click]
25	Alcançar item "Engastado" na aba "Nodal" na janela de Apoios		P [item]
26	Clicar no item "Engastado"		K [click]
27	Alcançar nó para aplicação da restrição Engastado (2x)		2 P [nó]
28	Clicar no nó para aplicação da restrição Engastado (2x)		2 K [click]
29	Apontar para o botão "Fechar"		P [botão]
30	Clicar no botão "Fechar"		K [click]
Fim da Atividade 4			

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas.			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Tipos de Carga"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Tipos de Carga"		K [click]
3	Apontar para o campo "Legenda"		P [campo]
4	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente		K _s [dmc]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
Atividade 5 - Continua na próxima página			

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
6	Digitar nome para nova configuração de apoio (PP), dos quais 2K de 0,27 segundos	2 K _s [PP]
7	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]
8	Digitar valor Nome (Peso Próprio)	9 K [eso rprio]
9	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - P P ó)	3 K _s [PPó]
10	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
11	Apontar para o botão "Adicionar"	P [botão]
12	Clicar no botão "Adicionar"	K [click]
13	Apontar para o campo "Legenda"	P [campo]
14	Duplo click para ativar campo e selecionar o valor atualmente existente	K _s [dmc]
15	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
16	Digitar nome para nova configuração de apoio (CP), dos quais 2K de 0,27 segundos	2 K _s [PP]
17	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]
18	Digitar valor Nome (Carga Permanente)	14 K [arga perman]
19	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C P)	2 K _s [CP]
20	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
21	Apontar para o botão "Adicionar"	P [botão]
22	Clicar no botão "Adicionar"	K [click]
23	Apontar para o item "1" (Peso Próprio)	P [item]
24	Clicar no item "1" para mantê-lo como item corrente	K [click]
25	Apontar para o botão "Definição de Carga"	M P [botão]
26	Clicar no botão "Definição de Carga"	K [click]
27	Apontar para a aba "Peso Próprio e massa"	P [aba]
28	Clicar na aba "Peso Próprio e Massa"	K [click]
29	Apontar para o campo "Aplicar a"	P [campo]
30	Clicar no campo "Aplicar a"	K [click]
31	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
32	Digitar valor (3para15)	7 K [3para15]
33	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
34	Apontar para o botão "Aplicar"	P [botão]
35	Clicar no botão "Aplicar"	K [click]
36	Apontar para o item "2" (Carga Permanente) na Janela de Tipo de Carga	P [item]
37	Clicar no item "2" para alterar e mantê-lo como item corrente	K [click]
38	Apontar para o botão "Números dos Nós"	P [botão]
39	Clicar no botão "Números dos Nós"	K [click]
40	Apontar para o botão "Números das Barras"	P [botão]
41	Clicar no botão "Números das Barras"	K [click]
42	Apontar para a aba "Nó" na janela Definição de Carga	P [aba]
43	Clicar na aba "Nó"	K [click]
44	Apontar para o botão "Força Nodal"	P [botão]
45	Clicar no botão "Força Nodal"	K [click]
46	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
47	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
48	Digitar valor (-8)	2 K [-8]
49	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]
50	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
51	Digitar valor das Barras para Aplicar a carga (8 12)	4 K [8 12]
52	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]
53	Posicionar mão no mouse	M H [mouse]
54	Apontar para a aba "Barra" na janela Definição de Carga	P [aba]
55	Clicar na aba "Barra"	K [click]
56	Apontar para o botão "Força da Barra"	P [botão]
57	Clicar no botão "Força da Barra"	K [click]
58	Apontar para o campo "F > Y:"	P [campo]
59	Clicar no campo "F > Y:"	K [click]
60	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
61	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
62	Digitar valor (8)	1 K [8]
63	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
64	Alcançar caixa "Absoluto"	P [caixa]
65	Clicar na caixa "Absoluto" para selecioná-la	K [click]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
66	Apontar para o campo "x ="	P [campo]
67	Clicar no campo "x ="	K [click]
68	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
69	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
70	Digitar valor (80)	2 K [80]
71	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]
72	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
73	Digitar valor (3 4)	3 K [3 4]
74	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]
75	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
76	Apontar para o botão "Carga Uniforme"	M P [botão]
77	Clicar no botão "Carga Uniforme"	K [click]
78	Apontar para o campo "Z:"	P [campo]
79	Clicar no campo "Z:"	K [click]
80	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
81	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
82	Digitar valor (-0,02)	5 K [-0,02]
83	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]
84	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
85	Digitar valor (10 12)	5 K [10 12]
86	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]
87	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
88	Apontar para o botão "CargaTrapezoidal"	M P [botão]
89	Clicar no botão "Carga Trapezoidal"	K [click]
90	Apontar para o campo "p1 ="	P [campo]
91	Clicar no campo "p1 ="	K [click]
92	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
93	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
94	Digitar valor (-0,02)	5 K [-0,02]
95	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
96	Digitar valor (-0,02)	5 K [-0,02]
97	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]
98	Digitar valor (0,2)	3 K [0,2]
99	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
100	Digitar valor (0,8)	3 K [0,2]
101	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]
102	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
103	Digitar valor (9 11)	4 K [9 11]
104	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]
105	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
106	Apontar para o botão "CargaTrapezoidal"	M P [botão]
107	Clicar no botão "Carga Trapezoidal"	K [click]
108	Alcançar caixa "Direção da ação da carga > Y"	P [caixa]
109	Clicar na caixa "Direção da ação da carga > Y" para selecioná-la	K [click]
110	Apontar para o campo "p1 ="	P [campo]
111	Clicar no campo "p1 ="	K [click]
112	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
113	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
114	Digitar valor (0,012)	5 K [0,012]
115	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
116	Digitar valor (0,02)	4 K [0,02]
117	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]
118	Digitar valor (0)	1 K [0]
119	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
120	Digitar valor (1)	1 K [1]
121	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]
122	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5: Definição das cargas. Duas concentradas e 4 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
123	Digitar valor (5 7)	3 K [5 7]
124	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]
125	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
126	Apontar para o botão "CargaTrapezoidal"	M P [botão]
127	Clicar no botão "Carga Trapezoidal"	K [click]
128	Alcançar caixa "Coordenadas > Absoluto"	P [caixa]
129	Clicar na caixa "Coordenadas > Absoluto" para selecioná-la	K [click]
130	Apontar para o campo "x1"	P [campo]
131	Clicar no campo "x1"	K [click]
132	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
133	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
134	Digitar valor (50)	2 K [50]
135	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]
136	Digitar valor (220)	3 K [220]
137	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]
138	1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Ctrl+A)	1 K _s [Ctrl+A]
139	Digitar valor (6 8)	3 K [6 8]
140	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]
141	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
142	Apontar para o botão "Fechar" na janela Definição de Carga	P [botão]
143	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
144	Apontar para o botão "Fechar" na janela Tipos de Carga	P [botão]
145	Clicar no botão "Fechar"	K [click]
Fim da Atividade 5		

Software: **SAP2000**

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)				
#	Descrição		Codificação	
68	Alcançar botão "+" em Material	M	P	[botão]
69	Clicar no botão "+" em Material		K	[click]
70	Alcançar botão "Add New Material"		P	[botão]
71	Clicar no botão "Add New Material"		K	[click]
72	Alcançar Lista "Region"		P	[lista]
73	Clicar na Lista "Region"		K	[click]
74	Alcançar item "User" na lista		P	[item]
75	Clicar em "User" na lista		K	[click]
76	Alcançar botão "Ok"		P	[botão]
77	Clicar no botão "Ok"		K	[click]
78	Alcançar campo "Material Name"	M	P	[campo]
79	Duplo clique no campo "Material Name"		K _s	[dmc]
80	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
81	Digitar nome para novo material (Aço CA50)		5	K [ço 50]
82	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Aço CA50)		3	K _s [ACA]
83	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
84	Alcançar campo para preenchimento do Módulo de Elasticidade		P	[campo]
85	Duplo clique para editar campo		K _s	[dmc]
86	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
87	Digitar valor "21000"		5	K [21000]
88	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
89	Alcançar campo para preenchimento da Tensão Mínima de Escoamento		P	[campo]
90	Duplo clique para editar campo		K _s	[dmc]
91	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
92	Digitar valor "50"		2	K [50]
93	Pressionar tecla TAB para mudar para o campo de Tensão de Ruptura Mínima		K	[TAB]
94	Digitar valor "55"		2	K [55]
95	Pressionar tecla TAB para mudar para o campo de Tensão de Escoamento Esperada		K	[TAB]
96	Digitar valor "50"		2	K [50]
97	Pressionar tecla TAB para mudar para o campo de Tensão de Ruptura Esperada		K	[TAB]
98	Digitar valor "55"		2	K [55]
99	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
100	Alcançar botão "Ok"		P	[botão]
101	Clicar no botão "Ok"		K	[click]

Fim da Atividade 1.1

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)				
#	Descrição		Codificação	
102	Alcançar botão "Add New Material"	M	P	[botão]
103	Clicar no botão "Add New Material"		K	[click]
104	Alcançar Lista "Material Type"		P	[lista]
105	Clicar na Lista "Material Type"		K	[click]
106	Alcançar item "Concrete" na lista		P	[item]
107	Clicar em "Concrete" na lista		K	[click]
108	Alcançar botão "Ok"		P	[botão]
109	Clicar no botão "Ok"		K	[click]
110	Alcançar campo "Material Name"	M	P	[campo]
111	Duplo clique no campo "Material Name"		K _s	[dmc]
112	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
113	Digitar nome para novo material (C25)		2	K [25]
114	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C25)		1	K _s [C]
115	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
116	Alcançar campo para edição do peso por unidade de volume		P	[campo]
117	Pressionamento do botão do mouse para seleção do valor a ser alterado		0,5	K [click]
118	Percorrer o trecho a ser alterado (356)		P	[valor]
119	Soltar botão do mouse		0,5	K [click]

Atividade 1.2 - Continuação na próxima página

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto) - Continuação		
#	Descrição	Codificação
120	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
121	Digitar novo valor (4515)	4 K [4515]
122	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
123	Alcançar campo para preenchimento do Módulo de Elasticidade	P [campo]
124	Duplo clique para editar campo	K _s [dmc]
125	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
126	Digitar valor "2800"	4 K [2800]
127	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
128	Alcançar campo para preenchimento da Resistência Específica do Concreto	M P [campo]
129	Duplo clique para editar campo	K _s [dmc]
130	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
131	Digitar valor "2,5"	3 K [2,5]
132	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
133	Alcançar campo para preenchimento da Resistência Esperada do Concreto	P [campo]
134	Duplo clique para editar campo	K _s [dmc]
135	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
136	Digitar valor "2,5"	3 K [2,5]
137	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
138	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
139	Clicar no botão "Ok"	K [click]
140	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
141	Clicar no botão "Ok"	K [click]
Fim da Atividade 1.2		

Atividade 2.1: Definição da 1a seção (W200x22,5)		
#	Descrição	Codificação
44	Alcançar botão "+" em Beams	M P [botão]
45	Clicar no botão "+" em Beams	K [click]
46	Alcançar botão "Add New Property"	P [botão]
47	Clicar no botão "Add New Property"	K [click]
48	Alcançar botão "I / Wide Flange"	P [botão]
49	Clicar no botão "I / Wide Flange"	K [click]
50	Alcançar campo "Selection Name"	M P [botão]
51	Duplo clique no campo "Selection Name"	K _s [dmc]
52	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
53	Digitar nome para novo material (W200x22,5)	8 K [200x22,5]
54	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - W200x22,5)	K _s [W]
55	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de preenchimento - Altura da seção (2x)	2 K [TAB]
56	Digitar valor da altura da seção "20,6"	4 K [20,6]
57	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de largura da mesa superior	K [TAB]
58	Digitar valor da largura da seção "10,2"	4 K [10,2]
59	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de espessura da mesa superior	K [TAB]
60	Digitar valor da espessura da seção "0,8"	3 K [0,8]
61	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de espessura da alma	K [TAB]
62	Digitar valor da espessura da seção "0,62"	4 K [0,62]
63	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de largura da mesa superior	4 K [10,2]
64	Digitar valor da largura da seção "10,2"	K [TAB]
65	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de espessura da mesa superior	3 K [0,8]
66	Digitar valor da espessura da seção "0,8"	K [TAB]
67	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
142	Alcançar Lista "Material"	M P [lista]
143	Clicar na Lista "Material"	K [click]
144	Alcançar item "Aço CA50" na lista	P [item]
145	Clicar em "Aço CA50" na lista	K [click]
146	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
147	Clicar no botão "Ok"	K [click]
Fim da Atividade 2.1		

Atividade 2.2: Definição da 2ª seção (R20x25)				
#	Descrição	Codificação		
148	Alcançar botão "Add New Property"	M	P	[botão]
149	Clicar no botão "Add New Property"		K	[click]
150	Alcançar Lista "Frame Section Property Type"		P	[lista]
151	Clicar na Lista "Frame Section Property Type"		K	[click]
152	Alcançar item "Concrete" na lista		P	[item]
153	Clicar em "Concrete" na lista		K	[click]
154	Alcançar botão "Rectangular"		P	[botão]
155	Clicar no botão "Rectangular"		K	[click]
156	Alcançar campo "Selection Name"	M	P	[botão]
157	Duplo clique no campo "Selection Name"		K _s	[dmc]
158	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
159	Digitar nome para novo material (R20x25)		5	K [20x25]
160	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - R20x25)		K _s	[R]
161	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de preenchimento - Altura da seção (2x)		2	K [TAB]
162	Digitar valor da altura da seção "25"		2	K [25]
163	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo de largura da seção		K	[TAB]
164	Digitar valor da largura da seção "20"		4	K [20]
165	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]
166	Alcançar Lista "Material"	M	P	[lista]
167	Clicar na Lista "Material"		K	[click]
168	Alcançar item "C25" na lista		P	[item]
169	Clicar em "C25" na lista		K	[click]
170	Alcançar botão "Ok"		P	[botão]
171	Clicar no botão "Ok"		K	[click]
172	Alcançar botão "Ok"		P	[botão]
173	Clicar no botão "Ok"		K	[click]

Fim da Atividade 2.2

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) através do mouse				
#	Descrição	Codificação		
1	Alcançar botão "New Model"	M	P	[botão]
2	Clicar no botão "New Model"		K	[click]
3	Alcançar botão "3D Frames"		P	[botão]
4	Clicar no botão "3D Frames"		K	[click]
5	Alcançar campo para preencher quantidade de andares	M	P	[caixa]
6	Duplo clique no campo para preencher quantidade de andares		K _s	[dmc]
7	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
8	Digitar valor "2"		K	[2]
9	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (altura dos andares)		K	[TAB]
10	Digitar valor "220"		3	K [220]
11	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (quantidade de baias em x)		K	[TAB]
12	Digitar valor "2"		K	[2]
13	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (comprimento das baias em x)		K	[TAB]
14	Digitar valor "250"		3	K [250]
15	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (quantidade de baias em y)		K	[TAB]
16	Digitar valor "1"		K	[1]
17	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (comprimento das baias em y)		K	[TAB]
18	Digitar valor "400"		3	K [400]
19	Alcançar caixa "Use Custom Grid Spacing and Locate Origin"	M	P	[caixa]
20	Clicar na caixa "Use Custom Grid Spacing and Locate Origin" para ativá-la		K	[click]
21	Alcançar botão "Edit Grid"		P	[botão]
22	Clicar no botão "Edit Grid"		K	[click]
23	Alcançar campo para preencher nome do sistema de Grids		P	[caixa]
24	Duplo clique no campo para preencher o nome do sistema de Grids		K _s	[dmc]
25	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
26	Digitar valor "SCoord1"		5	K [oord1]
27	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - SCoord1)		2	K _s [SC]
28	Posicionar mãos no mouse		H	[mouse]
29	Alcançar campo X Grid Data > C > Ordinate		P	[campo]

Fim da Atividade 3.2

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
30	Duplo clique no campo X Grid Data > C > Ordinate	K _s	[dmc]
31	Clique adicional necessário	1	K [clique]
32	Posicionar mãos no teclado	H	[teclado]
33	Digitar valor "350"	3	K [350]
34	Posicionar mãos no mouse	H	[mouse]
35	Alcançar campo Z Grid Data > Z3 > Ordinate	P	[campo]
36	Duplo clique no campo Z Grid Data > Z3 > Ordinate	K _s	[dmc]
37	Clique adicional necessário	1	K [clique]
38	Posicionar mãos no teclado	H	[teclado]
39	Pressionar tecla Enter para aplicar valor	K	[Enter]
40	Digitar valor "270"	3	K [270]
41	Posicionar mãos no mouse	H	[mouse]
42	Alcançar botão "Ok"	P	[botão]
43	Clicar no botão "Ok"	K	[click]
174	Alcançar Lista "Beams"	M	P [lista]
175	Clicar na Lista "Beams"	K	[click]
176	Alcançar item "W200x22,5" na lista	P	[item]
177	Clicar em "W200x22,5" na lista	K	[click]
178	Alcançar Lista "Columns"	P	[lista]
179	Clicar na Lista "Columns"	K	[click]
180	Alcançar item "R20x25" na lista	P	[item]
181	Clicar em "R20x25" na lista	K	[click]
182	Alcançar botão "Ok"	P	[botão]
183	Clicar no botão "Ok"	K	[click]
184	Alcançar botão "Draw Frame/Cable/Tendon"	M	P [botão]
185	Clicar no botão "Draw Frame/Cable/Tendon"	K	[click]
186	Alcançar primeiro nó da primeira barra faltante	P	[botão]
187	Clicar no primeiro nó	K	[click]
188	Alcançar segundo nó da primeira barra faltante	P	[botão]
189	Clicar no segundo nó	K	[click]
190	Pressionar tecla ESC para sair do comando	K	[ESC]
191	Alcançar botão "Draw Frame/Cable/Tendon"	M	P [botão]
192	Clicar no botão "Draw Frame/Cable/Tendon"	K	[click]
193	Alcançar primeiro nó da segunda barra faltante	P	[botão]
194	Clicar no primeiro nó	K	[click]
195	Alcançar segundo nó da segunda barra faltante	P	[botão]
196	Clicar no segundo nó	K	[click]
197	Pressionar tecla ESC para sair do comando	K	[ESC]
198	Alcançar barras que precisam ser deletadas	M	15 P [barras]
199	Clicar nas barras	15	K [click]
200	Pressionar tecla DEL para sair do comando	K	[DEL]
201	Alcançar barras que precisam ser esticada (4x)	M	4 P [barras]
202	Clicar na barra com botão auxiliar do mouse (4x)	4	K [click]
203	Alcançar aba Location (4x)	4	P [aba]
204	Clicar na aba Location (4x)	4	K [click]
205	Alcançar campo End Joint J (4x)	4	P [barras]
206	Duplo clique no campo "End Joint J" (4x)	4	K _s [dmc]
207	Alcançar botão "Toggle Joint Label" (4x)	4	P [botão]
208	Clicar no botão "Toggle Joint Label" (4x)	4	K [click]
209	Alcançar Lista "End Joint (J)" (4x)	4	P [lista]
210	Clicar na Lista "End Joint (J)" (4x)	4	K [click]
211	Alcançar item correto para a barra (4x)	M	4 P [item]
212	Clicar no item (4x)	4	K [click]
213	Alcançar botão "Ok" (4x)	4	P [botão]
214	Clicar no botão "Ok" (4x)	4	K [click]
215	Alcançar botão "Ok"	P	[botão]
216	Clicar no botão "Ok"	K	[click]

Fim da Atividade 3.2

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)				
#	Descrição		Codificação	
217	Alcançar Menu "Assign"	M	P	[menu]
218	Clicar no Menu "Assign"		K	[click]
219	Alcançar sub-Menu "Joint"		P	[lista]
220	Clicar no sub-Menu "Joint"		K	[click]
221	Alcançar função "Restrains"		P	[item]
222	Alcançar função "Restrains"		K	[click]
223	Alcançar nós que serão alterados (2x)	2	P	[nó]
224	Clicar nos nós que terão as restrições alteradas (2x)	2	K	[click]
225	Alcançar botão "Apply"		P	[botão]
226	Clicar em "Apply"		K	[click]
227	Alcançar botão de Apoio Duplo		P	[botão]
228	Clicar no botão de Apoio Duplo		K	[click]
229	Alcançar nós que serão alterados (2x)	2	P	[nó]
230	Clicar nos nós que terão as restrições alteradas (2x)	2	K	[click]
231	Alcançar botão "Apply"		P	[botão]
232	Clicar em "Apply"		K	[click]
233	Alcançar nós que serão alterados (2x)	2	P	[nó]
234	Clicar nos nós que terão as restrições alteradas (2x)	2	K	[click]
235	Alcançar botão de Apoio Simples		P	[botão]
236	Clicar no botão de Apoio Simples		K	[click]
237	Alcançar botão "Apply"		P	[botão]
238	Clicar em "Apply"		K	[click]
239	Alcançar botão "Fechar"		P	[botão]
240	Clicar em "Fechar"		K	[click]
Fim da Atividade 4				

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas.				
#	Descrição		Codificação	
241	Alcançar Menu "Define"	M	P	[menu]
242	Clicar no Menu "Define"		K	[click]
243	Alcançar item "Load Patterns"		P	[lista]
244	Clicar no item "Load Patterns"		K	[click]
245	Alcançar campo para modificar o nome do grupo de cargas		P	[campo]
246	Duplo clique no campo para modificar o nome		K _s	[dmc]
247	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
248	Digitar valor "Cargas Permanentes"	16	K	[argas ermar]
249	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Cargas Permanent	2	K _s	[CP]
250	Posicionar mãos no mouse		H	[mouse]
251	Alcançar botão "Modify Load Pattern"		P	[botão]
252	Clicar em item " Modify Load Pattern"		K	[click]
253	Alcançar botão "Ok"		P	[botão]
254	Clicar em item "Ok"		K	[click]
255	Alcançar Menu "Assign"	M	P	[menu]
256	Clicar no Menu "Assign"		K	[click]
257	Alcançar sub-Menu "Frame Loads"		P	[lista]
258	Clicar no sub-Menu "Frame Loads"		K	[click]
259	Alcançar item "Point..."		P	[lista]
260	Clicar no item "Point..."		K	[click]
261	Alcançar lista "Load Direction"		P	[lista]
262	Clicar na lista "Load Direction"		K	[click]
263	Alcançar item "X"		P	[item]
264	Clicar no item "X"		K	[click]
265	Alcançar caixa "Absolute Distance from End-I"		P	[caixa]
266	Clicar na caixa "Absolute Distance from End-I"		K	[click]
267	Alcançar campo "Absolute Distance - 1."		P	[caixa]
268	Duplo clique no campo para modificar o valor		K _s	[dmc]
269	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
270	Digitar valor "80"	2	K	[80]
271	Pressionar tecla TAB para mudar até o campo onde digita-se o valor da carga	4	K	[TAB]
Atividade 5 - Continuação na próxima página				

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
272	Digitar valor "8"	1 K [8]
273	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
274	Alcançar barras que terão cargas pontuais aplicadas a elas (2x)	M 2 P [barra]
275	Clicar nas barras que terão cargas pontuais aplicadas a elas (2x)	2 K [click]
276	Alcançar botão "Apply"	P [botão]
277	Clicar em "Apply"	K [click]
278	Alcançar campo "Absolute Distance - 1."	P [caixa]
279	Duplo clique no campo para modificar o valor	K _s [dmc]
280	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
281	Digitar valor "270"	3 K [270]
282	Pressionar tecla TAB para mudar até o campo onde digita-se o valor da carga	4 K [TAB]
283	Digitar valor "-8"	2 K [-8]
284	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
285	Alcançar barras que terão cargas pontuais aplicadas a elas (2x)	M 2 P [barra]
286	Clicar nas barras que terão cargas pontuais aplicadas a elas (2x)	2 K [click]
287	Alcançar botão "Apply"	P [botão]
288	Clicar em "Apply"	K [click]
289	Alcançar Menu "Assign"	M P [menu]
290	Clicar no Menu "Assign"	K [click]
291	Alcançar sub-Menu "Frame Loads"	P [lista]
292	Clicar no sub-Menu "Frame Loads"	K [click]
293	Alcançar item "Distributed..."	P [lista]
294	Clicar no item "Distributed..."	K [click]
295	Alcançar barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2 P [barra]
296	Clicar nas barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2 K [click]
297	Alcançar campo "Uniform Load"	M P [caixa]
298	Duplo clique no campo para modificar o valor	K _s [dmc]
299	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
300	Digitar valor ",02"	3 K [,02]
301	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
302	Alcançar botão "Apply"	P [botão]
303	Clicar em "Apply"	K [click]
304	Alcançar barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2 P [barra]
305	Clicar nas barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2 K [click]
306	Alcançar caixa "Relative Distance from End-I"	M P [caixa]
307	Clicar na caixa "Relative Distance from End-I"	K [click]
308	Alcançar campo "Uniform Load"	P [caixa]
309	Duplo clique no campo para modificar o valor	K _s [dmc]
310	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
311	Digitar valor "0"	1 K [0]
312	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
313	Alcançar campo "Relative Distance - 1."	P [caixa]
314	Duplo clique no campo para modificar o valor	K _s [dmc]
315	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
316	Digitar valor ",2"	2 K [,2]
317	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Relative Distance - 2."	1 K [TAB]
318	Digitar valor ",2"	2 K [,2]
319	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Relative Distance - 3."	1 K [TAB]
320	Digitar valor ",8"	2 K [,8]
321	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Relative Distance - 4."	1 K [TAB]
322	Digitar valor ",8"	2 K [,8]
323	Pressionar tecla TAB para próximo campo a ser modificado "Loads - 2."	2 K [TAB]
324	Digitar valor ",02"	3 K [,02]
325	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Loads - 3."	1 K [TAB]
326	Digitar valor ",02"	3 K [,02]
327	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
328	Alcançar botão "Apply"	P [botão]
329	Clicar em "Apply"	K [click]
330	Alcançar lista "Load Direction"	M P [lista]
331	Clicar na lista "Load Direction"	K [click]

Atividade 5 - Continuação na próxima página

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
332	Alcançar item "X"		P [item]
333	Clicar no item "X"		K v
334	Alcançar barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	M 2	P [barra]
335	Clicar nas barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2	K [click]
336	Alcançar botão "Reset Form to Default Values"		P [botão]
337	Clicar em "Reset Form to Default Values"		K [click]
338	Alcançar campo "Relative Distance - 2."		P [caixa]
339	Duplo clique no campo para modificar o valor		K _s [dmc]
340	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
341	Digitar valor "0"	1	K [0]
342	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Relative Distance - 3."	1	K [TAB]
343	Digitar valor "1"	1	K [1]
344	Pressionar tecla TAB para próximo campo a ser modificado "Loads - 2."	3	K [TAB]
345	Digitar valor ",012"	4	K [,012]
346	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Loads - 3."	1	K [TAB]
347	Digitar valor ",02"	3	K [,02]
348	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
349	Alcançar botão "Apply"		P [botão]
350	Clicar em "Apply"		K [click]
351	Alcançar barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2	P [barra]
352	Clicar nas barras que terão cargas distribuídas uniformes (2x)	2	K [click]
353	Alcançar caixa "Absolute Distance from End-1"	M	P [caixa]
354	Clicar na caixa "Absolute Distance from End-1"		K [click]
355	Alcançar campo "Absolute Distance - 1."		P [caixa]
356	Duplo clique no campo para modificar o valor		K _s [dmc]
357	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
358	Digitar valor "50"	2	K [50]
359	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Absolute Distance - 2."	1	K [TAB]
360	Digitar valor "50"	2	K [50]
361	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Absolute Distance - 3."	1	K [TAB]
362	Digitar valor "220"	3	K [220]
363	Pressionar tecla TAB para próximo campo "Absolute Distance - 3."	1	K [TAB]
364	Digitar valor "220"	3	K [220]
365	Alcançar botão "Apply"		P [botão]
366	Clicar em "Apply"		K [click]
Fim da Atividade 5			

Software: **Inventor**

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar aba "Tools"	M	P [aba]
2	Clicar na aba "Tools"		K [click]
3	Alcançar botão "Material"		P [botão]
4	Clicar no botão "Material"		K [click]
5	Alcançar campo "Search"		P [botão]
6	Clicar no campo "Search"		K [click]
7	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
8	Digitar nome do material (steel)	5	K [steel]
9	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
10	Alcançar material "Steel" na lista		P [botão]
11	Alcançar botão "Add Material and Display Editor"		P [botão]
12	Clicar no material "Add Material and Display Editor"		K [click]
13	Alcançar campo "Name"		P [aba]
14	Clicar no campo "Name"		K [click]
15	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
16	Digitar nome para novo material (Aço CA50)	5	K [ço 50]
17	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Aço	3	K _s [ACA]
18	Alcançar aba "Physical"	M	P [aba]
19	Clicar na aba "Physical"		K [click]
20	Alcançar "Mechanical" para expandir informações		P [item]
21	Clicar em "Mechanical" para expandir informações		K [click]
22	Alcançar "Strength" para expandir informações		P [item]
23	Clicar em "Strength" para expandir informações		K [click]
24	Alcançar campo "Shear Modulus"		P [campo]
25	Clicar no campo "Shear Modulus"		K [click]
26	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
27	Digitar valor (80770)	5	K [80770]
28	Pressionar tecla TAB para mudar até o Yield Strength	3	K [TAB]
29	Digitar valor (500)	3	K [500]
30	Pressionar tecla TAB para mudar até o Tensile Strength	1	K [TAB]
31	Digitar valor (550)	3	K [550]
32	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
33	Alcançar botão "Apply"		P [botão]
34	Clicar no botão "Apply"		K [click]
35	Alcançar botão "Fechar" no canto superior da janela		P [botão]
36	Clicar no botão "Fechar" no canto superior da janela		K [click]

Fim da Atividade 1.1

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar campo "Search"	M	P [botão]
2	Clicar no campo "Search"		K [click]
3	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
4	Digitar nome do material (concrete)	8	K [concrete]
5	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
6	Alcançar material "Concrete" na lista		P [botão]
7	Alcançar botão "Add Material and Display Editor"		P [botão]
8	Clicar no material "Add Material and Display Editor"		K [click]
9	Alcançar campo "Name"		P [aba]
10	Clicar no campo "Name"		K [click]
11	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
12	Digitar nome para novo material (C25)	2	K [25]
13	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C25)	1	K _s [C]
14	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
15	Alcançar aba "Physical"	M	P [aba]
16	Clicar na aba "Physical"		K [click]
17	Alcançar "Mechanical" para expandir informações		P [item]

Atividade 1.2 - Continuação na próxima página

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
18	Clicar em "Mechanical" para expandir informações	K	[click]
19	Alcançar "Strength" para expandir informações	P	[item]
20	Clicar em "Strength" para expandir informações	K	[click]
21	Alcançar campo "Young Modulus"	P	[aba]
22	Clicar no campo "Young Modulus"	K	[click]
23	Posicionar mãos no teclado	H	[teclado]
24	Digitar valor (28)	2	K [28]
25	Pressionar tecla TAB para mudar para o coeficiente de Poisson	1	K [TAB]
26	Digitar valor (0,2)	3	K [0,2]
27	Pressionar tecla TAB para mudar para o Shear Modulus	2	K [TAB]
28	Digitar valor (11666)	5	K [11666]
29	Pressionar tecla TAB para mudar para o Density	1	K [TAB]
30	Digitar valor (2,5)	3	K [2,5]
31	Pressionar tecla TAB para mudar para o Concrete Compression	2	K [TAB]
32	Digitar valor (25)	2	K [25]
33	Pressionar tecla TAB para mudar para Yield Strength	3	K [TAB]
34	Digitar valor (1,8)	2	K [1,8]
35	Pressionar tecla TAB para mudar para Tensile Strength	1	K [TAB]
36	Digitar valor (1,8)	3	K [1,8]
37	Alcançar botão "Apply"	M	P [botão]
38	Clicar no botão "Apply"	K	[click]
39	Alcançar botão "Fechar" no canto superior da janela de edição	P	[botão]
40	Clicar no botão "Fechar" no canto superior da janela de edição	K	[click]
41	Alcançar botão "Fechar" no canto superior da janela de procura	P	[botão]
42	Clicar no botão "Fechar" no canto superior da janela de procura	K	[click]
Fim da Atividade 1.2			

Atividade 2.1: Definição da 1a seção (W200x22,5)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar aba "Design"	M	P [aba]
2	Clicar na aba "Design"	K	[click]
3	Alcançar botão "Insert Frame"	P	[botão]
4	Clicar no botão "Insert Frame"	K	[click]
5	Alcançar ComboBox com a Lista de Perfis "Family"	P	[lista]
6	Clicar na ComboBox com a Lista de Perfis "Family"	K	[click]
7	Alcançar item "ANSI ASTM A6/A6M (W Shapes - Metric)"	P	[item]
8	Clicar no item "ANSI ASTM A6/A6M (W Shapes - Metric)"	K	[click]
9	Alcançar ComboBox com a Lista de Perfis "Size"	P	[lista]
10	Clicar na ComboBox com a Lista de Perfis "Size"	K	[click]
11	Alcançar item "W 200x22,5x206"	P	[item]
12	Clicar no item "W 200x22,5x206"	K	[click]
13	Alcançar ComboBox com a Lista de Materiais "Materials"	M	P [lista]
14	Clicar na ComboBox com a Lista de Materiais "Materials"	K	[click]
15	Posicionar mão no teclado	H	[teclado]
16	Digitar valor (a)	K	[a]
17	Alcançar item "Aço CA50"	P	[item]
18	Clicar no item "Aço CA50"	K	[click]
19	Alcançar barras para aplicar seção e material (7x) + 1M	M	7 P [barras]
20	Clicar nas barras para aplicar seção e material (7x)	7	K [click]
21	Alcançar botão "Apply"	P	[botão]
22	Clicar no botão "Apply"	K	[click]
23	Alcançar botão "Ok"	P	[botão]
24	Clicar no botão "Ok"	K	[click]
25	Alcançar botão "Ok"	P	[botão]
26	Clicar no botão "Ok"	K	[click]
Fim da Atividade 2.1			

Atividade 2.2: Definição da 2ª seção (20x25)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar ComboBox com a Lista de Normas "Standard"	M	P [lista]
2	Clicar na ComboBox com a Lista de Normas "Standard"		K [click]
3	Alcançar item "CSN"		P [item]
4	Clicar no item "CSN"		K [click]
5	Alcançar ComboBox com a Lista de Perfis "Family"		P [lista]
6	Clicar na ComboBox com a Lista de Perfis "Family"		K [click]
7	Alcançar item "CSN 426522"		P [item]
8	Clicar no item "CSN 426522"		K [click]
9	Alcançar ComboBox com a Lista de Perfis "Size"		P [lista]
10	Clicar na ComboBox com a Lista de Perfis "Size"		K [click]
11	Alcançar e arrastar barra até o final (2P + 2x0,5K)	2	P [item]
12	Alcançar e arrastar barra até o final (2P + 2x0,5K)	1	K [click]
13	Alcançar item "200x250"		P [item]
14	Clicar no item "200x250"		K [click]
15	Alcançar barras para aplicar seção e material (7x) + 1M	M	6 P [barras]
16	Clicar nas barras para aplicar seção e material (7x)	6	K [click]
17	Alcançar botão "Apply"		P [botão]
18	Clicar no botão "Apply"		K [click]
19	Alcançar botão "Ok"		P [botão]
20	Clicar no botão "Ok"		K [click]
21	Alcançar botão "x" para fechar		P [botão]
22	Clicar no botão "x" para fechar		K [click]
Fim da Atividade 2.2			

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Create"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Create"		K [click]
3	Alcançar campo "New Component Name"		P [campo]
4	Duplo clique no campo para preencher o nome da peça		K _s [dmc]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Digitar nome da parte (Pórtico)	7	K [órtico]
7	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - P)		K _s [P]
8	Posicionar mão no mouse		H [teclado]
9	Alcançar botão "Ok"		P [botão]
10	Clicar no botão "Ok"		K [click]
11	Clicar na área de trabalho		K [click]
12	Alcançar botão "2D Sketch"	M	P [botão]
13	Clicar no botão "2D Sketch"		K [click]
14	Alcançar o Plano XY		P [plano]
15	Clicar no Plano XY		K [click]
16	Alcançar botão "Line"		P [botão]
17	Clicar no botão "Line"		K [click]
18	Criar o formato do pórtico (5 linhas totalizando comprimento real de 13,65m) - Apenas 1M	M	D [5,51,56]
19	Clicks para desenhar as linhas, sendo 1 ENTER	8	K [click]
20	Alcançar nó para criação da última linha (necessário devido formato da estrutura)		P [nó]
21	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
22	Pressionar tecla ENTER para sair do comando para criar linhas		K [ENTER]
23	Posicionar mão no mouse		H [teclado]
24	Alcançar botão "Dimension"	M	P [botão]
25	Clicar no botão "Dimension"		K [click]
26	Apontar e clicar em duas linhas para criar uma "constraint" entre elas	2	P [linhas]
27	Apontar e clicar em duas linhas para criar uma "constraint" entre elas	2	K [click]
28	Posicionar a cota		P [linhas]
29	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
30	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
31	Digitar distância entre as linhas (250)	3	K [250]
32	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
33	Posicionar mão no mouse	M	H [teclado]
34	Alcançar botão "Zoom All"		P [botão]
35	Clicar no botão "Zoom All"		K [click]

Atividade 3.1 - Continuação na próxima página

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
36	Apontar e clicar em duas linhas para criar uma "constraint" entre elas	2	P [linhas]
37	Apontar e clicar em duas linhas para criar uma "constraint" entre elas	2	K [click]
38	Posicionar a cota		P [linhas]
39	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
40	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
41	Digitar distância entre as linhas (350)	3	K [350]
42	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
43	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
44	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	P [nós]
45	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	K [click]
46	Posicionar a cota		P [linhas]
47	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
48	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
49	Digitar distância entre os nós da linha para estabelecer seu comprimento (270)	3	K [270]
50	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
51	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
52	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	P [nós]
53	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	K [click]
54	Posicionar a cota		P [linhas]
55	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
56	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
57	Digitar distância entre os nós da linha para estabelecer seu comprimento (220)	3	K [220]
58	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
59	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
60	Clicar no botão "Horizontal Constraint"		K [click]
61	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (1/2)	2	P [nós]
62	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (1/2)	2	K [click]
63	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (2/2)	2	P [nós]
64	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (2/2)	2	K [click]
65	Alcançar botão "Finish Sketch"		P [botão]
66	Clicar no botão "Finish Sketch"		K [click]
67	Alcançar botão "Zoom All"		P [botão]
68	Clicar no botão "Zoom All"		K [click]
69	Alcançar botão "Plane" (para abrir opções em combobox)	M	P [botão]
70	Clicar no botão "Plane"		K [click]
71	Alcançar botão "Offset from Plane"		P [botão]
72	Clicar no botão "Offset from Plane"		K [click]
73	Alcançar opção Origin - na barra lateral - para abrir os planos de desenho dentro de Pórtico		P [botão]
74	Clicar na opção "Origin"		K [click]
75	Alcançar opção "XY Plane" (onde foi criado o sketch) na lista da barra de ferramentas lateral		P [botão]
76	Clicar na opção "XY Plane"		K [click]
77	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
78	Digitar distância entre os nós da linha para estabelecer seu comprimento (400)	3	K [400]
79	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
80	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
81	Alcançar botão "Start 2D Sketch"	M	P [botão]
82	Clicar no botão "Start 2D Sketch"		K [click]
83	Alcançar plano "Work Plane 1" na barra de ferramentas lateral		P [plano]
84	Clicar no plano "Work Plane 1"		K [click]
85	Alcançar botão "Project Geometry"		P [botão]
86	Clicar no botão "Project Geometry"		K [click]
87	Apontar e clicar nas barras para projetá-las ao plano em que se está trabalhando	5	P [nós]
88	Click nas barras	5	K [click]
89	Alcançar botão "Finish Sketch"		P [botão]
90	Clicar no botão "Finish Sketch"		K [click]
91	Alcançar botão "Start 2D Sketch" para acessar ComboBox	M	P [botão]
92	Clicar no botão "Start 2D Sketch" para acessar ComboBox		K [click]
93	Alcançar botão "Start 3D Sketch"		P [botão]
94	Clicar no botão "Start 3D Sketch"		K [click]

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
36	Apontar e clicar em duas linhas para criar uma "constraint" entre elas	2	P [linhas]
37	Apontar e clicar em duas linhas para criar uma "constraint" entre elas	2	K [click]
38	Posicionar a cota		P [linhas]
39	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
40	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
41	Digitar distância entre as linhas (350)	3	K [350]
42	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
43	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
44	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	P [nós]
45	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	K [click]
46	Posicionar a cota		P [linhas]
47	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
48	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
49	Digitar distância entre os nós da linha para estabelecer seu comprimento (270)	3	K [270]
50	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
51	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
52	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	P [nós]
53	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar uma "constraint" entre eles	2	K [click]
54	Posicionar a cota		P [linhas]
55	Clicar na tela quando apontar para o local desejado		K [click]
56	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
57	Digitar distância entre os nós da linha para estabelecer seu comprimento (220)	3	K [220]
58	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
59	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
60	Clicar no botão "Horizontal Constraint"		K [click]
61	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (1/2)	2	P [nós]
62	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (1/2)	2	K [click]
63	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (2/2)	2	P [nós]
64	Apontar e clicar em dois nós de uma das linhas para criar essa "constraint" entre eles (2/2)	2	K [click]
65	Alcançar botão "Finish Sketch"		P [botão]
66	Clicar no botão "Finish Sketch"		K [click]
67	Alcançar botão "Zoom All"		P [botão]
68	Clicar no botão "Zoom All"		K [click]
69	Alcançar botão "Plane" (para abrir opções em combobox)	M	P [botão]
70	Clicar no botão "Plane"		K [click]
71	Alcançar botão "Offset from Plane"		P [botão]
72	Clicar no botão "Offset from Plane"		K [click]
73	Alcançar opção Origin - na barra lateral - para abrir os planos de desenho dentro de Pórtico		P [botão]
74	Clicar na opção "Origin"		K [click]
75	Alcançar opção "XY Plane" (onde foi criado o sketch) na lista da barra de ferramentas lateral		P [botão]
76	Clicar na opção "XY Plane"		K [click]
77	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
78	Digitar distância entre os nós da linha para estabelecer seu comprimento (400)	3	K [400]
79	Pressionar tecla ENTER para aplicar o valor		K [ENTER]
80	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
81	Alcançar botão "Start 2D Sketch"	M	P [botão]
82	Clicar no botão "Start 2D Sketch"		K [click]
83	Alcançar plano "Work Plane 1" na barra de ferramentas lateral		P [plano]
84	Clicar no plano "Work Plane 1"		K [click]
85	Alcançar botão "Project Geometry"		P [botão]
86	Clicar no botão "Project Geometry"		K [click]
87	Apontar e clicar nas barras para projetá-las ao plano em que se está trabalhando	5	P [nós]
88	Click nas barras	5	K [click]
89	Alcançar botão "Finish Sketch"		P [botão]
90	Clicar no botão "Finish Sketch"		K [click]
91	Alcançar botão "Start 2D Sketch" para acessar ComboBox	M	P [botão]
92	Clicar no botão "Start 2D Sketch" para acessar ComboBox		K [click]
93	Alcançar botão "Start 3D Sketch"		P [botão]
94	Clicar no botão "Start 3D Sketch"		K [click]
95	Alcançar botão "Line"		P [botão]

Atividade 3.1 - Continuação na próxima página

Atividade 3.1: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) - Continuação			
#	Descrição	Codificação	
96	Clicar no botão "Line"	K	[click]
97	Apontar e clicar em dois nós de diferentes linhas para criar as barras superiores do pórtico (1/3)	2	P [nós]
98	Apontar e clicar em dois nós de diferentes linhas para criar as barras superiores do pórtico (1/3)	2	K [click]
99	Pressionar tecla ENTER	K	[ENTER]
100	Apontar e clicar em dois nós de diferentes linhas para criar as barras superiores do pórtico (2/3)	2	P [nós]
101	Apontar e clicar em dois nós de diferentes linhas para criar as barras superiores do pórtico (2/3)	2	K [click]
102	Pressionar tecla ENTER	K	[ENTER]
103	Apontar e clicar em dois nós de diferentes linhas para criar as barras superiores do pórtico (3/3)	2	P [nós]
104	Apontar e clicar em dois nós de diferentes linhas para criar as barras superiores do pórtico (3/3)	2	K [click]
105	Pressionar tecla ENTER	K	[ENTER]
106	Alcançar botão "Finish Sketch"	P	[botão]
107	Clicar no botão "Finish Sketch"	K	[click]
108	Alcançar botão "Return"	P	[botão]
109	Clicar no botão "Return"	K	[click]
Fim da Atividade 3.1			

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Frame Analysis"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Frame Analysis"	K	[click]
3	Alcançar botão "Create Simulation"	P	[botão]
4	Clicar no botão "Create Simulation"	K	[click]
5	Alcançar botão "Ok"	P	[botão]
6	Clicar no botão "Ok"	K	[click]
7	Alcançar botão "Custom" na seção Constraint	P	[botão]
8	Clicar no botão "Custom" na seção Constraint	K	[click]
9	Alcançar o nós onde será aplicado engaste (1/2)	M	P [nós]
10	Clicar no nó onde será aplicado engaste (1/2)	K	[click]
11	Alcançar botão "Apply" (1/2)	P	[botão]
12	Clicar no botão "Apply" (1/2)	K	[click]
13	Alcançar o nós onde será aplicado engaste (2/2)	P	[nós]
14	Clicar no nó onde será aplicado engaste (2/2)	K	[click]
15	Alcançar botão "Apply" (2/2)	P	[botão]
16	Clicar no botão "Apply" (2/2)	K	[click]
17	Alcançar ComboBox "Rotation > X - axis"	M	P [combobox]
18	Clicar ComboBox "Rotation > X - axis"	K	[click]
19	Alcançar item "Uplift None"	P	[item]
20	Clicar no item "Uplift None"	K	[click]
21	Alcançar ComboBox "Rotation > Y - axis"	P	[combobox]
22	Clicar ComboBox "Rotation > Y - axis"	K	[click]
23	Alcançar item "Uplift None"	P	[item]
24	Clicar no item "Uplift None"	K	[click]
25	Alcançar ComboBox "Rotation > Z - axis"	P	[combobox]
26	Clicar ComboBox "Rotation > Z - axis"	K	[click]
27	Alcançar item "Uplift None"	P	[item]
28	Clicar no item "Uplift None"	K	[click]
29	Alcançar botão "Define Constraint Origin"	M	P [botão]
30	Clicar no botão "Define Constraint Origin"	K	[click]
31	Alcançar o nós onde será aplicado o apoio "duplo" (1/2)	P	[nós]
32	Clicar no nó onde será aplicado apoio "duplo" (1/2)	K	[click]
33	Alcançar botão "Apply" (1/2)	P	[botão]
34	Clicar no botão "Apply" (1/2)	K	[click]
35	Alcançar o nós onde será aplicado o apoio "duplo" (2/2)	P	[nós]
36	Clicar no nó onde será aplicado apoio "duplo" (2/2)	K	[click]
37	Alcançar botão "Apply" (2/2)	P	[botão]
38	Clicar no botão "Apply" (2/2)	K	[click]
39	Alcançar ComboBox "Displacement > X - axis"	M	P [combobox]
40	Clicar ComboBox "Displacement > X - axis"	K	[click]
41	Alcançar item "Uplift None"	P	[item]
Atividade 4 - Continuação na próxima página			

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste) - Continuação		
#	Descrição	Codificação
42	Clicar no item "Uplift None"	K [click]
43	Alcançar ComboBox "Displacement > Z - axis"	P [combobox]
44	Clicar ComboBox "Displacement > Z - axis"	K [click]
45	Alcançar item "Uplift None"	P [item]
46	Clicar no item "Uplift None"	K [click]
47	Alcançar botão "Define Constraint Origin"	M P [botão]
48	Clicar no botão "Define Constraint Origin"	K [click]
49	Alcançar o nós onde será aplicado o apoio simples (1/2)	P [nós]
50	Clicar no nó onde será aplicado apoio simples (1/2)	K [click]
51	Alcançar botão "Apply" (1/2)	P [botão]
52	Clicar no botão "Apply" (1/2)	K [click]
53	Alcançar o nós onde será aplicado o apoio simples (2/2)	P [nós]
54	Clicar no nó onde será aplicado apoio simples (2/2)	K [click]
55	Alcançar botão "Apply" (2/2)	P [botão]
56	Clicar no botão "Apply" (2/2)	K [click]
57	Alcançar botão "x" para fechar	P [botão]
58	Clicar no botão "x" para fechar	K [click]
Fim da Atividade 4		

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Force"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Force"		K [click]
3	Alcançar local aproximado para lançamento da carga na barra (1/2)		P [barra]
4	Clicar no local aproximado para lançamento da carga na barra (1/2)		K [click]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Digitar distância da carga para posicionar a força (140)	3	K [140]
7	Pressionar tecla ENTER (2x)	2	K [ENTER]
8	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
9	Apontar, na barra lateral, para "Loads"		P [lista]
10	Clicar em "Loads"		K [click]
11	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Force:1"		P [lista]
12	Duplo clique em "Force:1"		K _s [dmc]
13	Apontar para o botão "Define Direction"		P [botão]
14	Clicar no botão "Define Direction"		K [click]
15	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta		P [barra]
16	Clicar na barra horizontal		K [click]
17	Apontar para o botão "Flip Load Direction"		P [botão]
18	Clicar no botão "Flip Load Direction"		K [click]
19	Apontar para o valor numérico no campo "Magnitude"		P [botão]
20	Duplo clique no valor para selecioná-lo		K _s [dmc]
21	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
22	Digitar valor da força (8000)	4	K [8000]
23	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
24	Alcançar botão "Ok"		P [botão]
25	Clicar no botão "Ok"		K [click]
26	Alcançar botão "Force"		P [botão]
27	Clicar no botão "Force"		K [click]
28	Alcançar local aproximado para lançamento da carga na barra (2/2)		P [barra]
29	Clicar no local aproximado para lançamento da carga na barra (2/2)		K [click]
30	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
31	Digitar distância da carga para posicionar a força (140)	3	K [140]
32	Pressionar tecla ENTER (2x)	2	K [ENTER]
33	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
34	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Force:2"		P [lista]
35	Duplo clique em "Force:2"		K _s [dmc]
36	Apontar para o botão "Define Direction"		P [botão]
37	Clicar no botão "Define Direction"		K [click]
38	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta		P [barra]
39	Clicar na barra horizontal		K [click]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
40	Apontar para o botão "Flip Load Direction"	P [botão]
41	Clicar no botão "Flip Load Direction"	K [click]
42	Apontar para o valor numérico no campo "Magnitude"	P [botão]
43	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
44	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
45	Digitar valor da força (8000)	4 K [8000]
46	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
47	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
48	Clicar no botão "Ok"	K [click]
49	Alcançar botão "Force"	M P [botão]
50	Clicar no botão "Force"	K [click]
51	Alcançar nó para lançamento da carga concentrada (1/2)	P [barra]
52	Clicar nó para lançamento da carga concentrada (1/2)	K [click]
53	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
54	Digitar valor da magnitude da força (8000)	4 K [8000]
55	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
56	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
57	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Force:3"	P [lista]
58	Duplo clique em "Force:3"	K _s [dmc]
59	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
60	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
61	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
62	Clicar na barra horizontal	K [click]
63	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
64	Clicar no botão "Ok"	K [click]
65	Alcançar botão "Force"	P [botão]
66	Clicar no botão "Force"	K [click]
67	Alcançar nó para lançamento da carga concentrada (2/2)	P [barra]
68	Clicar nó para lançamento da carga concentrada (2/2)	K [click]
69	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
70	Digitar valor da magnitude da força (8000)	4 K [8000]
71	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
72	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
73	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Force:4"	P [lista]
74	Duplo clique em "Force:4"	K _s [dmc]
75	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
76	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
77	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
78	Clicar na barra horizontal	K [click]
79	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
80	Clicar no botão "Ok"	K [click]
81	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
82	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
83	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída (1/2)	P [barra]
84	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída (1/2)	K [click]
85	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
86	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
87	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
88	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
89	Alcançar botão "Continuous Load"	P [botão]
90	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
91	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída (2/2)	P [barra]
92	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída (2/2)	K [click]
93	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
94	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
95	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
96	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
97	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
98	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
99	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (1/2)	P [barra]

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
40	Apontar para o botão "Flip Load Direction"	P [botão]
41	Clicar no botão "Flip Load Direction"	K [click]
42	Apontar para o valor numérico no campo "Magnitude"	P [botão]
43	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
44	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
45	Digitar valor da força (8000)	4 K [8000]
46	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
47	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
48	Clicar no botão "Ok"	K [click]
49	Alcançar botão "Force"	M P [botão]
50	Clicar no botão "Force"	K [click]
51	Alcançar nó para lançamento da carga concentrada (1/2)	P [barra]
52	Clicar nó para lançamento da carga concentrada (1/2)	K [click]
53	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
54	Digitar valor da magnitude da força (8000)	4 K [8000]
55	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
56	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
57	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Force:3"	P [lista]
58	Duplo clique em "Force:3"	K _s [dmc]
59	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
60	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
61	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
62	Clicar na barra horizontal	K [click]
63	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
64	Clicar no botão "Ok"	K [click]
65	Alcançar botão "Force"	P [botão]
66	Clicar no botão "Force"	K [click]
67	Alcançar nó para lançamento da carga concentrada (2/2)	P [barra]
68	Clicar nó para lançamento da carga concentrada (2/2)	K [click]
69	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
70	Digitar valor da magnitude da força (8000)	4 K [8000]
71	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
72	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
73	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Force:4"	P [lista]
74	Duplo clique em "Force:4"	K _s [dmc]
75	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
76	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
77	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
78	Clicar na barra horizontal	K [click]
79	Alcançar botão "Ok"	P [botão]
80	Clicar no botão "Ok"	K [click]
81	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
82	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
83	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída (1/2)	P [barra]
84	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída (1/2)	K [click]
85	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
86	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
87	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
88	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
89	Alcançar botão "Continuous Load"	P [botão]
90	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
91	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída (2/2)	P [barra]
92	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída (2/2)	K [click]
93	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
94	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
95	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
96	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
97	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
98	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
99	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (1/2)	P [barra]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
100	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (1/2)	K [click]
101	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
102	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
103	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
104	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
105	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:3"	P [lista]
106	Duplo clique em "Continuous Load:3"	K _s [dmc]
107	Apontar para o valor numérico no campo "Offset"	P [campo]
108	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
109	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
110	Digitar valor da distância para o início da barra (50,99)	5 K [50,99]
111	Pressionar tecla TAB	K [TAB]
112	Pressionar tecla de "seta para a direita"	K [SetaD]
113	Digitar valor para subtrair do valor existente (-50,99)	6 K [-50,99]
114	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
115	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
116	Alcançar botão "Continuous Load"	P [botão]
117	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
118	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (2/2)	P [barra]
119	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (2/2)	K [click]
120	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
121	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
122	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
123	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
124	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:4"	P [lista]
125	Duplo clique em "Continuous Load:4"	K _s [dmc]
126	Apontar para o valor numérico no campo "Offset"	P [campo]
127	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
128	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
129	Digitar valor da distância para o início da barra (50,99)	5 K [50,99]
130	Pressionar tecla TAB	K [TAB]
131	Pressionar tecla de "seta para a direita"	K [SetaD]
132	Digitar valor para subtrair do valor existente (-50,99)	6 K [-50,99]
133	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
134	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
135	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
136	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
137	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (1/2)	P [barra]
138	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (1/2)	K [click]
139	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
140	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
141	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
142	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
143	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:5"	P [lista]
144	Duplo clique em "Continuous Load:5"	K _s [dmc]
145	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
146	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
147	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
148	Clicar na barra horizontal	K [click]
149	Apontar para a caixa "End Magnitude"	P [caixa]
150	Clicar na caixa "End Magnitude"	K [click]
151	Apontar para o valor numérico no campo que preenche o valor "End Magnitude"	P [campo]
152	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
153	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
154	Digitar valor da magnitude da força (12)	2 K [12]
155	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
156	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
157	Alcançar botão "Continuous Load"	P [botão]
158	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
159	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (2/2)	P [barra]
160	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (2/2)	K [click]

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
100	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (1/2)	K [click]
101	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
102	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
103	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
104	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
105	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:3"	P [lista]
106	Duplo clique em "Continuous Load:3"	K _s [dmc]
107	Apontar para o valor numérico no campo "Offset"	P [campo]
108	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
109	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
110	Digitar valor da distância para o início da barra (50,99)	5 K [50,99]
111	Pressionar tecla TAB	K [TAB]
112	Pressionar tecla de "seta para a direita"	K [SetaD]
113	Digitar valor para subtrair do valor existente (-50,99)	6 K [-50,99]
114	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
115	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
116	Alcançar botão "Continuous Load"	P [botão]
117	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
118	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (2/2)	P [barra]
119	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra inclinada (2/2)	K [click]
120	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
121	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
122	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
123	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
124	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:4"	P [lista]
125	Duplo clique em "Continuous Load:4"	K _s [dmc]
126	Apontar para o valor numérico no campo "Offset"	P [campo]
127	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
128	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
129	Digitar valor da distância para o início da barra (50,99)	5 K [50,99]
130	Pressionar tecla TAB	K [TAB]
131	Pressionar tecla de "seta para a direita"	K [SetaD]
132	Digitar valor para subtrair do valor existente (-50,99)	6 K [-50,99]
133	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
134	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
135	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
136	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
137	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (1/2)	P [barra]
138	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (1/2)	K [click]
139	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
140	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
141	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
142	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
143	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:5"	P [lista]
144	Duplo clique em "Continuous Load:5"	K _s [dmc]
145	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
146	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
147	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
148	Clicar na barra horizontal	K [click]
149	Apontar para a caixa "End Magnitude"	P [caixa]
150	Clicar na caixa "End Magnitude"	K [click]
151	Apontar para o valor numérico no campo que preenche o valor "End Magnitude"	P [campo]
152	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
153	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
154	Digitar valor da magnitude da força (12)	2 K [12]
155	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
156	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
157	Alcançar botão "Continuous Load"	P [botão]
158	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
159	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (2/2)	P [barra]
160	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (2/2)	K [click]
161	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
162	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
163	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
164	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
165	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:6"	P [lista]
166	Duplo clique em "Continuous Load:6"	K _s [dmc]
167	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
168	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
169	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
170	Clicar na barra horizontal	K [click]
171	Apontar para a caixa "End Magnitude"	P [caixa]
172	Clicar na caixa "End Magnitude"	K [click]
173	Apontar para o valor numérico no campo que preenche o valor "End Magnitude"	P [campo]
174	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
175	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
176	Digitar valor da magnitude da força (12)	2 K [12]
177	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
178	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
179	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
180	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
181	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (1/2)	P [barra]
182	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (1/2)	K [click]
183	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
184	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
185	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
186	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
187	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:7"	P [lista]
188	Duplo clique em "Continuous Load:7"	K _s [dmc]
189	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
190	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
191	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]
192	Clicar na barra horizontal	K [click]
193	Apontar para a caixa "End Magnitude"	P [caixa]
194	Clicar na caixa "End Magnitude"	K [click]
195	Apontar para o valor numérico no campo que preenche o valor "End Magnitude"	P [campo]
196	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
197	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
198	Digitar valor da magnitude da força (12)	2 K [12]
199	Pressionar tecla TAB (4x) para alcançar o campo Offset	4 K [TAB]
200	Digitar valor da distância para a origem da barra (50)	2 K [50]
201	Pressionar tecla TAB	K [TAB]
202	Pressionar tecla de "seta para a direita"	K [SetaD]
203	Digitar valor para subtrair do valor existente (-50)	3 K [-50]
204	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
205	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
206	Alcançar botão "Continuous Load"	M P [botão]
207	Clicar no botão "Continuous Load"	K [click]
208	Alcançar barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (2/2)	P [barra]
209	Clicar na barra para lançamento da primeira carga distribuída - barra vertical (2/2)	K [click]
210	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
211	Digitar valor da magnitude da força (20)	2 K [20]
212	Pressionar tecla ENTER (2x)	2 K [ENTER]
213	Posicionar mão no mouse	H [mouse]
214	Apontar, na barra lateral, dentro da opção "Loads", em "Continuous Load:8"	P [lista]
215	Duplo clique em "Continuous Load:8"	K _s [dmc]
216	Apontar para o botão "Define Direction"	P [botão]
217	Clicar no botão "Define Direction"	K [click]
218	Apontar para a barra horizontal que define a direção correta	P [barra]

Atividade 5 - Continua na próxima página

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
219	Clicar na barra horizontal	K [click]
220	Apontar para a caixa "End Magnitude"	P [caixa]
221	Clicar na caixa "End Magnitude"	K [click]
222	Apontar para o valor numérico no campo que preenche o valor "End Magnitude"	P [campo]
223	Duplo clique no valor para selecioná-lo	K _s [dmc]
224	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
225	Digitar valor da magnitude da força (12)	2 K [12]
226	Pressionar tecla TAB (4x) para alcançar o campo Offset	4 K [TAB]
227	Digitar valor da distância para a origem da barra (50)	2 K [50]
228	Pressionar tecla TAB	K [TAB]
229	Pressionar tecla de "seta para a direita"	K [SetaD]
230	Digitar valor para subtrair do valor existente (-50)	3 K [-50]
231	Pressionar tecla ENTER	K [ENTER]
Fim da Atividade 5		

APÊNDICE C – Levantamento da Carga Cognitiva (KLM-GOMS)

Ftool		M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Total
Atividade 1.1	Qtd. Op.	3	4	7	12	3	0	0	0	0	0	29
	%	10,3%	13,8%	24,1%	41,4%	10,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	1,60	7,70	2,40	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,56
	%	24,5%	9,7%	46,5%	14,5%	4,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 1.2	Qtd. Op.	2	3	5	7	1	0	0	0	0	0	18
	%	11,1%	16,7%	27,8%	38,9%	5,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	1,20	5,50	1,40	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,07
	%	24,4%	10,8%	49,7%	12,6%	2,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.1	Qtd. Op.	2	1	7	16	1	0	0	0	0	0	27
	%	7,4%	3,7%	25,9%	59,3%	3,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	0,40	7,70	3,20	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,27
	%	18,9%	2,8%	54,0%	22,4%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.2	Qtd. Op.	2	3	5	15	1	0	0	0	0	0	26
	%	7,7%	11,5%	19,2%	57,7%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	1,20	5,50	3,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,67
	%	21,3%	9,5%	43,4%	23,7%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 3.1	Qtd. Op.	9	7	19	31	8	5	0	0	2	0	81
	%	11,1%	8,6%	23,5%	38,3%	9,9%	6,2%	0,0%	0,0%	2,5%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	12,15	2,80	20,90	6,20	2,16	14,00	0,00	0,00	2,00	0,00	60,21
	%	20,2%	4,7%	34,7%	10,3%	3,6%	23,3%	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	100,0%
Atividade 4	Qtd. Op.	3	0	10	10	0	0	0	0	0	0	23
	%	13,0%	0,0%	43,5%	43,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	0,00	11,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,05
	%	23,8%	0,0%	64,5%	11,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 5	Qtd. Op.	9	12	32	45	17	0	0	0	0	0	115
	%	7,8%	10,4%	27,8%	39,1%	14,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	12,15	4,80	35,20	9,00	4,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,74
	%	18,5%	7,3%	53,5%	13,7%	7,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

TRAME		M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Total
Atividade 1.1	Qtd. Op.	2	2	3	31	0	0	0	0	0	0	38
	%	5,3%	5,3%	7,9%	81,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	0,80	3,30	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00
	%	20,8%	6,2%	25,4%	47,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 1.2	Qtd. Op.											
	%											
	T. Tot. Op. (s)											
	%											
Atividade 2.1	Qtd. Op.	1	0	4	4	0	0	0	0	0	0	9
	%	11,1%	0,0%	44,4%	44,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	4,40	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,55
	%	20,6%	0,0%	67,2%	12,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.2	Qtd. Op.											
	%											
	T. Tot. Op. (s)											
	%											
Atividade 3.1	Qtd. Op.	13	4	2	78	10	0	0	0	0	0	107
	%	12,1%	3,7%	1,9%	72,9%	9,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	17,55	1,60	2,20	15,60	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,65
	%	44,3%	4,0%	5,5%	39,3%	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 4	Qtd. Op.	1	0	7	8	0	0	0	0	0	0	16
	%	6,3%	0,0%	43,8%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	7,70	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,65
	%	12,7%	0,0%	72,3%	15,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 5	Qtd. Op.	5	12	20	38	5	0	0	0	0	0	80
	%	6,3%	15,0%	25,0%	47,5%	6,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	6,75	4,80	22,00	7,60	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,50
	%	15,9%	11,3%	51,8%	17,9%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Robot		M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Total
Atividade 1.1	Qtd. Op.	3	2	8	38	3	0	0	0	0	0	54
	%	5,6%	3,7%	14,8%	70,4%	5,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	0,80	8,80	7,60	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,06
	%	18,4%	3,6%	39,9%	34,5%	3,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 1.2	Qtd. Op.	3	2	8	38	1	0	0	0	0	0	52
	%	5,8%	3,8%	15,4%	73,1%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	0,80	8,80	7,60	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,52
	%	18,8%	3,7%	40,9%	35,3%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.1	Qtd. Op.	2	2	7	30	3	0	0	0	0	0	44
	%	4,5%	4,5%	15,9%	68,2%	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	0,80	7,70	6,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,01
	%	15,0%	4,4%	42,8%	33,3%	4,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.2	Qtd. Op.	1	2	6	17	2	0	0	0	0	0	28
	%	3,6%	7,1%	21,4%	60,7%	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,80	6,60	3,40	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,69
	%	10,6%	6,3%	52,0%	26,8%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 3.2	Qtd. Op.	4	6	41	79	1	0	0	0	0	0	131
	%	3,1%	4,6%	31,3%	60,3%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	5,40	2,40	45,10	15,80	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,97
	%	7,8%	3,5%	65,4%	22,9%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 4	Qtd. Op.	2	2	16	21	2	0	0	0	0	0	43
	%	4,7%	4,7%	37,2%	48,8%	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	0,80	17,60	4,20	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,84
	%	10,4%	3,1%	68,1%	16,3%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 5	Qtd. Op.	7	20	32	150	23	0	0	0	0	0	232
	%	3,0%	8,6%	13,8%	64,7%	9,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	9,45	8,00	35,20	30,00	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,86
	%	10,6%	9,0%	39,6%	33,8%	7,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

SAP2000		M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Total
Atividade 1.1	Qtd. Op.	2	6	9	27	6	0	0	0	0	0	50
	%	4,0%	12,0%	18,0%	54,0%	12,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	2,40	9,90	5,40	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,02
	%	12,3%	10,9%	45,0%	24,5%	7,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 1.2	Qtd. Op.	3	10	12	23	5	0	0	0	0	0	53
	%	5,7%	18,9%	22,6%	43,4%	9,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	4,00	13,20	4,60	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,20
	%	14,9%	14,7%	48,5%	16,9%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.1	Qtd. Op.	3	2	7	43	2	0	0	0	0	0	57
	%	5,3%	3,5%	12,3%	75,4%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	0,80	7,70	8,60	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,69
	%	18,7%	3,7%	35,5%	39,6%	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.2	Qtd. Op.	3	2	9	22	2	0	0	0	0	0	38
	%	7,9%	5,3%	23,7%	57,9%	5,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	0,80	9,90	4,40	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,69
	%	20,6%	4,1%	50,3%	22,3%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 3.2	Qtd. Op.	9	7	64	90	10	0	0	0	0	0	180
	%	5,0%	3,9%	35,6%	50,0%	5,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	12,15	2,80	70,40	18,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	106,05
	%	11,5%	2,6%	66,4%	17,0%	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 4	Qtd. Op.	1	0	15	15	0	0	0	0	0	0	31
	%	3,2%	0,0%	48,4%	48,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	16,50	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,85
	%	6,5%	0,0%	79,1%	14,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 5	Qtd. Op.	10	15	44	119	10	0	0	0	0	0	198
	%	5,1%	7,6%	22,2%	60,1%	5,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	13,50	6,00	48,40	23,80	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,40
	%	14,3%	6,4%	51,3%	25,2%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Inventor		M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Total
Atividade 1.1	Qtd. Op.	2	5	12	36	3	0	0	0	0	0	58
	%	3,4%	8,6%	20,7%	62,1%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	2,00	13,20	7,20	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,91
	%	10,4%	7,7%	50,9%	27,8%	3,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 1.2	Qtd. Op.	3	5	11	50	1	0	0	0	0	0	70
	%	4,3%	7,1%	15,7%	71,4%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	2,00	12,10	10,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,42
	%	14,3%	7,0%	42,6%	35,2%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.1	Qtd. Op.	3	1	18	19	0	0	0	0	0	0	41
	%	7,3%	2,4%	43,9%	46,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	0,40	19,80	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,05
	%	14,4%	1,4%	70,6%	13,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 2.2	Qtd. Op.	2	0	17	16	0	0	0	0	0	0	35
	%	5,7%	0,0%	48,6%	45,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	2,70	0,00	18,70	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,60
	%	11,0%	0,0%	76,0%	13,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 3.2	Qtd. Op.	8	14	50	89	2	5	0	0	0	0	168
	%	4,8%	8,3%	29,8%	53,0%	1,2%	3,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	10,80	5,60	55,00	17,80	0,54	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,74
	%	10,5%	5,5%	53,5%	17,3%	0,5%	12,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 4	Qtd. Op.	6	0	29	29	0	0	0	0	0	0	64
	%	9,4%	0,0%	45,3%	45,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	8,10	0,00	31,90	5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,80
	%	17,7%	0,0%	69,7%	12,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 5	Qtd. Op.	7	39	69	175	18	0	0	0	0	0	308
	%	2,3%	12,7%	22,4%	56,8%	5,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	9,45	15,60	75,90	35,00	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	140,81
	%	6,7%	11,1%	53,9%	24,9%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

**APÊNDICE D – Passos e cargas cognitivas mensuradas, com KLM-GOMS,
durante a geração da Alternativa 2**

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)																	
#	Descrição	Codificação		#	Qtd	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
1	Alcançar botão "Adicionar Material"	M	P [botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	Clicar no botão "Adicionar Material"		K [click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]	5	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
6	Digitar nome para novo material (Aço CA50)	8	K [AÇO CA50]	6	8	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60
7	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	7	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
8	Digitar valor da tensão de escoamento (50)	2	K [50]	8	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
9	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	9	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
10	Digitar valor da tensão de ruptura (55)	2	K [55]	10	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
11	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	11	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
12	Digitar valor do módulo de elasticidade (210)	3	K [210]	12	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
13	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	13	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
14	Digitar valor do peso específico (78.5)	4	K [78.5]	14	4	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
15	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	15	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
16	Pressionar tecla ENTER para "Adicionar e Utilizar"		K [ENTER]	16	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
17	Posicionar mão no mouse		H [mouse]	17	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
Fim da Atividade 1.1				T.T.Op. (s)		1,35	0,80	1,10	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,45
Obs.: Automaticamente este material criado é adicionado ao projeto e assume posição nos atalhos				%		16,0%	9,5%	13,0%	61,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)																	
#	Descrição	Codificação		#	Qtd	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
1	Alcançar botão "Parâmetros de Materiais"	M	P [botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	Clicar no botão "Parâmetros de Materiais"		K [click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
3	Alcançar botão "Criar novos parâmetros de materiais"		P [botão]	3	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
4	Clicar no botão "Criar novos parâmetros de materiais"		K [click]	4	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	Alcançar botão "Concreto"		P [botão]	5	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
6	Clicar no botão "Concreto"		K [botão]	6	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
7	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]	7	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
8	Digitar nome para novo material (C25)	2	K [25]	8	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
9	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C25)		K _s [C]	9	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
10	Digitar ENTER para sair		K [ENTER]	10	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
11	Posicionar mão no mouse		H [mouse]	11	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
Fim da Atividade 1.2				T.T.Op. (s)		1,35	0,80	3,30	1,20	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,92
				%		19,5%	11,6%	47,7%	17,3%	3,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Atividade 2.1: Definição da 1ª seção (W200x22,5)																	
#	Descrição	Codificação		#	Qty	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
1	Apontar para "Adicionar Seção"	M	P [botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	Clicar no botão "Adicionar Seção"		K [click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
3	Apontar para botão "W200"		P [botão]	3	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
4	Clicar no botão "W200"		K [click]	4	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	Alcançar, na lista de perfis, a opção 3 (W200x22,5)		P [item]	5	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
6	Clicar, na lista de perfis, a opção 3 (W200x22,5)		K [click]	6	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
7	Apontar para "Aço CA50"		P [botão]	7	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
8	Clicar em "Aço CA50"		K [click]	8	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	Alcançar botão "Atribuir à Barra"		P [botão]	5	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
6	Clicar no botão "Atribuir à Barra"		K [click]	6	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Fim da Atividade 2.1				T.T.Op. (s)		1,35	0,00	5,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,85
				%		17,2%	0,0%	70,1%	12,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Atividade 2.2: Definição da 2ª seção (20x25)																	
#	Descrição	Codificação		#	Qty	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
1	Alcançar botão "Criar novas propriedades de seção"	M	P [botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	Clicar no botão "Criar novas propriedades de seção"		K [click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
3	Alcançar a caixa "Parameterized > Rectangle"		P [caixa]	3	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
4	Clicar na caixa "Parameterized > Rectangle"		K [click]	4	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]	5	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
6	Digitar nome para novo material (R20x25)	5	K [20x25]	6	5	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
7	Dos quais 1K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - R20x25)		K _s [R]	7	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
8	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	8	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
9	Digitar novo valor (25)	2	K [25]	9	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
10	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]	10	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
11	Digitar novo valor (20)	2	K [20]	11	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
12	Posicionar mão no mouse		H [mouse]	12	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
13	Alcançar botão "Done"		P [botão]	13	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
14	Clicar no botão "Done"		K [click]	14	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Fim da Atividade 2.2				T.T.Op. (s)		1,35	0,80	3,30	2,80	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,52
				%		15,8%	9,4%	38,7%	32,9%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras)																
#	Descrição	Codificação		#	Qty	M	H	P	K	K _z	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo
1	Alcançar botão "Caixa"	M	P [botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	Clicar no botão "Caixa"		K [click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
3	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]	3	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
4	Digitar valor (0,0,0)	5	K [0;0;0]	8	5	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
5	Pressionar tecla ENTER para aceitar as coordenadas digitadas		K [ENTER]	9	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
6	Digitar valor (400,350,0)	9	K [400;350;0]	10	9	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80
7	Pressionar tecla ENTER para aceitar as coordenadas digitadas		K [ENTER]	11	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
8	Pressionar tecla ENTER para repetir comando anterior ("Caixa")		K [ENTER]	14	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
9	Digitar valor (0,0,0)	5	K [0;0;0]	15	5	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
10	Pressionar tecla ENTER para aceitar as coordenadas digitadas		K [ENTER]	16	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
11	Digitar valor (400,-250,0)	10	K [400;-250;0]	17	10	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
12	Pressionar tecla ENTER para aceitar as coordenadas digitadas		K [ENTER]	18	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
13	Posicionar mão no mouse		H [mouse]	21	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
14	Apontar para o botão "Fechar"		P [botão]	22	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
15	Clicar no botão "Fechar"		K [click]	23	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
16	Apontar para ComboBox "Grupo de Barras"		P [ComboBox]	24	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
17	Clicar na ComboBox para abri-la		K [click]	25	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
18	Selecionar item C25 - R20x25		P [item]	26	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
19	Clicar no item para selecioná-lo		K [click]	27	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
20	Apontar para o botão "Barras"	M	P [botão]	28	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
21	Clicar no botão "Barras"		K [click]	29	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
22	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (1/6)	2	P [nó]	30	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
23	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (1/6)	2	K [click]	31	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
24	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (2/6)	2	P [nó]	32	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
25	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (2/6)	2	K [click]	33	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
26	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (3/6)	2	P [nó]	34	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
27	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (3/6)	2	K [click]	35	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
28	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (4/6)	2	P [nó]	36	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
29	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (4/6)	2	K [click]	37	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
30	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (5/6)	2	P [nó]	38	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
31	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (5/6)	2	K [click]	39	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
32	Apontar para os nós para criar coluna de Concreto (2x) (6/6)	2	P [nó]	40	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
33	Clicar nos nós para criar coluna de Concreto (2x) (6/6)	2	K [click]	41	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
34	Apontar para ComboBox "Grupo de Barras"	M	P [combobox]	42	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
35	Clicar na ComboBox para abri-la		K [click]	43	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
36	Selecionar item C25 - R20x25		P [item]	44	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
37	Clicar no item para selecioná-lo		K [click]	45	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
38	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (1/7)	2	P [nó]	46	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
39	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (1/7)	2	K [click]	47	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
40	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (2/7)	2	P [nó]	48	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20
Atividade 3.2 - Continua na próxima página					Atividade 3.2 - Continua na próxima página											

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras) - Continuação																
#	Descrição	Codificação	#	Qtd	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
41	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (2/7)	2 K [click]	49	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
42	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (3/7)	2 P [nó]	50	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
43	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (3/7)	2 K [click]	51	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
44	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (4/7)	2 P [nó]	52	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
45	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (4/7)	2 K [click]	53	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
46	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (5/7)	2 P [nó]	54	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
47	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (5/7)	2 K [click]	55	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
48	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (6/7)	2 P [nó]	56	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
49	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (6/7)	2 K [click]	57	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
50	Apontar para os nós para criar viga de Aço (2x) (7/7)	2 P [nó]	58	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
51	Clicar nos nós para criar viga de Aço (2x) (7/7)	2 K [click]	59	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
52	Apontar para o botão "Fechar"	P [botão]	60	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
53	Clicar no botão "Fechar"	K [click]	61	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
54	Apontar, na árvore lateral, para Objetos de Apoio	M P [item]	62	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	
55	Clicar com botão auxiliar em Objetos de apoio	K [click]	63	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
56	Apontar para "Ocultar"	K [opção]	64	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
57	Clicar em "Ocultar"	P [click]	65	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
Fim da Atividade 3.2			T.T.Op. (s)	5,40	0,80	39,60	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,80
			%	9,0%	1,3%	66,2%	23,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)																
#	Descrição	Codificação	#	Qtd	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
1	Alcançar botão "Restrições"	M P [botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	
2	Clicar no botão "Restrições"	K [click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
3	Alcançar nós que serão alterados (2x)	2 P [nó]	3	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
4	Clicar nos nós que terão as restrições alteradas (2x)	2 K [click]	4	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
5	Alcançar botão "Apply"	P [botão]	5	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
6	Clicar em "Apply"	K [click]	6	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
7	Alcançar nós que serão alterados (2x)	2 P [nó]	7	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
8	Clicar nos nós que terão as restrições alteradas (2x)	2 K [click]	8	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
9	Alcançar botão de Apoio Duplo	P [botão]	9	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
10	Clicar no botão de Apoio Duplo	K [click]	10	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
11	Alcançar botão "Apply"	P [botão]	11	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
12	Clicar em "Apply"	K [click]	12	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
13	Alcançar nós que serão alterados (2x)	2 P [nó]	13	2	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	
14	Clicar nos nós que terão as restrições alteradas (2x)	2 K [click]	14	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	
15	Alcançar botão de Apoio Simples	P [botão]	15	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
16	Clicar no botão de Apoio Simples	K [click]	16	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
17	Alcançar botão "Apply"	P [botão]	17	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
18	Clicar em "Apply"	K [click]	18	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
19	Apontar para o botão "Fechar"	P [botão]	19	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	
20	Clicar no botão "Fechar"	K [click]	20	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	
Fim da Atividade 4			T.T.Op. (s)	1,35	0,00	14,30	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,25
			%	7,4%	0,0%	78,4%	14,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas.																	
#	Descrição	Codificação		#	Qty	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo	
1	Alcançar botão "Tipos de Carga"	M	P	[botão]	1	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
2	Clicar no botão "Tipos de Carga"		K	[click]	2	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
3	Apontar para o campo "Legenda"		P	[campo]	3	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
4	Click para selecionar o campo		K	[click]	4	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
5	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]	5	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
6	Digitar valor Nome (Peso Próprio)	9	K	[esoprio]	6	9	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80
7	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - P P ó)	3	K _s	[PPó]	7	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81
8	Apertar ENTER		K	[ENTER]	8	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
9	Digitar valor Nome (Carga Permanente)	14	K	[argaermane]	9	14	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80
10	Dos quais 3K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - C P)	2	K _s	[CP]	10	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
11	Posicionar mão no mouse		H	[mouse]	11	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
12	Apontar para o botão "Adicionar e Fechar"		P	[botão]	12	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
13	Clicar no botão "Adicionar e Fechar"		K	[click]	13	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
14	Apontar para o botão "Definição de Carga"	M	P	[botão]	14	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
15	Clicar no botão "Definição de Carga"		K	[click]	15	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
16	Apontar para a aba "Peso Próprio e massa"		P	[aba]	16	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
17	Clicar na aba "Peso Próprio"		K	[click]	17	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
18	Apontar para botão "Selecionar Todas as Barras"		P	[campo]	18	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
19	Clicar no botão "Selecionar Todas as Barras"		K	[click]	19	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
20	Apontar para o botão "Aplicar"		P	[botão]	20	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
21	Clicar no botão "Aplicar"		K	[click]	21	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
22	Apontar para a ComboBox para seleção do Tipo de Carga		P	[ComboBox]	22	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
23	Clicar na ComboBox para abri-la		K	[click]	23	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
24	Apontar para item "Cargas Permanentes"	M	P	[item]	24	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
25	Clicar no item "Cargas Permanentes"		K	[click]	25	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
26	Apontar para a aba "Nó" na janela Definição de Carga		P	[aba]	26	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
27	Clicar na aba "Nó"		K	[click]	27	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
28	Apontar para o botão "Força Nodal"		P	[botão]	28	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
29	Clicar no botão "Força Nodal"		K	[click]	29	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
30	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]	30	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
31	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K	[TAB]	31	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
32	Digitar valor (-8)	2	K	[-8]	32	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
33	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar		K	[ENTER]	33	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
34	Digitar valor das Barras para Aplicar a carga (8 12)	4	K	[8 12]	34	4	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
35	Pressionar tecla ENTER para aplicar		K	[ENTER]	35	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
36	Posicionar mão no mouse	M	H	[mouse]	36	1	1,35	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75
37	Apontar para a aba "Barra" na janela Definição de Carga		P	[aba]	37	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
38	Clicar na aba "Barra"		K	[click]	38	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
39	Apontar para o botão "Força da Barra"		P	[botão]	39	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
40	Clicar no botão "Força da Barra"		K	[click]	40	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
41	Apontar para o campo "F > Y:"		P	[campo]	41	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
42	Clicar no campo "F > Y:"		K	[click]	42	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação															
#	Descrição	Codificação	#	Qty	M	H	P	K	K _z	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo
43	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]	43	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
44	Digitar valor (8)	1 K [8]	44	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
45	Posicionar mão no mouse	H [mouse]	45	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
46	Alcançar caixa "Absoluto"	P [caixa]	46	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
47	Clicar na caixa "Absoluto" para selecioná-la	K [click]	47	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
48	Apontar para o campo "x ="	P [campo]	48	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
49	Clicar no campo "x ="	K [click]	49	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
50	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]	50	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
51	Digitar valor (80)	2 K [80]	51	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
52	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]	52	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
53	Digitar valor (3 4)	3 K [3 4]	53	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
54	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]	54	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
55	Posicionar mão no mouse	H [mouse]	55	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
56	Apontar para o botão "Carga Uniforme"	M P [botão]	56	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
57	Clicar no botão "Carga Uniforme"	K [click]	57	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
58	Apontar para o campo "Z:"	P [campo]	58	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
59	Clicar no campo "Z:"	K [click]	59	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
60	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]	60	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
61	Digitar valor (-2)	2 K [-2]	61	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
62	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]	62	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
63	Digitar valor (10 12)	5 K [10 12]	63	5	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
64	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]	64	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
65	Posicionar mão no mouse	H [mouse]	65	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
66	Apontar para o botão "Carga Trapezoidal"	M P [botão]	66	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
67	Clicar no botão "Carga Trapezoidal"	K [click]	67	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
68	Apontar para o campo "p1 ="	P [campo]	68	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
69	Clicar no campo "p1 ="	K [click]	69	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
70	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]	70	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
71	Digitar valor (-2)	2 K [-2]	71	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
72	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]	72	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
73	Digitar valor (-2)	2 K [-2]	73	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
74	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]	74	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
75	Digitar valor (0,2)	3 K [0,2]	75	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
76	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]	76	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
77	Digitar valor (0,8)	3 K [0,2]	77	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
78	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]	78	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
79	Digitar valor (9 11)	4 K [9 11]	79	4	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
80	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]	80	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
81	Posicionar mão no mouse	H [mouse]	81	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
82	Apontar para o botão "Carga Trapezoidal"	M P [botão]	82	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
83	Clicar no botão "Carga Trapezoidal"	K [click]	83	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
84	Alcançar caixa "Direção da ação da carga > Y"	P [caixa]	84	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5 - Continua na próxima página

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação															
#	Descrição	Codificação	#	Qtd	M	H	P	K	K _s	D	R	SC	PAN	Z	Tot. Passo
85	Clicar na caixa "Direção da ação da carga > Y" para selecioná-la	K [click]	85	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
86	Apontar para o campo "p1 ="	P [campo]	86	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
87	Clicar no campo "p1 ="	K [click]	87	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
88	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]	88	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
89	Digitar valor (1,2)	3 K [1,2]	89	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
90	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]	90	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
91	Digitar valor (2)	1 K [2]	91	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
92	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo (2x)	2 K [TAB]	92	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
93	Digitar valor (0)	1 K [0]	93	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
94	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]	94	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
95	Digitar valor (1)	1 K [1]	95	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
96	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]	96	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
97	Digitar valor (5 7)	3 K [5 7]	97	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
98	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]	98	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
99	Posicionar mão no mouse	H [mouse]	99	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
100	Apontar para o botão "CargaTrapezoidal"	M P [botão]	100	1	1,35	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45
101	Clicar no botão "Carga Trapezoidal"	K [click]	101	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
102	Alcançar caixa "Coordenadas > Absoluto"	P [caixa]	102	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
103	Clicar na caixa "Coordenadas > Absoluto" para selecioná-la	K [click]	103	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
104	Apontar para o campo "x1"	P [campo]	104	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
105	Clicar no campo "x1"	K [click]	105	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
106	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]	106	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
107	Digitar valor (50)	2 K [50]	107	2	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
108	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo	K [TAB]	108	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
109	Digitar valor (220)	3 K [220]	109	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
110	Pressionar tecla ENTER para aceitar e fechar	K [ENTER]	110	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
111	Digitar valor (6 8)	3 K [6 8]	111	3	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
112	Pressionar tecla ENTER para aplicar	K [ENTER]	112	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
113	Posicionar mão no mouse	H [mouse]	113	1	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
114	Apontar para o botão "Fechar" na janela Definição de Carga	P [botão]	114	1	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10
115	Clicar no botão "Fechar"	K [click]	115	1	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Fim da Atividade 5			T.T.Op. (s)		10,80	6,40	29,70	24,60	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,85
			%		14,8%	8,8%	40,8%	33,8%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

APÊNDICE E – KLM-GOMS da Alternativa 3 / Protótipo Final

Atividade 1.1: Configuração do 1o material (Aço)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar botão "Adicionar Material"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Adicionar Material"		K [click]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Digitar nome para novo material (Aço CA50)	8	K [AÇO CA50]
7	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
8	Digitar valor da tensão de escoamento (50)	2	K [50]
9	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
10	Digitar valor da tensão de ruptura (55)	2	K [55]
11	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
12	Digitar valor do módulo de elasticidade (210)	3	K [210]
13	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
14	Digitar valor do peso específico (78.5)	4	K [78.5]
15	Pressionar tecla TAB para mudar para o próximo campo		K [TAB]
16	Pressionar tecla ENTER para "Adicionar e Utilizar"		K [ENTER]
17	Posicionar mão no mouse		H [mouse]
Fim da Atividade 1.1			
Obs.: Automaticamente este material criado é adicionado ao projeto e assume posição nos atalhos			

Atividade 1.2: Configuração do 2o material (Concreto)			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar aba "Concreto"	M	P [aba]
2	Clicar na aba "Concreto"		K [click]
3	Alcançar item "ABNT-C25 (Grupo I)"		P [item]
4	Clicar no item "ABNT-C25 (Grupo I)"		K [click]
5	Alcançar botão "Utilizar e Fechar"		P [botão]
6	Clicar botão "Utilizar e Fechar"		K [click]
Fim da Atividade 1.2			
Obs.: Automaticamente este material criado é adicionado ao projeto e assume posição nos atalhos			

Atividade 2.1: Definição da 1a seção (W200x22,5)			
#	Descrição	Codificação	
1	Apontar para "Adicionar Seção"	M	P [botão]
2	Clicar no botão "Adicionar Seção"		K [click]
3	Apontar para botão "W200"		P [botão]
4	Clicar no botão "W200"		K [click]
5	Alcançar, na lista de perfis, a opção 3 (W200x22,5)		P [item]
6	Clicar, na lista de perfis, a opção 3 (W200x22,5)		K [click]
7	Apontar para "Aço CA50"		P [botão]
8	Clicar em "Aço CA50"		K [click]
5	Alcançar botão "Atribuir à Barra"		P [botão]
6	Clicar no botão "Atribuir à Barra"		K [click]
Fim da Atividade 2.1			
Obs.: Automaticamente esta seção criada é adicionada ao projeto e assume posição nos atalhos			

Atividade 2.2: Definição da 2a seção (R20x25)			
#	Descrição	Codificação	
1	Apontar para a aba "Retangulares"	M	P [aba]
2	Clicar na aba "Retangulares"		K [click]
5	Apontar para Botão "B20"		P [botão]
6	Clicar no Botão "B20"		K [click]
7	Apontar para item "R20x25"		P [item]
8	Clicar em "R20x25"		K [click]
9	Apontar para Botão "ABNT C25"		P [botão]
10	Clicar no Botão "ABNT C25"		K [click]
11	Apontar para Botão "Atribuir à Barra"		P [botão]
12	Clicar no Botão "Atribuir à Barra"		K [click]
13	Apontar para Botão "Fechar"		P [botão]
14	Clicar no Botão "Fechar"		K [click]
Fim da Atividade 2.2			
Obs.: Automaticamente esta seção criada é adicionada ao projeto e assume posição nos atalhos			

Design no desenvolvimento de um projeto de interface: aprimorando o processo de modelagem em programas de análise de estruturas tridimensionais por barras

Atividade 3.2: Desenhar a geometria da estrutura (Pórtico 3D com 13 barras)				
#	Descrição		Codificação	
1	Alcançar botão "Caixa"	M	P	[botão]
2	Clicar no botão "Caixa"		K	[click]
3	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
4	Digitar valor (0,0,0)	5	K	[0,0,0]
5	Pressionar tecla ENTER para mudar para o próximo ponto		K	[ENTER]
6	Digitar valor (250,400,220)	11	K	[250,400,220]
7	Pressionar tecla ENTER para aceitar		K	[ENTER]
8	Digitar valor (250,400,0)	9	K	[250,400,0]
9	Pressionar tecla ENTER para mudar para o próximo ponto		K	[ENTER]
10	Digitar valor (600,400,270)	11	K	[600,400,270]
11	Pressionar duas vezes a tecla ENTER para aceitar e sair da função		Ks	[ENTER]
12	Posicionar mãos no mouse		H	[mouse]
13	Alcançar aba "Perspectiva"	M	P	[aba]
14	Clicar na aba "Perspectiva"		K	[click]
15	Alcançar botão "Linha"		P	[botão]
16	Clicar no botão "Linha"		K	[click]
17	Apontar para vértices para criar as linhas que gerarão as vigas inclinadas (1ª linha)	2	P	[botão]
18	Clicar nos vértices	2	K	[click]
19	Apontar para vértices para criar as linhas que gerarão as vigas inclinadas (2ª linha)	2	P	[botão]
20	Clicar nos vértices	2	K	[click]
21	Clicar no botão auxiliar para sair da função	2	K	[AUX]
22	Alcançar Linhas que não serão utilizadas	10	P	[botão]
23	Clicar nas linhas que se deseja deletar	10	K	[click]
24	Posicionar mãos no teclado		H	[teclado]
25	Pressionar tecla DELETE para aceitar		K	[DELETE]
26	Posicionar mãos no mouse	M	H	[mouse]
27	Apontar para Linhas que se deseja Converter em Barras (para as vigas I)	7	P	[linhas]
28	Clicar nas Linhas que se deseja Converter	7	K	[click]
29	Alcançar botão "Converter para Barra / L->B"		P	[botão]
30	Clicar no botão "Converter para Barra / L->B"		K	[click]
31	Alcançar ComboBox "Barras"		P	[ComboBox]
32	Clicar ca ComboBox para expandi-la		K	[click]
33	Apostar para o Item "R20x25 - ABNT C25"		P	[item]
34	Clicar no Item "R20x25 - ABNT C25"		K	[click]
35	Apontar para Linhas que se deseja Converter em Barras (para os pilares retangulares)	6	P	[linhas]
36	Clicar nas Linhas que se deseja Converter	6	K	[click]
37	Alcançar botão "Converter para Barra"		P	[botão]
38	Clicar no botão "Converter para Barra"		K	[click]
Fim da Atividade 3.2				

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste)				
#	Descrição		Codificação	
217	Alcançar botão "Restrições"	M	P	[botão]
218	Clicar no botão "Restrições"		K	[click]
219	Apontar para um nó para criar o primeiro tipo de restrição		P	[nó]
220	Clicar no nó (cria apoio simples, pois este é o pré-configurado inicial)		K	[click]
221	Clicar botão auxiliar para aceitar		K	[aux]
222	Apontar para o outro nó que usará esta restrição		P	[nó]
223	Clicar no nó		K	[click]
224	Clicar botão auxiliar para aceitar		K	[aux]
225	Apontar para um nó para criar o segundo tipo de restrição		P	[nó]
226	Clicar no nó		K	[click]
227	Apontar para Apoio "triplo"		P	[nó]
228	Clicar no símbolo do Apoio "triplo"		K	[click]
229	Apontar para o outro nó que usará esta restrição		P	[nó]
230	Clicar no nó		K	[click]
231	Clicar botão auxiliar para aceitar		K	[aux]
232	Apontar para um nó para criar o terceiro tipo de restrição		P	[nó]
Atividade 4 - Continua na próxima página				

Atividade 4: Definição das restrições (apoio simples, duplo e engaste) - Continuação		
#	Descrição	Codificação
233	Clicar no nó	K [click]
234	Apontar para Engaste	P [nó]
235	Clicar no símbolo de Engaste	K [click]
236	Apontar para o outro nó que usará esta restrição	P [nó]
237	Clicar no nó	K [click]
238	Duplo-click no botão auxiliar para aceitar	Ks [aux]
Fim da Atividade 4		

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas.		
#	Descrição	Codificação
1	Alcançar botão "Configurar Carregamento"	M P [menu]
2	Clicar no Botão "Configurar Carregamento"	K [click]
3	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
4	Digitar valor "Cargas Permanentes"	16 K [argas ermar]
5	Dos quais 2K de 0,27 segundos (John e Newell (1987) para comandos abreviados - Cargas Permanent	2 K _s [CP]
6	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
7	Alcançar botão "Adicionar"	P [botão]
8	Clicar no Botão "Adicionar"	K [click]
9	Alcançar botão "Fechar"	P [botão]
10	Clicar no Botão "Fechar"	K [click]
11	Alcançar botão "Força Nodal"	M P [botão]
12	Clicar no botão "Força Nodal"	K [click]
13	Alcançar o nó que a carga será aplicada	1 P [nó]
14	Clicar no nó	1 K [click]
15	Alcançar seta para indicar carga na direção X	P [Campo]
16	Clicar na seta	K [click]
17	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
18	Digitar valor "-8"	2 K [-8]
19	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
20	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
21	Alcançar o outro nó em que será aplicado	P [nó]
22	Selecionar o outro nó	K [click]
23	Duplo click botão auxiliar para aceitar e fechar a função	1 K _s [dmc]
24	Alcançar botão "Força Pontual"	M P [botão]
25	Clicar no botão "Força Pontual"	K [click]
26	Alcançar na barra que o Primeiro Tipo de carga será aplicado	1 P [barra]
27	Duplo clique na barra para selecioná-la e escolher um ponto de carga pontual	1 Ks [click]
28	Alcançar "Eixo X"	1 P [eixo]
29	Clicar no "Eixo X"	1 K [click]
30	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
31	Digitar valor "8"	1 K [8]
32	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
33	Digitar valor "80"	2 K [80]
34	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
35	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
36	Alcançar a outra barra em que será aplicado	P [barra]
37	Selecionar a outra barra	K [click]
38	Duplo click botão auxiliar para aceitar e fechar a função	1 K _s [dmc]
39	Alcançar botão "Distribuída"	M P [botão]
40	Clicar no botão "Distribuída"	K [click]
41	Clicar na barra para configurar Primeiro Tipo de carga distribuída que será aplicada	1 K [click]
42	Apontar para selecionar dois pontos de carga (nós iniciais e finais da barra)	2 P [barra]
43	Clicar em dois pontos (nós)	2 K [click]
44	Alcançar "Eixo X" (já selecionado previamente)	1 P [eixo]
45	Clicar no "Eixo X" (já selecionado previamente)	1 K [click]
46	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
47	Digitar valor "1.2;2"	5 K [1.2;2]
Atividade 5 - Continua na próxima página		

Atividade 5: Definição das cargas. 4 concentradas e 8 distribuídas - Continuação		
#	Descrição	Codificação
48	Pressionar ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
49	Pressionar tecla ENTER para aceitar (nós selecionados, sem necessidade de configurar distâncias)	1 K [ENTER]
50	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
51	Alcançar a outra barra em que será aplicado	P [barra]
52	Selecionar a outra barra	K [click]
53	Click botão auxiliar para aceitar e fechar a função	K [AUX]
54	Alcançar a barra que o Segundo Tipo de carga distribuída será aplicada	M 1 P [barra]
55	Clicar na barra	1 K [click]
56	Apontar para selecionar dois pontos de carga	2 P [barra]
57	Clicar em dois pontos	2 K [click]
58	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
59	Digitar valor "50"	2 K [50]
60	Pressionar tecla TAB para ir para a 3a distância (a segunda foi pulada)	2 K [TAB]
61	Digitar valor "50"	2 K [50]
62	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
63	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
64	Alcançar a outra barra em que será aplicado	P [barra]
65	Selecionar a outra barra	K [click]
66	Clicar no botão auxiliar para aceitar	K [AUX]
67	Alcançar a barra que o Terceiro Tipo de carga distribuída será aplicada	M 1 P [barra]
68	Clicar na barra	1 K [click]
69	Apontar para selecionar dois pontos de carga (nós iniciais e finais da barra)	2 P [barra]
70	Clicar em dois pontos (nós)	2 K [click]
71	Alcançar "Eixo X" (retirar seleção)	1 P [eixo]
72	Clicar no "Eixo X" (retirar seleção)	1 K [click]
73	Alcançar "Eixo Z"	1 P [eixo]
74	Clicar no "Eixo Z"	1 K [click]
75	Posicionar mãos no teclado	H [teclado]
76	Digitar valor "-2"	2 K [-2]
77	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
78	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
79	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
80	Alcançar a outra barra em que será aplicado	P [barra]
81	Selecionar a outra barra	K [click]
82	Clicar no botão auxiliar para aceitar	K [AUX]
83	Alcançar a barra que o Quarto Tipo de carga distribuída será aplicada	M 1 P [barra]
84	Clicar na barra	1 K [click]
85	Apontar para selecionar dois pontos de carga	2 P [barra]
86	Clicar em dois pontos	2 K [click]
87	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
88	Digitar valor "50"	2 K [50]
89	Pressionar tecla TAB para ir para a 3a distância (a segunda foi pulada)	2 K [TAB]
90	Digitar valor "50"	2 K [50]
91	Pressionar tecla ENTER para aceitar	1 K [ENTER]
92	Posicionar mãos no mouse	H [mouse]
93	Alcançar a outra barra em que será aplicado	P [barra]
94	Selecionar a outra barra	K [click]
95	Duplo click botão auxiliar para aceitar e fechar a função	1 K _s [dmc]

Fim da Atividade 5

Atividade S/N <i>Configuração de cargas "Padrão" para serem rechamadas</i>			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar nó ou barra que será utilizada para gravar uma carga padrão	M	P [barra]
2	Clicar nesta barra ou nó		K [click]
3	Alcançar botão "Criar Grupo de Cargas Padrão"		P [botão]
4	Clicar no botão "Criar Grupo de Cargas Padrão"		K [click]
5	Posicionar mãos no teclado		H [teclado]
6	Preencher valor "Xx,x kN"	7	K [xx,x kN]
7	Apertar tecla ENTER	1	K [ENTER]
8	Posicionar mãos no mouse		H [mouse]
<i>Fim da Atividade S/N</i>			
Atividade S/N <i>Configuração de cargas "Padrão" para serem rechamadas</i>			
#	Descrição	Codificação	
1	Alcançar Botão "Aplicar Grupo de Cargas Padrão"	M	P [ComboBox]
2	Clicar no Botão		K [click]
3	Apontar para o Grupo desejado		P [item]
4	Clicar no Grupo desejado		K [click]
5	Selecionar nós ou barras	4	P [barra]
6	Clicar nos nós ou barras	4	K [click]
7	Duplo click no botão auxiliar para aplicar e fechar		K _s [aux]
<i>Fim da Atividade S/N</i>			

Alternativa 3 / Protótipo		M	H	P	K	Ks	Total
Atividade 1.1	Qtd. Op.	1	2	1	26	0	30
	%	3,3%	6,7%	3,3%	86,7%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,80	1,10	5,20	0,00	8,45
	%	16,0%	9,5%	13,0%	61,5%	0,0%	100,0%
Atividade 1.2	Qtd. Op.	1	0	3	3	0	7
	%	14,3%	0,0%	42,9%	42,9%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	3,30	0,60	0,00	5,25
	%	25,7%	0,0%	62,9%	11,4%	0,0%	100,0%
Atividade 2.1	Qtd. Op.	1	0	5	5	0	11
	%	9,1%	0,0%	45,5%	45,5%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	5,50	1,00	0,00	7,85
	%	17,2%	0,0%	70,1%	12,7%	0,0%	100,0%
Atividade 2.2	Qtd. Op.	1	0	6	6	0	13
	%	7,7%	0,0%	46,2%	46,2%	0,0%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	6,60	1,20	0,00	9,15
	%	14,8%	0,0%	72,1%	13,1%	0,0%	100,0%
Atividade 3.2	Qtd. Op.	3	4	34	76	1	118
	%	2,5%	3,4%	28,8%	64,4%	0,8%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	4,05	1,60	37,40	15,20	0,27	58,52
	%	6,9%	2,7%	63,9%	26,0%	0,5%	100,0%
Atividade 4	Qtd. Op.	1	0	9	12	1	23
	%	4,3%	0,0%	39,1%	52,2%	4,3%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	1,35	0,00	9,90	2,40	0,27	13,92
	%	9,7%	0,0%	71,1%	17,2%	1,9%	100,0%
Atividade 5	Qtd. Op.	7	12	30	84	6	139
	%	5,0%	8,6%	21,6%	60,4%	4,3%	100,0%
	T. Tot. Op. (s)	9,45	4,80	33,00	16,80	1,62	65,67
	%	14,4%	7,3%	50,3%	25,6%	2,5%	100,0%