

Rafael Zanelato Ledo

**MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO
PROCEDIMENTAL DE ALTO DESEMPENHO PARA
ATIVIDADE DE MODELAGEM DIGITAL 3D**

Tese submetida ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia e Gestão do
Conhecimento da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Doutor em Engenharia e
Gestão do Conhecimento.

Orientadora: Profa. PhD Alice
Theresinha Cybis Pereira

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ledo, Rafael Zanelato
MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO PROCEDIMENTAL
DE ALTO DESEMPENHO PARA ATIVIDADE DE MODELAGEM DIGITAL 3D
/ Rafael Zanelato Ledo ; orientadora, Alice Theresinha
Cybis Pereira - Florianópolis, SC, 2016.
190 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação
Multidisciplinar em Saúde.

Inclui referências

1. Saúde. 2. Modelagem Digital 3D. 3. Conhecimento . 4.
Expertise. 5. CAD. I. Pereira, Alice Theresinha Cybis. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação Multidisciplinar em Saúde. III. Título.

Rafael Zanelato Ledo

**MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO
PROCEDIMENTAL DE ALTO DESEMPENHO PARA
ATIVIDADE DE MODELAGEM DIGITAL 3D**

Esta Documento de Defesa foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento “, e aprovado na sua forma final pelo programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento.

Florianópolis, 18 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Roberto Carlos Pacheco
Coordenador do Curso

Banca Examinadora da Defesa de Doutorado:

Prof.^a, PhD Alice Theresinha Cybis Pereira
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Tarcísio Vanzin,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Francisco Antonio Pereira Fialho
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Emilio Takase
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a, Dr. Arivaldo Leão de Amorim
Universidade Federal da Bahia

Prof.^a, Dr. Benamy Turkienicz
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à você Mateus. Te amo filho.

AGRADECIMENTO

À Deus, por tudo,

À toda minha família e em especial à Heloisa, companheira de todos os momentos, pelo apoio e incentivo constante diante de todas às dificuldades ocorridas durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora professora Alice Theresinha Cybis Pereira, pela generosidade de ter aceito me orientar com o doutorado em andamento e pela amizade e respeito construída durante todos estes anos de pesquisa acadêmica em conjunto.

Ao professor Tarcísio Vanzin, pelo incentivo desde sempre na realização do doutoramento, em especial no EGC.

Ao membros da banca pelas contribuições que possibilitaram a correção e o aperfeiçoamento desta tese.

Aos acadêmicos do Ceres-Udesc Thiago Silva e Anaíze Jacinto, bolsistas do Laboratório de Informática, pela ajuda imprescindível na contabilização e organização dos dados desta tese.

Aos colegas do EGC pelos momentos compartilhados dentro da Pós Graduação.

.

*“Tem gente que passa a vida inteira travando a inútil luta com os galhos sem saber que é lá no tronco que está o coringa do baralho”
(Raul Seixas em As aventuras de Raul Seixas na cidade de Thor)*

RESUMO

O avanço da informática nas últimas décadas trouxe mudanças significativas para as aplicações em computação gráfica. Uma destas aplicações é o desenvolvimento de modelos digitais tridimensionais que são utilizadas como ferramenta para desenvolvimento de projetos nas áreas de Arquitetura, Design e Engenharia. O modelo digital 3D, desenvolvido em *softwares* CAD, é central no desenvolvimento do projeto contemporâneo pois a partir dele diversas outras ações são realizadas como a análise bioclimática e a fabricação digital. Com base neste contexto, é fundamental produzir modelos 3D com eficácia e eficiência. O modelo deve ser correto nas suas dimensões (eficácia) e produzido no menor tempo possível (eficiência). Para conseguir produzir modelos eficazes e eficientes é necessário atingir a *expertise* na tarefa de modelagem em softwares CAD. Porém, na atividade de modelagem, os profissionais apresentam diferentes desempenhos, cujas razões ainda carecem de respostas acadêmicas. Em revisão sistemática realizada, foi verificado três lacunas nas pesquisas direcionadas à *expertise* em CAD. A primeira é a ausência de uma pesquisa que identificasse as ações que mais impactam o tempo total da tarefa. A segunda é a falta de uma classificação da *expertise*. A terceira é a ausência da identificação do padrão de comportamento do usuário de CAD que o conduz a perda ou ganho de tempo na tarefa. Através da análise de um teste de modelagem aplicado à 82 estudantes, foi possível identificar, sistematizar e organizar as informações necessárias para responder às lacunas identificadas na literatura. Foi identificado que são três ações que mais impactam o tempo total da tarefa: o número de comandos dados, o tempo parado sem modelar e a velocidade de execução dos comandos. Foi identificado também os padrões de comportamento entre os usuários de CAD que conduzem a melhor produtividade e proposto um sistema de classificação da *expertise* com base nas informações obtidas na pesquisa.

Palavras-chave: Modelagem Digital 3D. CAD. *Expertise*. Conhecimento Procedimental. Conhecimento Estratégico.

ABSTRACT

The advancement of information technology in recent decades has brought significant changes to the applications in computer graphics. One of these applications is the development of three-dimensional digital models that used as a tool for development projects in the areas of Architecture, Design and Engineering. The 3D digital model developed in CAD software, is central in the development of contemporary design because from it a number of other actions performed as bioclimatic analysis and digital manufacturing. Based on this background, it is essential to produce 3D models effectively and efficiently. The model must be correct in its dimensions (effectiveness) and produced in the shortest possible time (efficiency). To produce effective and efficient models is necessary to achieve expertise in the modeling task in CAD software. However, in the modeling activity, professionals have different performances, whose reasons still lack academic answers. In systematic review, it was found three gaps in research directed towards expertise in CAD. The first is the absence of a survey to identify the actions that most affect the total task time. The second is the lack of an expertise classification. The third is the identification of common behaviors that leads the CAD user to loss or gain time on task. Through the analysis of a modeling test applied to 82 students, it was possible to identify, classify and organize the information needed to respond the shortcomings identified in the literature. It was identified that there are three actions that most affect the total task time: the number of data commands, time stopped without action and the speed of command execution. It was also identified what common behavior among CAD users leading to better productivity and was proposed a classification system based on the information obtained in the research.

Key Words – *3D Digital Modeling. CAD. Expertise. Procedural Knowledge. Strategic Knowledge.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ações desenvolvidas a partir do Modelo Digital 3D.....	29
Figura 2 - Processo de criação projetual com os ciclos internos de modelagem num software CAD	29
Figura 3 - Grupo de variáveis que interferem no desempenho da atividade de modelagem 3D/ CAD.	30
Figura 4 - Estrutura hierárquica do saber.....	43
Figura 5 - Modelo SECL.....	47
Figura 6 - Ivan Sutherland trabalhando no <i>Sketchpad</i>	52
Figura 7- IBM PC com software AutoCAD.	54
Figura 8 - Modelo 3D com esquemas de representação aramada (<i>Wireframe</i>)..	55
Figura 9 - Modelo geométrico com estrutura de dados do tipo <i>Surface Model</i> .	56
Figura 10 - Modelo geométrico com estrutura de dados do tipo paramétrico.	57
Figura 11- Classificação do software de acordo à interação com o modelo 3D.	58
Figura 12 - AutoCAD - aplicativo de Modelagem Direta.....	58
Figura 13 - Plugin Grasshoper para Rhino3D - aplicativo de Modelagem Paramétrica.	59
Figura 14 - Software Revit - aplicativo de Modelagem Híbrida.	59
Figura 15 - Informação de funcionamento do comando Extrude na modelagem 3D no software AutoCAD.	61
Figura 16 - Procedimento de alteração de um cubo.	62
Figura 17 - A diferença de desempenho em decorrência do encadeamento de comandos (conhecimento procedimental) escolhidos dentro do mesmo software- Trimble Sketchup.....	64
Figura 18 - Exemplos do uso do conhecimento estratégico na modelagem 3D.	65
Figura 19 - Componentes principais do modelo proposto de avaliação e identificação da expertise na atividade de modelagem 3D.	67
Figura 20 - Alunos durante teste de modelagem 3D.	70
Figura 21 - Interface do <i>software</i> CAD utilizado no teste de modelagem – Trimble Sketchup.....	74
Figura 22 - Figura ortogonal e isométrica fornecida para modelagem em pesquisa de Rynne, Gaughran e Seery (2011).	75
Figura 23 – Modelo 3D número 1 do teste de modelagem 3D.	76
Figura 24 – Modelo 3D número 3 do teste de modelagem 3D.	77
Figura 25 - Setores definidos para análise das estratégias.	78
Figura 26 - Iconografia definida dos comandos para montagem de Mapas de Procedimento.	80
Figura 27 - Exemplo de três Mapas de Procedimento do modelo 3D três.	81
Figura 28 - Gráfico com a distribuição dos tempos em segundos da tarefa de modelagem 3D dos participantes no modelo 3D 1.....	83
Figura 29 - Gráfico com a distribuição dos tempos em segundos da tarefa de modelagem 3D dos participantes no modelo 3D 2.	84
Figura 30 - Gráfico com a distribuição dos tempos em segundos da tarefa de modelagem 3D dos participantes no modelo 3D três.....	84

Figura 31 - Histograma mostrando a distribuição dos participantes de acordo a faixa de tempo alcançado nos modelos 3D 1 e 2.	85
Figura 32 - Histograma mostrando a distribuição dos participantes de acordo a faixa de tempo alcançado no modelo 3D 3.	86
Figura 33- Gráfico <i>Boxplot</i> apontado a concentração dos tempos totais alcançados nos quartis e os tempos discrepantes encontrados.	89
Figura 34 - Soma do tempo total de modelagem dos três modelos 3D entre homens e mulheres.	92
Figura 35 - Análise de pontos discrepantes na gráfico de dispersão da vol. 1- Correlação entre tempo total e número de comandos dados.	97
Figura 36 - Faixas aonde ocorrem os maiores (verde) e os menores (vermelho) velocidades de execução de comandos.	98
Figura 37 - Classificação da <i>expertise</i> para os três modelos dos três primeiros colocados do Tempo Total somado.	104
Figura 38 - A ação com falta de produtividade (números vermelhos) versus a ação produtiva (números azuis) – Mover Aresta.	106
Figura 39 - A ação com falta de produtividade (números vermelhos) versus a ação produtiva (números azuis) – Mover Vértice.	106
Figura 40 - O uso de linha guia paralelo a aresta apresenta maior produtividade do que alinhado.	107
Figura 41 - Extração da sequência de setores modelados de E6 e E71 da modelo 3D 3 a partir do registro no Mapa de Procedimentos.	111
Figura 42 - Sequência das folhas que foram entregues no teste de modelagem.	114
Figura 43 - Modelo de Identificação da Expertise na Modelagem 3D.	116
Figura 44 - Proposta de aplicação computacional do modelo de identificação da <i>expertise</i> proposto na tese.	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos do PPGEGC - Elicitação do Conhecimento de <i>Experts</i> ..39	
Quadro 2 - Comparação de definições do conhecimento com base na dualidade do conhecimento Explícito e Tácito.45	
Quadro 3 - Siglas das 40 variáveis medidas na tarefa de modelagem 3D.....82	
Quadro 4 - Quadro síntese dos estilos de modelagem identificados.110	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Performance na modelagem 3D mostrando tempo, quantidade de comandos usados e velocidade de execução.....	32
Tabela 2 - Médias e porcentagens da amostra do teste de modelagem 3D.	72
Tabela 3 - Quantidade de vídeos recolhidos disponíveis para análise.	79
Tabela 4 - Os valores de máximo, mínimo e média de 18 variáveis mensuradas	87
Tabela 5 - Os valores de desvio padrão, moda e mediana de 18 variáveis mensuradas.	88
Tabela 6 - Correlação entre os dados do Questionário de Balizamento e o Tempo Total da tarefa.	91
Tabela 7 - Matriz de correlação para os modelos 3D 1 e 2.	93
Tabela 8 - Matriz de correlação para o modelo 3D 3 e geral que considera todos os modelos.	94
Tabela 9 - Tabela de classificação da expertise com dados do modelo 3D 1...102	
Tabela 10 - <i>Ranking</i> dos melhores modeladores considerando a soma do tempo dos modelos 1 2 e 3.	103
Tabela 11 - Tabela com sequência de setores feitos do modelo 3D 1.....	112
Tabela 12 - Tabela com sequência de setores modelados das três modelos 3D.	113
Tabela 13 - Resultados encontrados na Revisão Sistemática.....	132

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AI - Acesso à Icones
ApM - Aplicar material
Apagar A - Apagar aresta
Apagar B - Apagar em bloco
Apagar C - Apagar cota
Apagar F- Apagar face
Apagar LG - Apagar Linha Guia
BDS - *Building Description Systems*
BIM - *Building Information Modeling*
B-Rep - *Boundary Representation*
CAAD - *Computer Aided Architectural Design*
CAD - *Computer Aided Design*
Cópia A - Cópia de aresta
Cópia B - Cópia em bloco
Cópia F - Cópia de face
CRT- *Cathode Ray Tube*
CSG - *Constructive Solid Geometry*
DOS -*Disk Operaion System*
EC - Engenharia do Conhecimento
ESDA - *Exploratory Sequencial Data Analysis*
Faz G/C - Faz Grupo ou Componente
FDe - Faz Desfaz erro
Desfaz G/C - Desfaz Grupo ou Componente
FFig C - Desenho figura plana círculo
FFig R -Desenho figura plana retângulo
IA - Inteligência Artificial
Inter F -Interseccionar Face
InvF - Inversão de Face
KA - *Knowledge Acquisition*
Linha F - Linha que gera face
Linha M - Linha de medição
MIT - *Massachusetts Institute of Technology*
Mover A - Mover aresta
Mover B - Mover em bloco
Mover F - Mover face
NCD - Número de Comandos Dados
NS/C - Número de Segundos por Comando

NR - Número de Rotações
NS/R - Número de Rotações por Segundo
Orfa - Ocultar/ Reexibir face e aresta
PP - *Push Pull*
RX - Modo de visualização raio X
SBC - Sistemas Baseado em Conhecimento
SE - Sistemas Especialistas
SECI - Socialização Externalização Combinação e Internalização
SEQ - EST - Sequência e Estratégia
TI - Tempo de Inicio
TO - Tempo Otimizado
TPA - tempo de Pausa
TPRO - Tempo Produtivo
TrM - Trena para medir
TrO - Trena *Offset*
TT - Tempo Total
UDESC - Universidade Estadual de Santa Catarina
VCD - Variedade de Comandos Dados

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	27
1.2 QUESTÕES DE PESQUISA.....	35
1.3 OBJETIVOS	35
1.3.1 Objetivo Geral.....	35
1.3.1 Objetivos Específicos	35
1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	36
1.5 DELIMITAÇÕES E ESCOPO DA PESQUISA.....	36
1.6 LIMITES DA PESQUISA	37
1.7 INEDITISMO	38
1.8 ADERÊNCIA DO OBJETO DE PESQUISA AO PPGECC.....	38
1.9 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	39
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	42
2.1 CONHECIMENTO	42
2.1.1 Tipos de Conhecimento	43
2.2.2 Criação do Conhecimento	46
2.2.3 Expertise.....	49
2.2.4 Elicitação do Conhecimento/Expertise.....	50
2.2.5 Técnicas de elicitação da expertise	51
2.2 MODELAGEM DIGITAL 3D – SOFTWARES CAD.....	52
2.2.1 Tipos de Classificação da Modelagem Digital 3D	54
2.3 TIPOS DE CONHECIMENTO NA MODELAGEM 3D.....	60
2.3.1 Conhecimento Declarativo na Modelagem 3D	60
2.3.2 Conhecimento Procedimental na Modelagem 3D	61
2.3.3 Conhecimento Estratégico na Modelagem 3D.....	63
2.3.4 Conhecimentos avaliados na identificação da expertise	66
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	68
3.1 – MÉTODO QUANTITATIVO	68
3.2 – MÉTODO QUALITATIVO	69
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS DO TESTE DE MODELAGEM 3D	70
4.1 APRESENTAÇÃO DO TESTE DE MODELAGEM 3D	70
4.1.1 -Amostra	70
4.1.2 -Procedimento	73
4.2 TABULAÇÃO DOS DADOS DO TESTE DE MODELAGEM 3D.....	78
4.3 RESULTADO E ANÁLISE QUANTITATIVA ENTRE A PERFORMANCE NA ATIVIDADE DE MODELAGEM E AS VARIÁVEIS MENSURADAS.....	82
4.3.1 Dados gerais de desempenho.....	83
4.3.2 Questionário x Desempenho.....	90

4.3.3 Tempo Total x Variáveis.....	92
4.4 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO NA ATIVIDADE DE MODELAGEM 3D	100
4.5 ANÁLISE QUALITATIVA DA PERFORMANCE NA ATIVIDADE DE MODELAGEM 3D	104
4.5.1 – Identificação de ações estratégicas que auxiliam o desempenho na modelagem 3D.....	104
4.5.2 – Identificação dos Estilos de Modelagem	108
4.5.3 - Sub tarefas e estratégia	111
4.6 MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DO ALTO DESEMPENHO NA ATIVIDADE DE MODELAGEM 3D	115
5 APLICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
5.1 SISTEMA DE DIAGNÓSTICO E IDENTIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ALTO DESEMPENHO	117
5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	119
5.2.1 – Recomendação de trabalhos futuros	121
REFERÊNCIAS	123
APÊNDICE A – Revisão Sistemática	130
APÊNDICE B - Quadro comparativo de pesquisas em CAD Expertise.....	135
APÊNDICE C - Questionário de balizamento aplicado aos participantes do Teste de Modelagem.....	137
APÊNDICE D - Tabela completa com dados de balizamento dos participantes do Teste de Modelagem.....	139
APÊNDICE E - Planilha Geral com todos os dados mensurados do Teste de Modelagem.....	141
APÊNDICE F - Mapas de Procedimento gerados a partir do Teste de Modelagem.....	143

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório aborda como temática o conhecimento na modelagem digital 3D para desenvolvimento de projetos. É feita a análise da sua relevância, da sua organização e das lacunas presentes nas pesquisas na área. Com base neste recorte temático é definido o problema de pesquisa que é base para o desenvolvimento deste trabalho.

Visando elucidar o problema de pesquisa proposto na introdução é apresentado os objetivos a serem alcançados, a abordagem metodológica utilizada e os limites e delimitações que a pesquisa possui.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Este trabalho de pesquisa é direcionado ao estudo do conhecimento necessário ao desempenho da atividade de modelagem digital 3D por estudantes e profissionais da área de Arquitetura, Engenharia e Design. Trata-se de uma atividade onde esses profissionais apresentam diferentes desempenhos e cujas razões ainda carecem de respostas acadêmicas.

A modelagem digital 3D, está inserida no contexto das transformações ocorridas nas últimas cinco décadas no processo de projeto, em decorrência da implementação das ferramentas computacionais. A computação moderna surgiu durante a Segunda Guerra Mundial com computadores como o alemão Z3 e os americanos Mark-1 e Eniac (KALAY, 2004). A necessidade principal consistia em aprimorar os cálculos matemáticos com fins militares, tendo como objetivo a quebra de criptografia ou análise de alcance balístico (KALAY, 2004). Porém, após a guerra, o computador foi direcionado a fins civis. A partir dos anos 60, a área de projetos se beneficiou das potencialidades da computação. Isso se deveu em grande parte as pesquisas realizadas no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Entre as pesquisas feitas, destaca-se as que envolveram computação gráfica desenvolvidas pelo engenheiro Ivan Sutherland. Esse pesquisador auxiliou o desenvolvimento da realidade virtual e a área de CAD (*Computer Aided Design*). Sutherland desenvolveu o *Sketchpad*, considerado por muitos autores o primeiro *software* de suporte ao processo de projeto (WEISBERG, 2008).

Atualmente o CAD é parte integrante do projeto e representação gráfica, influenciando o processo de produção de arquitetura e engenharia. As pesquisas como as de Florio (2005) e Portella (2006) mostram o impacto na questão formal, funcional e construtiva da

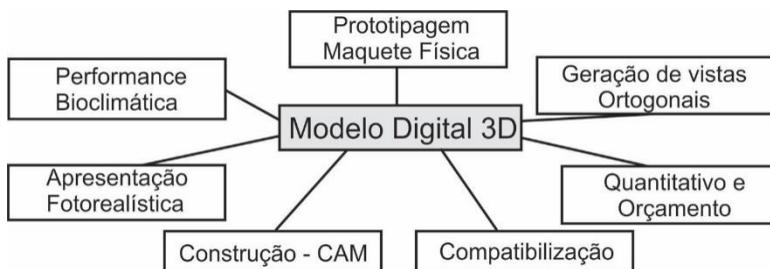
arquitetura coma adoção do CAD em seu atual estado de desenvolvimento. Como descreve Kolarevic (2003), têm-se uma nova arquitetura que emerge da revolução digital e encontra sua expressão em formas curvilíneas e de alta complexidade. Essa arquitetura é concebida dentro do se conhece como a Era do Design Digital (OXMAN, 2006).

A atual forma de projetar com o uso de computadores diferencia-se daquela que se utilizava até o início dos anos 80, quando todo processo de criação era feito à mão, com o uso da lapiseira e da prancheta. Oxman (2006), descreve a atual forma de projetar utilizando o computador, a partir de cinco distintas maneiras, que vão do tradicional uso do 2D e 3D, dos anos 80, até os sistemas de algoritmos evolutivos usados atualmente. O que se observa na descrição de Ryvka Oxman (2006) é que, independente da forma usada para projetar, todas vão necessariamente fazer uso de um modelo virtual 3D no processo.

Este conceito de se criar um edifício virtual em 3D a partir de um modelo digital não é recente. Em 1974, Charles M. Eastman propôs o *Building Description System*, um modelador de sólidos desenvolvido na Universidade Carnegie Mellon. Em 1987 o *software* ArchiCAD já propunha o Edifício Virtual, referência do início do paradigma BIM (*Building Information Modeling*) (KALAY, 2004). Porém, o desenvolvimento tecnológico de *hardware* e *software*, dos últimos 30 anos, proporcionou um aperfeiçoamento do processo de criação e uso que se faz deste modelo digital 3D. Esse aperfeiçoamento elevou o modelo digital 3D a papel de protagonista no processo de projeto contemporâneo. Como exemplos dos avanços do modelo digital 3D, têm-se a evolução da parametrização no processo de construção digital 3D, que trouxe velocidade de criação e edição dos modelos (FLORIO, 2012). Têm-se a colocação de toda informação dos elementos construtivos e dos processos de projeto dentro do modelo digital 3D no paradigma BIM- (UNWIN, 2014). Têm-se adoção da prototipagem rápida nos anos 90 e o desenvolvimento da fabricação digital que permite a criação de modelos físicos a partir de modelos digitais com uso de máquinas de corte a laser, fresadoras e impressoras 3D (CELANI e PUPO, 2008).

Sendo o modelo digital 3D, elemento central para a produção de arquitetura e engenharia atual (Fig. 1), a criação do modelo 3D pelo projetista deve ser eficaz e eficiente de modo a agilizar o processo de desenvolvimento do projeto. Entende-se por eficácia, a criação de um modelo 3D digital preciso, sem erros dimensionais ou estruturais e entende-se por eficiência a produção do modelo 3D com eficácia no menor tempo possível.

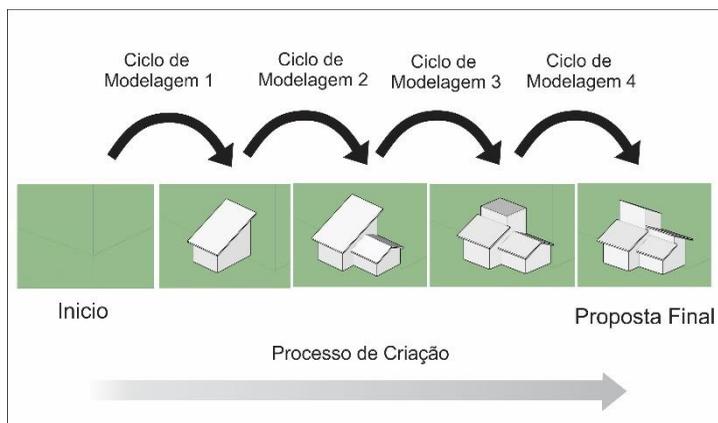
Figura 1- Ações desenvolvidas a partir do Modelo Digital 3D



Fonte: Autor.

Atualmente, o desenho digital e a modelagem digital 3D são representações inseridas dentro do processo de criação em arquitetura e engenharia. A modelagem 3D está presente durante todo o processo de projeto. Através de diversos ciclos de modelagem, o projetista busca o refinamento volumétrico de uma ideia até alcançar uma proposição final como ocorre, por exemplo, nas etapas iniciais de concepção (Fig. 2).

Figura 2 - Processo de criação projetual com os ciclos internos de modelagem num software CAD



Fonte: Autor.

Com base nos conhecimentos que o projetista possui, ele imagina uma nova forma ou arranjo para a resolução do problema de projeto. Com

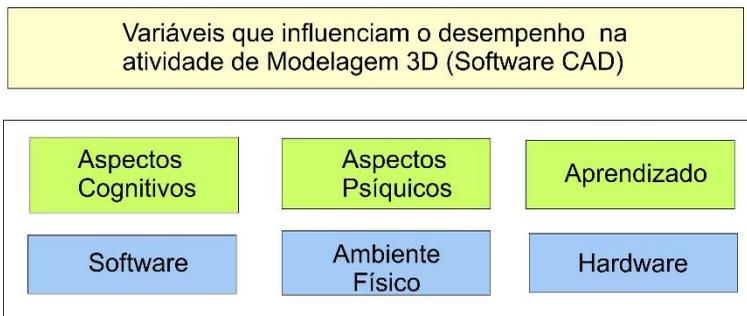
isso, ele executa a atividade de modelagem dentro do ciclo criação/edição que os *softwares* CAD possuem (PEKTAS 2009).

O uso do CAD insere, dentro do processo projetual, uma atividade intensiva em conhecimento que exige do profissional uma considerável bagagem de conhecimento prévio, treinamento e experiência. Nesse sentido, o CAD deve ser examinado com mais relevância, pois pode vir a ser obstáculo à produtividade e à criatividade de quem o utiliza.

Muitas pesquisas realizadas, como Ahmed, Wallace, e Blessing (2003) Cross (2004), Lawson (2004), abordaram o desempenho na tarefa do arquiteto no ato de projetar. Mas o fizeram considerando o ato de projetar no modelo tradicional, com lápis e papel.

A inserção das ferramentas computacionais no processo de projeto traz a necessidade de se considerar o CAD na análise de desempenho projetual com base na bagagem de conhecimento do projetista. Como cita Salman, Laing e Conniff (2014), muitos dos estudos se baseiam no impacto do desenho no processo de projeto, o que é um debate de mídia específica, sendo que a discussão e a reflexão sobre o CAAD ainda precisa ser examinada em muitos detalhes. O que se verifica é que, pesquisas que consideram somente o lápis, caneta e papel nos testes, não verificam o impacto da variável da ferramenta computacional no processo de criação tanto em 2D quanto em 3D. O entendimento aprofundado deste elemento do processo de projeto, que é a modelagem 3D, envolve a investigação sobre quais fatores interferem no desempenho dessa tarefa. Na Figura 3, listou-se alguns fatores diretamente ligados a essa atividade.

Figura 3 - Grupo de variáveis que interferem no desempenho da atividade de modelagem 3D/ CAD.



Fonte: Autor

Há os fatores ligados ao indivíduo (autor do projeto) que foram listados na cor verde. Neste, estão os aspectos cognitivos, que podem influenciar na atividade de modelagem 3D, como a habilidade visuoespacial. Têm-se também os aspectos como a motivação e o interesse na atividade como mostra o artigo de Hamade Artail e Jaber (2011) e a questão emocional como mostra Liu et al (2014), E há o aprendizado, que dependendo da forma como foi conduzido, pode ser impactante no resultado final da tarefa como mostra Hamade (2012).

Na Figura 3 aparecem listadas, em azul, as variáveis que interferem no desempenho, mas referem-se à infraestrutura de trabalho como; o *software* utilizado, o *hardware* e espaço onde ocorre a atividade. As variáveis em azul podem ser padronizadas numa empresa ou instituição de ensino oferecendo os mesmo recursos a todos os usuários. Porém o desempenho será diferente em decorrência das variáveis listadas em verde.

Definida a relevância deste tipo de estudo fez-se necessário um aprofundamento para conhecer o que há de pesquisa neste campo, qual a abordagem teórica e qual os desenvolvimentos. Para isso foi realizada uma Revisão Sistemática entre 12/08/2015 e 12/09/2015 buscando a identificação das pesquisas que são destinadas a teorização, análise e quantificação do desempenho na atividade de modelagem 3D em softwares CAD. Neste levantamento foi feito uma síntese da área com as potencialidades, carências e lacunas que precisam de aprofundamento.

A abordagem da revisão sistemática utilizou para as buscas as palavras-chave: *CAD*, *Expertise*, *Procedural Knowledge*, *Strategic Knowledge*, *Task Analysis*. Os resultados encontrados, as etapas desenvolvidas e os critérios de seleção encontram-se no **Apêndice A**. Após o levantamento foram selecionados 15 artigos e trabalhos de congresso para leitura em profundidade e análise. Estes 15 artigos/trabalhos que compreendem o intervalo dos anos de 1991 a 2015. Esse material foi analisado seguindo critérios comparativos analisando seus objetivos, metodologia, amostra, resultados etc.. Este quadro comparativo encontra-se no **Apêndice B**.

A partir da análise, diversos fatores foram observados como: a revisão da literatura utilizada na área, métodos de pesquisa e conclusões. É a partir da lacunas que estes trabalhos apresentam que se delinea o problema de pesquisa.

Na análise do direcionamento, metodologia e resultados das pesquisas separadas na revisão sistemática três lacunas foram identificadas. São elas:

Ausência de um modelo de composição do tempo total gasto na tarefa de modelagem 3D

Partindo do pressuposto que um modelo 3D foi feito corretamente (com eficácia), o principal componente de referência para determinar se houve também eficiência na atividade é o tempo total gasto na tarefa. A maioria das pesquisas mensurou o tempo total da tarefa. Porém nenhuma delas decompôs todas as variáveis que contribuem para a formação deste tempo. Quem mais se aproximou desta composição foi Lang et al (1991) e Chi, Lan e Tsai (2000). Porém alguns aspectos foram desconsiderados. No caso de Lang et al (1991), o autor não considera a análise do tempo produtivo da tarefa, que consiste no tempo total da tarefa menos o tempo que o cursor fica parado (quando não há comandos sendo executados).

Além da falta do tempo produtivo, observa-se na tabela 1 extraído de Lang et al (1991) que não há uma correlação entre número de comandos dados e tempo total da tarefa. A menor quantidade de comandos dados não é do menor tempo na tarefa, como seria o esperado pelo que aponta a maioria dos trabalhos do Quadro Comparativo do Apêndice B. Todas as pesquisas ressaltam que o número de comandos dados intervêm no tempo total da tarefa. Então como se explica o resultado da tabela 1 no qual o menor tempo não possui a menor quantidade de comandos dados. Há fatores intervenientes no tempo total que não foram listados e identificados.

Tabela 1 - Performance na modelagem 3D mostrando tempo, quantidade de comandos usados e velocidade de execução.

TABLE VII
PERFORMANCE COMPARISONS IN MODELING AND INSPECTING
SUBTASK OF EXPERIMENT 2

Subject	Time in Stage(s)	Number of Command Lines	Rate (lines/s)
System expert	896.7	52	0.059
Design expert	1292.2	44	0.034
Novice 1	1192.6	35	0.029
Novice 2	2133.2	127	0.060

Fonte: Lang et al (1991)

Na pesquisa de Chi, Lan e Tsai (2000), foram considerados quatro tipos diferentes de tempo na atividade. Foi analisado o denominado tempo físico (que seria executando a atividade), o tempo mental amplo (o tempo

parado sem comandos, acima de 3 segundos) o tempo mental pequeno (parado sem comandos, abaixo de 3 segundos) e o tempo de erro (erros cometidos sem conclusão de comando).

Embora de grande importância essas medições, elas foram feitas num sistema no qual a modelagem não fez uso de cursor de *mouse* (A pesquisa se baseia num experimento de 1996, feito com *software* AutoCAD R10 para sistema DOS). Com isso muito do que foi feito está longe da realidade atual do processo de desenho e modelagem 3D. Como exemplo, têm-se a medição do tempo de erro que não seria feita da mesma forma nos dias atuais. Os erros foram analisados somente quanto à digitação de comandos, sem considerar erros de clique do cursor por não utilizar *mouse*.

Além destes dois trabalhos citados, outros também analisaram tempo total mas sem se ater em aspectos relevantes como o tempo mental pequeno e grande de Chi, Lan e Tsai (2000). Ou seja desconsideram o tempo gasto de processamento cognitivo que ocorre durante a tarefa. Observou-se em pesquisas como em Bhavnani e Garrett (1993), Hartman (2005) e em outras um foco demasiado em identificar formas de modelar que os usuários criam. Buscou-se também enfatizar explicações para desempenho díspares do que verificar o todo de variáveis que influenciam o tempo total da tarefa. Em outras pesquisas como Chester (2007) e Peng et al, (2015) o enfoque está no ensino de técnicas de estratégia e verificação de quanto estas estratégias auxiliam o de desempenho na tarefa. Porém, a eficiência na tarefa, que basicamente é o tempo total pode não ser explicado somente pelo quesito estratégia. Outras variáveis estão envolvidas e somente a identificação global dos fatores que interferem no tempo total podem elucidar estas questões.

Se ater a um só aspecto da atividade como o número de comandos dados, pode fazer com que as variáveis subjacentes que interferem diretamente no tempo total da tarefa passem despercebidas ou sejam subjugadas. Portanto, visando o alto desempenho na tarefa se faz necessário identificar onde ocorre perda significativa de tempo, identificando seu impacto na composição do tempo total.

Ausência de classificação da *expertise*

Outra carência, observada nas pesquisas analisadas, é a ausência de um sistema de classificação que aponte uma métrica para verificar o grau de domínio do conhecimento declarativo, procedimental e estratégico que o estudante/profissional possui. Muitas pesquisas como Hamade (2012), Bhavnani e Garret (1993) analisam os modeladores na

dicotomia entre Novatos e Experts. Porém, há entre estes dois extremos um crescente de aprendizado e evolução. Como identificar se um usuário está mais próximo de um Novato ou de um Expert? Essa análise não é feita a partir dos dados recolhidos das amostras.

A qualidade de um treinamento requer necessariamente identificar em qual estágio de evolução o usuário do *software* CAD se encontra. Uma ferramenta de classificação, baseado em dados mensuráveis é útil para verificar a evolução até se alcançar a *expertise*. Chester (2008) aponta que há dificuldades potenciais em se identificar a *expertise* em sistemas computacionais complexos, especialmente modelagem 3D em CAD. Chester (2008) relata que a *expertise* é feita por indicação pelos pares ou pela experiência atestada. Chester (2006, 2008) aponta que não há profissionais em quantidade para fazer a identificação dos *experts*. Com isso, uma ferramenta computacional de suporte a identificação dos *experts* se apresenta como uma alternativa para minimizar o problema.

Ausência da verificação da existência e caracterização do estilo de modelagem

Outro aspecto que não é abordado pelas pesquisas é a identificação do “estilos de modelagem”. Este termo concebido nessa tese consiste num padrão de comportamento existente pelo usuário quando faz uso do *software* CAD. Este estilo seria uma assinatura característica de um indivíduo ao proceder dentro da ferramenta. Essa característica única pode aparecer na velocidade de execução de comandos, no uso de comandos específicos ou na própria organização da tarefa.

Se o comportamento do usuário não é randômico, que muda a todo momento, será explicitado, a partir de uma quantidade de modelagens feitas, alguns comportamentos padronizados. Esse padrão de comportamento gera algum tipo de influência no tempo total da tarefa. Se durante a tarefa, o indivíduo utiliza, por exemplo, um comando específico de medição extremamente demorado repetidas vezes, haverá impacto relevante no tempo final de execução.

As pesquisas analisadas que repetiram diversas modelagens com o mesmo usuário como em Bhavnani, John e Flemming (1999), Hamade e Artail (2008) e Hamade (2012) não buscaram identificar padrões de comportamento específico nos usuários. O foco foi listar a melhores práticas entre os *experts* ou gerar curvas de aprendizado verificando o tempo total da tarefa após diversas modelagens feitas ao longo de diversas semanas. Em Hamade (2012) verificou-se que o tempo total da tarefa foi

reduzindo, que houve aprendizado, mas não se identificou com clareza em que aspecto do comportamento da tarefa houve mais evolução. Talvez dois alunos atingiram o mesmo tempo de modelagem ao final do treinamento, mas se aperfeiçoaram em ações, dentro da tarefa, totalmente distintas. Um pode ter melhorado a velocidade de execução dos comandos e outro abandonou o uso de ícones.

Essas três lacunas identificadas na área de *CAD Expertise* precisam ser contornadas se o objetivo for identificar procedimentos de alto desempenho. Esses delineamento compõe o problema de pesquisa desta tese.

Ao se propor uma pedagogia voltada a ensinar usuários de *software* CAD a atingir a *expertise* ou propor um sistema de diagnóstico do modelador 3D para uma empresa é necessário conhecer de modo global quais comportamentos direcionam a ganho e perda relevante de tempo. Além disso, identificar padrões de comportamento que levam a perda de tempo é necessário para que os mesmos possam ser corrigidos e as boas práticas sejam implementadas e incentivadas.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

- Quais são as principais variáveis que impactam no tempo total da tarefa de modelagem 3D?

- Quais os comportamentos padronizados que definem os “estilos de modelagem” e trazem ganho e perda ao tempo total da tarefa?

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho está pautado pelos seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Propor um modelo de identificação e classificação do conhecimento procedimental e estratégico de alto desempenho na atividade de modelagem 3D em *software* CAD.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Identificar quais os tipos de conhecimento existentes dentro da atividade de modelagem 3D, suas características e seu impacto no desempenho.

- Identificar quais ações na tarefa de modelagem 3D mais impactam o tempo total da tarefa.
- Apontar quais comportamentos padronizados, dos usuários dos *softwares* CAD, conduzem a ganho e perda de tempo na atividade de modelagem 3D.
- Estabelecer um sistema de classificação do desempenho na atividade de modelagem digital 3D.

1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Com base em Gil (2002), a pesquisa desta tese se classifica como explicativa, pois como descreve o autor “pesquisas explicativas têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos”.

Com base nos procedimentos técnicos utilizados, essa pesquisa se aproxima da pesquisa de campo proposta por Gil (2002). Isso pelas características de pesquisa que visa observar comportamentos de um grupo de pessoas em específico para análise e diagnóstico.

O fenômeno observado é o comportamento na atividade de modelagem digital 3D e o objetivo é identificar as melhores práticas visando a produtividade na tarefa.

Como o fenômeno se traduz num conjunto de procedimentos que muitas vezes são criados conscientemente pelos projetistas e modeladores, o conhecimento se configura como conhecimento tácito. Em alguns casos, os projetistas e modeladores não têm consciência do conhecimento que possuem e das ações que provocam na tarefa. Isso se constitui em conhecimento implícito. A abordagem metodológica visa identificar estes dois tipos de conhecimento que trazem produtividade para a tarefa.

Para atingir o objetivo geral foi realizado o rastreamento do processo de um teste de modelagem 3D. A partir dos dados coletados fez-se uso de um conjunto de correlações visando identificar quais aspectos impactam o tempo total da tarefa e a sua relação com os tipos de conhecimento existente na tarefa. Fez-se também um conjunto de medições visando identificar comportamentos específicos dos usuários e as consequências para o desempenho.

1.5 DELIMITAÇÕES E ESCOPO DA PESQUISA

A atividade de modelagem digital 3D é uma sub tarefa do processo de criação e detalhamento em arquitetura e engenharia. Porém o

escopo desta pesquisa está exclusivamente relacionado ao processo de modelagem digital 3D, suas características, seus encaminhamentos e atributos específicos. Aspectos associados a metodologia de projeto como processo de criação, etapas de projeto e outros conceitos não foram considerados. Está fora do escopo dessa pesquisa a análise de questões ligadas à pesquisa em criatividade, como seria a análise da concepção de uma forma 3D a partir de variáveis de projeto. Todos os modelos 3D que foram feitas no teste de modelagem 3D foram disponibilizadas prontas através de desenhos impressos.

A característica do objeto 3D produzido no texto de modelagem é referente às etapas iniciais de projetos. Nessa tese não se verificou como ocorre modelagens com detalhamento, como ocorre em fases finais de projeto.

O impacto na atividade de modelagem 3D de aspectos de interface e usabilidade não foram considerados nesta pesquisa. O motivo é que interface e usabilidade compõe um campo específico com metodologias próprias de avaliação e também porque o foco desta pesquisa é de um modelo teórico multi plataforma, ou seja, os resultados encontrados não ficam restritos a um tipo específico de software e consequentemente de interface/usabilidade.

A *expertise* em modelagem 3D que trata esta tese está relacionada somente à capacidade de se produzir um modelo 3D preciso e no menor tempo possível. Outros aspectos de *expertise* como, por exemplo, a capacidade de produzir modelos de fácil organização e leitura para posterior edição não foi considerada.

1.6 LIMITES DA PESQUISA

A modelagem digital 3D envolve um amplo espectro de *softwares* e disciplinas. Mas foi necessário limitar a pesquisa decorrente da amostra disponível para realizar o teste de modelagem. Com isso estabeleceu os seguintes limites:

a) Pela disponibilidade para aplicação do teste, essa pesquisa teve como amostra alunos que estão cursando a graduação, e não profissionais atuando no mercado.

b) Embora o uso de modelagem digital 3D esteja presente em várias áreas como as engenharias, *games*, cinema e publicidade, a pesquisa sobre modelagem 3D desta tese ocorreu com alunos de um curso de arquitetura e urbanismo. Portanto o modelo proposto nessa pesquisa tem o viés da área de Arquitetura na análise da modelagem 3D.

c) Para se alcançar uma amostra acima de 50 pessoas no teste de modelagem 3D utilizou-se o software *Trimble Sketchup* que possuía grande quantidade de usuários disponíveis. Com isso a pesquisa enfocou somente a modelagem 3D do tipo modelagem direta. Outros tipos de modelagem, como a modelagem paramétrica, necessitaria de outra pesquisa com abordagem correlata.

1.7 INEDITISMO

O ineditismo é consequência do levantamento e análise feito no Apêndice A – Revisão Sistemática. Verificou-se a ausência de uma pesquisa que identifica-se os fatores que impactam de modo mais preeminente o tempo total da atividade de modelagem, classificação da *expertise* e verificação dos estilos de modelagem. A partir da identificação destes fatores foi proposto um modelo de identificação da *expertise* em modelagem 3D. O resultado possibilita aplicações futuras em sistemas computacionais como a criação de um sistema de diagnóstico da *expertise* apresentado no capítulo 5.

1.8 ADERÊNCIA DO OBJETO DE PESQUISA AO PPGECC

A aderência ao Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão (PPGECC) está alicerçada no conhecimento como elemento central. O principal foco da pesquisa é o conhecimento, no caso o conhecimento procedimental e estratégico num domínio específico. Sobre estes dois conhecimentos se estabelece um pesquisa sobre os fatores essenciais para o alcance da *expertise* na atividade de modelagem 3D.

O EGC estabelece três áreas de concentração: Gestão do Conhecimento, Engenharia do Conhecimento e Mídias do Conhecimento. Dentro destas três áreas de concentração cada uma possui três linhas de pesquisa.

Esta pesquisa está enquadrada na área de concentração Mídias do Conhecimento e na linha de pesquisa Mídia e Conhecimento na Educação. Nesta linha estão pesquisas que buscam a eficiência do processo de ensino sob a utilização de meios tecnológicos. A pesquisa desenvolvida nesta tese apontou quais os aspectos que impactam o processo de modelagem 3D e como estes devem ser reforçados no processo ensino-aprendizagem. A tese propõe um sistema baseado no conhecimento que faz a avaliação do estudante e a proposição de objetos de aprendizagem específicos para cada deficiência identificada.

No PPGEGC outros trabalhos repetem o que foi feito nesta tese com ênfase na identificação dos fatores que levam a ganho e perda de produtividade e qualidade de atividades desenvolvidas. Estas pesquisas utilizam técnicas para elicitaco do conhecimento através de fontes humanas como as citadas por Nazario et al (2012). O objetivo  o mesmo deste trabalho que consiste na melhoria de processos baseado no conhecimento a partir do entendimento aprofundado da competência de uma atividade.

Como exemplo de trabalhos anteriores do PPGEGC, cita-se Matt (2009), Fernandes (2011) e Lasso (2016). Todas estas pesquisas buscam elicitaco conhecimento existente em *experts* em busca do aprimoramento do processo de trabalho. O trabalho mais similar ¢ esta tese  Matt (2009), que busca a identificação aprofundada da prática projetual de designers gráficos profissionais para posteriormente criar um material didático destes conhecimentos. Em Matt (2009) assim como nesta tese há fases bem definidas para a elicitaco do conhecimento, a organização deste conhecimento elicitado e a retroalimentação deste conhecimento num processo ensino-aprendizagem. A diferença principal em relação ¢ Matt (2009),  que esta tese avaliou arquitetos no domínio da modelagem 3D ao invés de designer gráficos em tipografia e esta tese propôs material didático em vídeo ao invés de impresso.

Quadro 1 - Trabalhos do PPGEGC - Elicitaco do Conhecimento de *Experts*

Tema/Autor	Ano	D/T
MATT, Volnei A. O Conhecimento da Prática Projetual dos Designers Gráficos como Base para o Desenvolvimento de Materiais Didáticos Impressos. Tese, 2009.	2009	T
FERNANDES, Roberto Fabiano. Uma proposta de modelo de aquisição do conhecimento para identificação de oportunidades de negócio nas redes sociais. Dissertação, 2011.	2016	D
LASSO, Ana Laura. Método Para o Compartilhamento do Conhecimento do Especialista Usado no Processo de Tomada de Deciso. Dissertação, 2016.	2011	D

Fonte: Autor

1.9 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado de acordo com a seguinte estrutura listada abaixo:

1 - Introdução – No capítulo Introdução foi apresentado o recorte temático da *expertise* na modelagem 3D, o delineamento do problema de pesquisa, os objetivos alcançados, limitações, delimitações, ineditismo e a aderência ao Programa de Pós Graduação do EGC.

2 - Fundamentação Teórica- No capítulo 2 foi feita a fundamentação em três temas que servem de base para o entendimento e a análise do teste de modelagem 3D realizado. Os temas são: O conhecimento, A modelagem digital 3D e o conhecimento na modelagem digital 3D.

3 - Procedimento Metodológico- O capítulo de Procedimento Metodológico aponta como os objetivos foram alcançados e como foram feitas as análises quantitativa e qualitativas presentes na tese.

4 – Apresentação, Análise e Organização dos resultados do teste de modelagem 3D – Neste capítulo é apresentado como foi feito e que resultados foram encontrados no teste de modelagem 3D realizado. A partir dos resultados é apresentado um conjunto de análises que possibilitaram a estruturação do modelo de identificação da *expertise* da modelagem 3D.

5 - Aplicações e Considerações Finais – Neste capítulo é apresentado um exemplo de aplicação do modelo de identificação da *expertise* num sistema computacional e é feita a conclusão do trabalho com sugestão de linhas de pesquisa para trabalhos futuros.

Referências – Nessa seção estão as referências que dão suporte à este trabalho.

Apêndice A – Neste apêndice está descrição das etapas realizadas da revisão sistemática realizada em CAD *Expertise*.

Apêndice B – Neste apêndice está o Quadro Comparativo de pesquisas encontradas e separadas da Revisão Sistemática.

Apêndice C – Neste apêndice encontra-se o questionário aplicado aos 82 participantes do teste de modelagem 3D realizado.

Apêndice D- Neste apêndice encontra-se o resultado do questionário de todos os 82 participantes do teste de modelagem 3D realizado.

Apêndice E – Neste apêndice encontra-se a Planilha Geral com os dados mensurados da tarefa de modelagem 3D dos 82 participantes.

Apêndice F – Neste apêndice encontra-se os 163 Mapas de Procedimento extraídos do teste de modelagem 3D. São 67 do modelo 3D 1, 55 do modelo 3D 2 e 41 do modelo 3D

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é feita a revisão teórica e conceitual sobre os tipos de conhecimento e sua relação com as definições do campo da Modelagem digital 3D. Essas conceituações servem de base para as análises proferidas nos resultados encontrados no teste de modelagem 3D do capítulo 4.

2.1 CONHECIMENTO

Nos tempos atuais, o conhecimento têm sido reconhecido como entidade de valor necessária para o sucesso das organizações do século XXI. Como descreve Schreiber et al (2000) a economia e a vida social está cada vez mais direcionada no conhecimento. Portanto, o conhecimento, consiste num ativo de grande valor para sociedade contemporânea. Entender, explicitar, sistematizar e incorporar conhecimento dentro das corporações e instituições de caráter público ou privada torna-se essencial para o progresso em geral.

O conhecimento em si já é discutido conceitualmente há muitos anos na filosofia e é debatido sem uma definição definitiva (SCHREIBER et al, 2000).

Para Davenport e Prusak (1998), o conhecimento é uma mistura fluida de experiência estruturada, valores, informação contextual e discernimento especializado que fornece um parâmetro para avaliar e incorporar novas experiências em informação.

Para Setzer (1999), o conhecimento é como uma abstração interior, pessoal, de algo que foi experimentado, vivenciado, por alguém.

Para Castell e Gerhardt (2000), o conhecimento é um conjunto de declarações organizadas sobre fatos ou ideias, apresentando um julgamento ponderado ou resultado experimental.

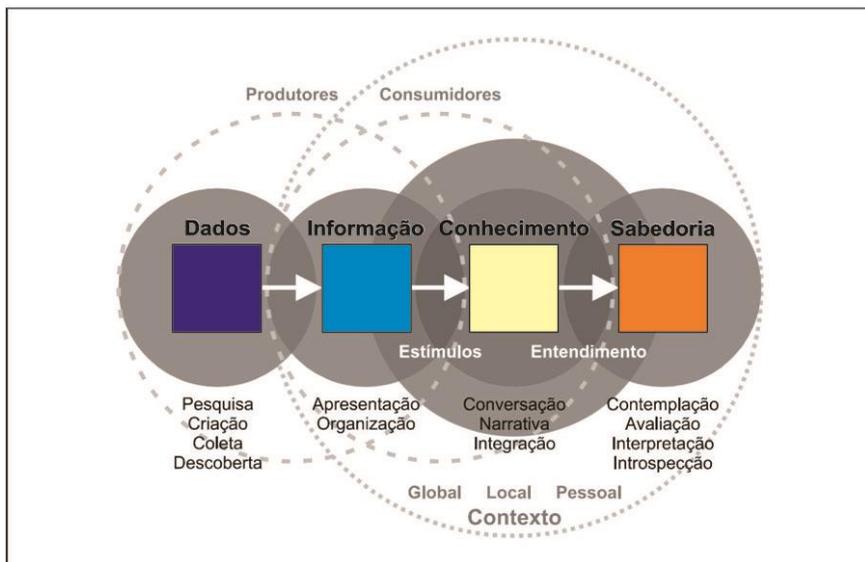
Nonaka, Toyama e Konno (2000), adotam a definição platônica de que o conhecimento é um crença verdadeira e justificada, mas com ressalvas. Nonaka, Toyama e Konno (2000) defendem esse pensamento ao se posicionar mais próximo a palavra “justificada” do que da palavra “verdadeira”, da definição platônica. Para os autores, na tradição epistemológica ocidental, a veracidade é o atributo essencial do conhecimento, sendo absoluto e estático. Portanto não humana. Para considerar o relativo, o dinâmico e o humanístico no conhecimento é preciso considerar o contexto.

De acordo Nonaka, Toyama e Konno (2000), o conhecimento sem contexto é somente informação. Nesse sentido, Schreiber et al (2000)

discordam em parte, ao definir informação como um dado equipado com significado para o contexto humano. Schreiber et al (2000) alerta para a dificuldade de confusão entre os limites entre os termos conhecimento e informação.

Shedroff (1999) também ressalta que informação e conhecimento são contextuais como Schreiber et al (2000), mas de modo diferente. A informação possui um contexto global enquanto o conhecimento está num contexto local. (Fig. 4)

Figura 4 - Estrutura hierárquica do saber.



Fonte: Adaptado de Shedroff (1999).

É de relevância a distinção dos limites entre dado, informação e conhecimento para conseguir apontar aonde está o gargalo/potencialidade de uma determinada tarefa, departamento ou organização.

No âmbito geral é importante considerar que nas definições de conhecimento citadas, todas ressaltam a experiência individual. Embora o conhecimento é atrelado a condição humana ele pode estar dentro de um sistema especialista como Inteligência Artificial (IA) após ter sido extraído e sistematizado pela Engenharia do Conhecimento (EC).

2.1.1 Tipos de Conhecimento

O conhecimento é dividido em diferentes tipos baseado em classificações que consideram o contexto no qual ele se apresenta. Ter clareza desses tipos de conhecimento é essencial para uma pesquisa que envolva alguma abordagem de extração, sistematização, organização, disseminação ou compartilhamento do conhecimento.

A classificação comumente utilizado do conhecimento é a divisão em conhecimento **declarativo** e conhecimento **procedimental** (STERNBERG,2010, p.226).

O conhecimento **declarativo** é relativo aos fatos que podem ser enunciados, assim como data de nascimento ou como um coelho aparenta ser.

O conhecimento de **procedimentos** é relacionado aos passos que podem ser necessários para dar um laço no sapato ou dirigir um carro. Está relacionado a memória procedural. A distinção entre ambos é entre “saber que” e “saber como” (RYLE, 1949). Sternberg (2010) delinea o conhecimento declarativo como consciente e explícito e o conhecimento procedural como inconsciente, implícito e automático

Kratochvil (2009) propõe outro tipo de conhecimento que é o **condicional**. Este está ligado ao “Quando e Porquê”, descrevendo as circunstâncias de aplicação dos procedimentos. Este conhecimento condicional aparece em Chester (2007) como conhecimento de estratégias na modelagem 3D. O autor descreve como sendo o conhecimento ligado ao controle de funções, sendo utilizado para escolha de soluções para resolução de problema, monitorar o progresso, prever consequências e avaliar ações. É o conhecimento que determina quando e por que usar os procedimentos conhecidos. Chester (2007) não utiliza o termo conhecimento condicional e refere-se muitas vezes à este conhecimento como estratégico. Pela característica de monitoramento, avaliação e predição, Chester (2007) descreve também o conhecimento estratégico como metacognição.

Outra classificação também relevante do conhecimento é quanto a internalização/externalização. Nonaka e Takeuchi (1995) utiliza nas suas pesquisas a taxonomia de conhecimento **tácito** e conhecimento **explícito**. Essa classificação analisa outra dimensão além da classificação descrita que divide o conhecimento em declarativo, procedimental e estratégico.

O conhecimento **tácito** está profundamente enraizado na ação, procedimentos, rotinas, compromisso, ideais, valores e emoções. Está incorporado em um conhecimento abrangente da mente humana e do corpo. É difícil comunicar o conhecimento tácito para outros, uma vez que é um processo análogo que requer um tipo de `processamento simultâneo". Polanyi (1966) afirma que as pessoas sabem mais do que

eles podem explicar; isto é, os indivíduos têm um conhecimento que é não-verbalizado, intuitivo e desarticulado. Schreiber et al (2000) pontua que o conhecimento tácito atua como *background* da capacidade/aptidão, parcialmente inconsciente e decorrente da experiência e é utilizado na resolução de problemas e outras tarefas humanas.

O conhecimento **explícito** é expresso numa linguagem formal e sistemática e distribuídos em forma de dados, formulários científicos, manuais. Pode ser processado, transmitido e armazenado com relativa facilidade. Binz-Scharf (2003) destaca que o exemplo clássico atual do conhecimento explícito são os grandes bancos de dados existentes.

Bins-Scharf (2003) faz um quadro síntese (Quadro 1) que reúne várias definições de taxonomias tendo por base a dualidade **tácito/explicito**.

Quadro 2 - Comparação de definições do conhecimento com base na dualidade do conhecimento Explícito e Tácito.

	Explícito	Tácito
Polanyi (1966)	Conhecimento que é verbalizado, escrito, desenhado ou de outra forma articulado	Conhecimento que não é verbalizado, intuitivo e desarticulado
Nonaka (1994)	Discreto, capturado em registros do passado	A atividade contínua de saber
Spender (1996)	Objetivado	Coletivo
Winter (1987)	Simples, ensinável, observável	Complexo, difícil de ser ensinado e observado
Anderson (1983)	Declarativo	Procedimental
Ryle (1949)	Sabe que (sabendo que algo existe)	Sabe como (Sabendo como algo opera)
Hedlund (1994)	Conhecimento bem definido incorporado em produtos, serviços ou artefatos	Conhecimento mais cognitivo na forma de constructos e preceitos mentais
Kogut & Zander (1992)	Informação	Saber como
Weiss (1998)	Conhecimento racionalizado	Conhecimento incorporado

Fonte: Bins-Scharf (2003. Tradução nossa)

Observa-se que Bins-Scharf (2003) posiciona o conhecimento Explícito com o Declarativo e o Tácito com o Procedimental na linha de Anderson (1983). Embora questionável esse alinhamento rígido, ressalta-se que o modo de proceder numa tarefa dependendo da atividade têm realmente um variável personalizada muito proeminente.

Numa atividade como a manipulação de um maquinário da indústria o *script* da tarefa é rígido visando a produtividade e a segurança

do empregado. Na atividade do design, da arquitetura, da engenharia e da modelagem digital 3D, o modo de proceder é mais flexível pois depende do contexto do que será produzido. Por conta disso o modo de agir é mais customizado a maneira de ser do indivíduo baseado no conhecimento explícito e tácito que possui. O conhecimento do tipo explícito na atividade de modelagem 3D está presente atualmente nos manuais do fabricante e tutoriais *on line*. Porém há muito conhecimento tácito que pode ser descoberto, sistematizado e incorporado ao conhecimento explícito existente.

2.2.2 Criação do Conhecimento

Nonaka, Toyama e Konno (2000) relatam que a criação do conhecimento é um processo de auto superação contínua aonde a fronteira do velho é superado pelo novo pela aquisição de uma nova visão de mundo, um novo contexto e um novo conhecimento. Em síntese é sempre a jornada no sentido do ser para tornar-se.

Porém, para alcançar o novo conhecimento citado, Nonaka, Toyama e Konno (2000) relata que não basta ter o conhecimento explícito ou o tácito. É necessário a junção de ambos os conhecimentos em complementaridade. A criação do conhecimento ocorre pela interação entre o explícito e o tácito.

Visando a criação de novos conhecimentos Nonaka e Takeuchi (1997) propõe o modelo SECI (Fig 5).

Este modelo consiste em interações entre tácito e explícito visando o avanço do conhecimento. O modelo está dividido em quatro dimensões: Socialização, Externalização, Combinação e Internalização.

A **Socialização** consiste na conversão de tácito para tácito, é o processo de conversão de novo conhecimento tácito através de experiências compartilhadas. Como o conhecimento tácito é difícil de formalizar, muitas vezes o conhecimento tácito só pode ser adquirida através da experiência compartilhada, como gastar tempo juntos ou viver no mesmo ambiente.

A Socialização geralmente ocorre em uma aprendizagem usual, aonde aprendizes absorvem o conhecimento tácito necessário ao seu ofício através da experiência direta, em vez de manuais escritos ou livros didáticos. A socialização também pode ocorrer de modo informal em reuniões sociais fora do local de trabalho, onde o conhecimento tácito, tais como visões de mundo, modelos mentais e confiança mútua podem ser criados e compartilhados. A socialização também ocorre além dos limites organizacionais. As empresas costumam adquirir e tirar proveito

do conhecimento tácito incorporado em clientes ou fornecedores por interagir com elas. (NONAKA, TOYAMA e KONNO, 2000).

Figura 5 - Modelo SECI.



Fonte: Adaptado de Nonaka, Toyama e Konno (2000)

A **Externalização** é a conversão de tácito para explícito. Quando o conhecimento tácito é transformado em explícito ele é cristalizado, permitindo assim que seja partilhado por outros, e torna-se a base de novos conhecimentos. O conceito de criação no desenvolvimento de novos produtos é um exemplo deste processo de conversão. Outro exemplo é um círculo de controle de qualidade, que permite que os funcionários façam melhorias sobre o processo de fabricação, articulando o conhecimento tácito acumulado dentro da fábrica ao longo de anos no trabalho. (NONAKA, TOYAMA e KONNO, 2000).

A **Combinação** é a conversão de explícito para explícito. Consiste em converter o conhecimento explícito em conjuntos mais complexos e sistemáticos de conhecimento explícito. O conhecimento explícito é recolhido a partir de dentro ou fora da organização para em seguida ser combinado, editados ou processados para formar novos conhecimentos. O novo conhecimento explícito é então disseminado entre os membros da organização. O uso criativo de redes informáticas de comunicação e

bancos de dados de grande escala pode facilitar esse modo de conversão do conhecimento. Quando o controlador de uma empresa coleta informações em toda a organização e coloca junto num contexto para fazer um relatório financeiro. Este relatório é o novo conhecimento de modo que sintetiza o conhecimento de muitas fontes diferentes num contexto. O modo de combinação de conversão do conhecimento é incluir a quebra de paradigma ao propor uma nova visão corporativa de negócios e produtos. Isso explicita novos conhecimentos. (NONAKA, TOYAMA e KONNO,2000).

A **Internalização** é a conversão de explícito para tácito. Através da internalização, o conhecimento explícito criado é compartilhado por toda a organização e convertido em conhecimento tácito por indivíduos. Internalização está intimamente relacionado com “aprender fazendo”. O conhecimento explícito, tais como os conceitos de produtos ou os processos de fabricação, tende a sofrer atualização através da ação e prática. Programas de treinamento, por exemplo, podem ajudar os formandos a compreender uma organização e a si mesmos. Ao ler documentos ou manuais sobre seus trabalhos e organização, os estagiários podem internalizar o conhecimento explícito escrito em tais documentos para enriquecer sua base de conhecimento tácito.

Quando o conhecimento é internalizado para tornar-se parte da base de conhecimento tácito individual na forma de um modelo mental compartilhado torna-se um bem valioso. Esse conhecimento tácito acumulado no nível individual pode então detonar uma nova espiral de criação de conhecimento, quando é compartilhado com os outros através da socialização. (NONAKA, TOYAMA e KONNO, 2000).

Especificamente no domínio da tarefa de modelagem digital 3D, foco desta tese, é possível fazer associação direta com as estratégias de criação de conhecimento expostos. A Internalização acontece frequentemente em decorrência dos diversos cursos e treinamentos existentes e a Socialização através da troca de conhecimento existente principalmente dentro de fóruns e redes sociais.

No entanto, a Externalização e Combinação apresenta-se como desafio pela necessidade de se organizar um repositório de conhecimento sistematizado que apresente as melhores práticas. A indústria de softwares CAD necessita desta Externalização e posterior Combinação visando a melhoria do controle de qualidade e proposição de novos produtos e processos.

2.2.3 Expertise

A pesquisa sobre expertise abarca diversos domínios. Com isso há uma diversidade de definições para expertise. Matlin (2004) define expertise como uma “performance consistentemente superior em um determinado conjunto de tarefas representativas de uma área em particular”. Mieg (2001) aponta dois aspectos da expertise que são desempenho superior e especialização. Mieg (2001) descreve que nenhuma por si só define expertise. A definição de expertise pelo autor é desempenho superior baseado numa especialização.

Outra definição de expertise é dada por Sternberg (1990) que propõe que os experts podem fazer coisas “automaticamente” enquanto os novatos fazem com grande esforço. De acordo Sternberg e Grigorenko (2003), a habilidade de processar informação de maneira automática libera o expert para usar o controle executivo para a tarefa de planejamento, monitoramento e revisão. As informações que são processadas de modo automatizado ocorrem de modo subjacente e paralelo às atividades do controle executivo. Entretanto, o Novato se dedica a um processamento em serial ao processar o conhecimento necessário para controle do domínio da tarefa exigindo um gasto de tempo elevado.

Chi, Glaser e Farr (1988) argumentam que a *expertise* é caracterizada por altos níveis de domínio do conhecimento, velocidade no tempo de execução da tarefa e superioridade tanto na memória de longo termo quanto na memória de trabalho. Os *experts* têm grande habilidade de reconhecer padrões significativos. Pesquisa de Groot (1965) apontou a capacidade de *experts* em jogo de xadrez de serem aptos a reconhecer ampla quantidade de jogadas válidas. Essa capacidade de reconhecer grande quantidade de jogadas foi identificado em pesquisa posterior de Cooke et al (1993). Numa atividade como a modelagem 3D pesquisada nesta tese, verifica-se semelhança com o xadrez no aspecto de reconhecer diversos padrões significativos. Quanto mais formas de modelar o profissional tiver conhecimento, maiores as possibilidades de resolução de problema e de eficiência.

As estruturas utilizadas para lembrar e reconhecer padrões de informação de um domínio em particular são algumas vezes descritos como esquemas (MATLIN, 2004). Esquema é uma estrutura mental para organizar o conhecimento que cria conceitos relacionados baseado no significado (STERNBERG, 2010). Os esquemas na modelagem 3D permitem, por exemplo, o reconhecimento de complexas combinações

entre comandos e ações. Além dos esquemas estruturados pelos *experts* Custers, Boshuizen, e Schmidt (1998) argumentam que os *experts* desenvolvem roteiros (scripts) das suas atividades. Os roteiros descrevem seqüências apropriadas de eventos em um determinado contexto (STERNBERG, 2010). Os *experts* têm organizado de forma definitiva a seqüência de ações que deve realizar num domínio específico. Na modelagem 3D, tanto o reconhecimento de padrões quanto o sequenciamento de ações, se apresentam como estruturadores do conhecimento declarativo e procedimental da tarefa.

2.2.4 Elicitação do Conhecimento/Expertise

Na atual sociedade em rede descrita por Castells e Gerhardt (2000) o conhecimento se configura como ativo estratégico de empresas e nações. Entender como ocorre o conhecimento em diversos domínios e como se atinge a expertise é um diferencial para criação de novos produtos e processos. A Engenharia do Conhecimento têm um papel relevante neste processo ao propor sistemas informatizadas baseados no conhecimento identificado em diversos domínios.

Nazário et al (2012) descreve que o termo Engenharia do Conhecimento (EC) nasceu na área da Inteligência Artificial (IA) como uma subárea dedicada à concepção, desenvolvimento e implantação de sistemas especialistas. Na Engenharia do Conhecimento Clássica, os pesquisadores buscaram “transferir” ou “extrair” o conhecimento do especialista para uma base de conhecimento. Nazário et al (2012) aponta que na Nova Engenharia do Conhecimento muda-se o paradigma de se extrair somente o conhecimento do especialista para o sistema. A partir do novo paradigma, o conhecimento identificado nas pessoas, arquivos e sistemas deve ser extraído e modelado em um formato computacional.

Dentro da Engenharia do Conhecimento, a ação de captar o conhecimento de pessoas, arquivos e sistemas é conhecido como Aquisição do Conhecimento (*Knowledge Acquisition – KA*). Existe duas divisões na Aquisição do Conhecimento. Hoffman et al (1995) divide em direta e indireta. A aquisição direta seria a apropriação do conhecimento com as pessoas através de entrevista ou outro tipo de método. A aquisição indireta é extraída da análise de textos e relatórios. Numa revisão atualizada desta divisão, a aquisição direta das pessoas é denominada Elicitação do Conhecimento e a aquisição de fontes não humanas é denominado de Extração do Conhecimento (NAZÁRIO et al, 2012).

2.2.5 Técnicas de eliciação da *expertise*

Existe um conjunto de técnicas de Extração e de Eliciação do Conhecimento. Como o objetivo desta tese é a identificação direta da *expertise* dos usuários de softwares CAD, foi feita a análise somente de técnicas de Eliciação. Em Hoffman et al (1995) é apresentado e analisado um conjunto de técnicas de eliciação da *expertise*.

Hoffman et al (1995) divide as técnicas de eliciação da *expertise* em três grupos: Análise de Tarefas Familiares, Entrevistas e Técnicas Forjadas. O primeiro grupo - Análise de Tarefas Familiares-, é investigado o que o *expert* faz quando é necessário a resolução de problemas e tomada de decisão em situações conhecidas. Neste primeiro grupo Hoffman et al (1995) lista as seguintes técnicas: análise de documentação, análise da tarefa, pensar alto (*Think Aloud*). O segundo grupo Entrevistas é dividido em; entrevistas estruturadas e semi-estruturadas. O terceiro grupo descrito como Técnicas forjadas é o oposto do primeiro. Neste grupo, os *experts* são colocados em novas situações diferente do que estão habituados para resolução de problemas. O grupo está dividido em: Análise de decisão, análise de decisão em grupo, ranqueamento e tarefas sorteadas, processos restritos e construção de gráficos.

Na análise das técnicas verifica-se a existência de dois tipos bem definidos. Um tipo de técnica busca a identificação do padrão de comportamento do *expert*. Técnicas deste tipo são: Análise de Documentação e Análise da Tarefa. O outro tipo busca identificar os processos cognitivos que conduzem à *expertise*. Isso é alcançado, por exemplo, com as técnicas: *Think Aloud*, Entrevistas e Construção de Gráficos.

Analisando estes tipos no domínio da modelagem 3D, o primeiro tipo de eliciação busca identificar como o *expert* procede, como se vê nos trabalhos de Lang et al (1991) e Chi, Lan e Tsai (2000). No segundo tipo busca-se entender porque o *expert* toma determinadas decisões na resolução do problema de modelagem, como se vê em Bhavnani e Garret (1993) e Chester (2008). A pesquisa desta tese se enquadra no primeiro tipo que busca identificar como o *expert* age para atingir alto desempenho.

Cooke (2000), na classificação da Eliciação do Conhecimento, propõe o Rastreamento do Processo visando identificar o padrão de comportamento do *expert*. Cooke (2000) descreve o Rastreamento do Processo como um método observacional de eliciação dos dados. Cooke (2000) relata como ocorre o Rastreamento de Processo: “É coletado uma sequência de eventos comportamentais e a partir da análise dos resultados

protocolados pode ser feito inferências dos processos cognitivos subjacentes”.

2.2 MODELAGEM DIGITAL 3D – SOFTWARES CAD

A modelagem digital 3D voltada ao desenvolvimento de projeto é representada pela sigla CAD (*Computer Aided Design*) que significa Projeto Assistido por Computador. O início do desenvolvimento do software CAD foi na universidade americana do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) no início dos anos 60 (KALAY, 2004).

Em 1963, como parte de seu Ph.D no MIT, Ivan Sutherland desenvolveu um meio de integrar os sistemas computacionais existentes à época com o desenho de projeto. Junto com seu orientador Steven Coons, propuseram o conceito de CAD e as ferramentas para implementá-lo. Foi desenvolvido o sistema denominado *Sketchpad* (Fig. 6).

O *Sketchpad* era composto por um monitor CRT , uma caneta de luz que desenhava diretamente na tela e um terminal com botões que formava comandos básicos como fazer linha. Também possuía *dials* para rotação ou mudança de tamanho das figuras desenhadas. (WEISBERG, 2008).

Figura 6 - Ivan Sutherland trabalhando no *Sketchpad*.



Fonte: Weisberg (2008).

A proposta de Sutherland gerou interesse de toda a indústria de projeto, principalmente o setor automobilístico e aeroespacial. Com isso houve uma difusão de pesquisas nas universidades americanas e posteriormente britânicas. Deste período, destaca-se o sistema URBAN5 desenvolvido por Nicholas Negroponte no MIT em 1964, os sistemas OXSYS e HARNESS na universidade de Cambridge em 1970 e o sistema BDS (*Building Description Systems*) por Charles Eastman na Universidade Carnegie Mellon em 1974 e (KALAY, 2004).

Este primeiro período que vai até o final dos anos 70 compõe o que se denomina primeira geração de CAD. Kalay (2004) divide a história do CAD em 3 gerações; a primeira, que começou nos anos 60 e terminou no início dos anos 80; a segunda que começou no início dos anos 80 e foi até início dos anos 90 e a terceira fase, dos anos 90 até os dias atuais

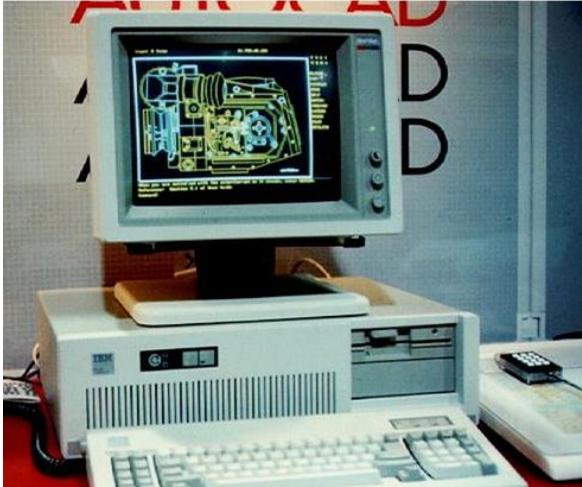
Cada geração é marcada por características específicas com softwares representativos de cada período. Na primeira geração, não havia o conceito contemporâneo de software. O CAD era um sistema integrado que incluía *software* e *hardware* no mesmo equipamento. Na fase inicial, os principais clientes eram as indústrias automobilísticas. Os sistemas CAD eram caros e com baixo desempenho computacional. Um sistema CAD do período tinha 512 Kbytes de memória, espaço de armazenamento de 20 a 300 Mbytes e preço de 125 mil dólares. (WEISBERG, 2008). Destaca-se neste período os sistemas CAD utilizado pela General Motors (CADANCE) e Lockheed (CADAM).

A segunda geração de CAD é caracterizada pelo surgimento do computador pessoal (PC – *Personal Computer*) e pelo conceito de software utilizado atualmente (Fig. 7). Houve diferença no modo como foi disseminado o CAD da segunda geração em relação à primeira. No primeiro período, houve em esforço em criar uma ferramenta computacional que suportasse o processo de projeto, dentro do âmbito do desenvolvimento de pesquisas com Inteligência Artificial. Na segunda geração, houve um arrefecimento do âmbito inicial de conceber um CAD que auxilia o processo de projeto. A partir disso surgiu os softwares CAD com suporte ao processo de desenho. O softwares representativos do período são o AutoCAD de 1982 e MicroStation de 1985.

A terceira geração é definida pelo ganho de potencial de hardware e pelo resgate do ideal dos anos 70 ao utilizar o CAD como ferramenta de suporte ao projeto (KALAY, 2004). Destaca-se o surgimento do primeiro *software* comercial de modelagem parametrizada - Pro – Engineer (1988) e o surgimento do ArchiCAD (1987), que foi o primeiro software

comercial com a tecnologia BIM - (*Building Information Modeling*) (SVETEL, JARIĆ e BUDIMIR, 2014).

Figura 7- IBM PC com software AutoCAD.



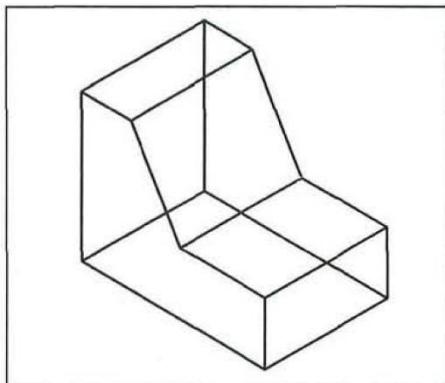
Fonte: Weisberg (2008).

Na atual geração do CAD, a evolução do *hardware* em termos de processamento gráfico associado ao resgate de uso de elementos de projeto ao invés de elementos de desenho, traz a modelagem 3D para o centro do desenvolvimento de projeto. Na área de edificações, o modelo 3D se consolida como o conceito de “*Virtual Building*” implementado pela primeira vez pelo ArchiCAD em 87 (SVETEL, JARIĆ e BUDIMIR, 2014). Na etapa de projeto, é realizada toda a construção virtual da edificação com todas as suas características para em etapa posterior realizar a construção do edifício físico.

2.2.1 Tipos de Classificação da Modelagem Digital 3D

Em todas as três gerações, os softwares CAD permitiram o desenho e a modelagem 3D. A modelagem 3D evoluiu em paralelo com aumento da capacidade gráfica dos computadores. Na década de 70 na área de Modelagem Geométrica, o esquema de representação 3D era do tipo aramada (*wireframe*) decorrente da necessidade de economia de recursos computacionais. (Fig. 8)

Figura 8 - Modelo 3D com esquemas de representação aramada (*Wireframe*).



Fonte: Ault (2009).

Com o avanço do *hardware* novas estruturas de dados 3D são propostas. Estas estruturas de dados compõe a classificação quanto aos tipos existentes de modelos geométricos. Os tipos de modelos geométricos são *Wireframe Models*, *Surface Models* e *Solid Models* (KALAY, 2004; AULT, 2012).

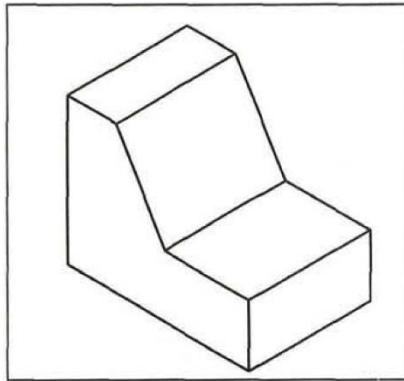
Os modelos geométricos do tipo *Wireframe Models* predominavam nos anos 70 pela baixa exigência de recurso computacional e facilidade de construção. O modelo 3D só possui as arestas, que são construídas somente por linhas e pontos. (Fig 8). Embora tenha algumas vantagens, o *Wireframe Model* têm como desvantagem não poder ter clareza de como é o modelo 3D, dificultando o entendimento, principalmente de vistas ortogonais. Outra desvantagem é que não é possível fazer o cálculo de área e volume pela ausência de faces.

O modelo geométrico do tipo *Surface Model* traz como evolução a presença das faces que estão ausentes no modelo geométrico *Wireframe*. O *Surface Model* permite uma clareza na visualização da volumetria pela capacidade de ocultar as arestas atrás das faces (Fig. 9). O *Surface Model* é composto essencialmente por um conjunto polígonos não relacionados. Um cubo feito com *Surface Model* é na sua estrutura de dados um conjunto de seis polígonos. A desvantagem da estrutura de dados é que não permite a detecção de intersecção de faces e o cálculo de volume.

O modelo geométrico do tipo *Solid Modeling*, criado nos anos 80, é definido por Ault (2009) como a melhor ferramenta de projeto feito em

termos de computação gráfica. Essa afirmação é pelo fato do *Solid Modeling* permitir, pela sua estrutura, uma representação próxima ao objeto real quanto as suas propriedades. É possível com isso calcular volume e analisar intersecções.

Figura 9 - Modelo geométrico com estrutura de dados do tipo *Surface Model*.



Fonte: Ault (2009).

A modelo geométrico *Solid Modeling* possui um conjunto de técnicas para sua criação. Destaca-se algumas técnicas básicas como: *Constructive Solid Geometry* (CSG), *Boundary Representation* (B-rep), *Feature-Based Modeling* e *Constraint-Based Modeling* (KALAY, 2004; AULT, 2012).

A técnica *Constructive Solid Geometry* consiste na criação de modelos 3D a partir de primitivas que são objetos conhecidos: cubo, pirâmide, cilindro, cone etc... Através de operações como união, subtração e intersecção é possível criar diversas formas.

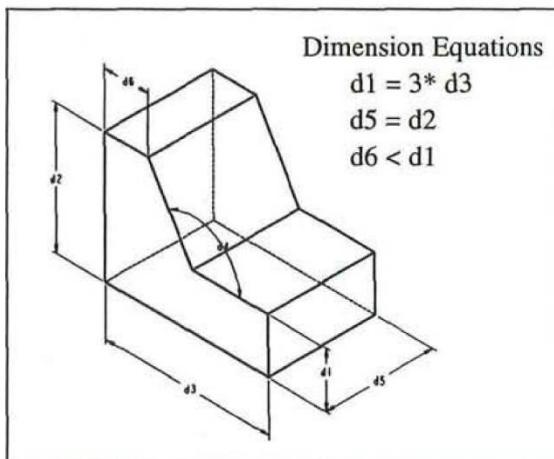
A técnica *Boundary Representation* (B-rep) gera maior possibilidade formal que a CSG pois não trabalha com primitivas. A representação do cubo é feita pela unidade básica que é o polígono. Através de transformações nestes polígonos é possível criar diversas formas.

A técnica *Feature-Based Modeling* está presente principalmente em softwares de engenharia mecânica e design de produto como o *Pro-Engineer*, *NX*, e *Solidworks*. A técnica consiste em aplicar transformações geométricas específicas que criam elementos que as peças mecânicas possuem como; chanfros, furos, cantoneiras, flanges e entalhes. Os

softwares que utilizam a técnica *Feature-Based Modeling* têm o histórico do registro de comandos utilizados (*features*).

A técnica de *Constraint-Based Modeling* consiste numa modelagem paramétrica aonde as relações dimensionais definem o formato do objeto 3D (Fig. 10) (KALAY, 2004; AULT, 2012). Este tipo de modelagem está presente em softwares como *Pro-Engineer*, *Revit*, e *Solidworks*.

Figura 10 - Modelo geométrico com estrutura de dados do tipo paramétrico.



Fonte: Ault (2009).

Além dos tipos de modelos geométricos e das técnicas usadas no *Solid Modeling*, as modelagens 3D são classificadas de acordo a interação com o modelo 3D. Quando o usuário interage diretamente na geometria clicando com o mouse movendo vértices, arestas e faces, a modelagem é conhecida como Modelagem Direta (*Direct Modeling*). Quando o usuário não interage diretamente com a geometria e a troca das variáveis para criar/alterar a geometria ocorre em caixas de diálogo é conhecido como Modelagem Paramétrica (*Parametric Modeling*). Há modelagens que possuem os dois tipos de interação que define um sistema híbrido aonde o usuário interage com o modelo das duas formas. Um exemplo de sistema híbrido é a técnica de *Constraint-Based Modeling* aonde um comando como a Extrusão pode ter seu valor alterado diretamente no modelo 3D ou pela alteração da variável direto na caixa de diálogo.

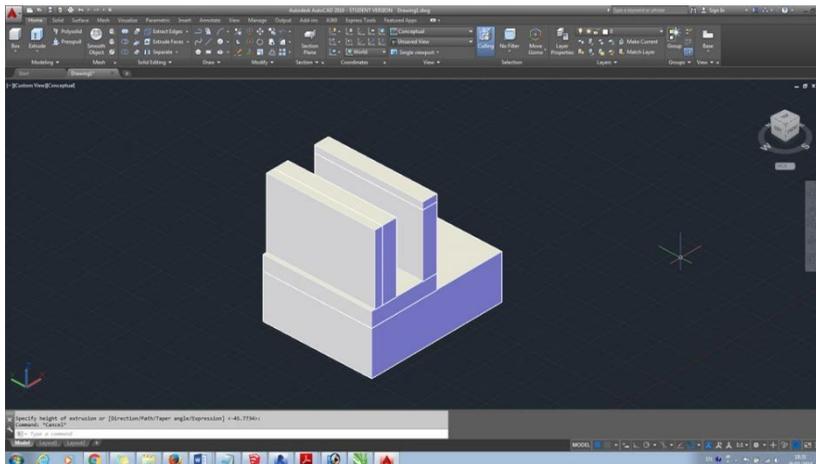
Na Figura 11 está uma síntese representado os softwares utilizados para projetos/visualizações em Arquitetura e Engenharia com suas respectivas classificações quanto à interação com o modelo 3D.

Figura 11- Classificação do software de acordo à interação com o modelo 3D.

Modelagem Direta	Modelagem Híbrida		Modelagem Paramétrica
	NX software		Plugin Dynamo para Revit
AutoCAD	3DS MAX	Pro-Engineer	Plugin Grasshoper para Rhino 3D
Sketchup	ArchiCAD	Solidworks	
		Revit	Inventor
Rhino 3D	MicroStation	Vectorworks	Generative Components

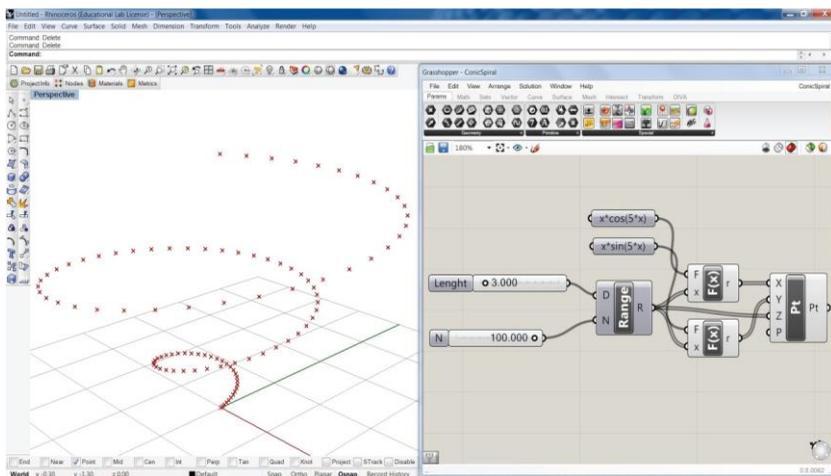
Fonte: Autor

Figura 12 - AutoCAD - aplicativo de Modelagem Direta.



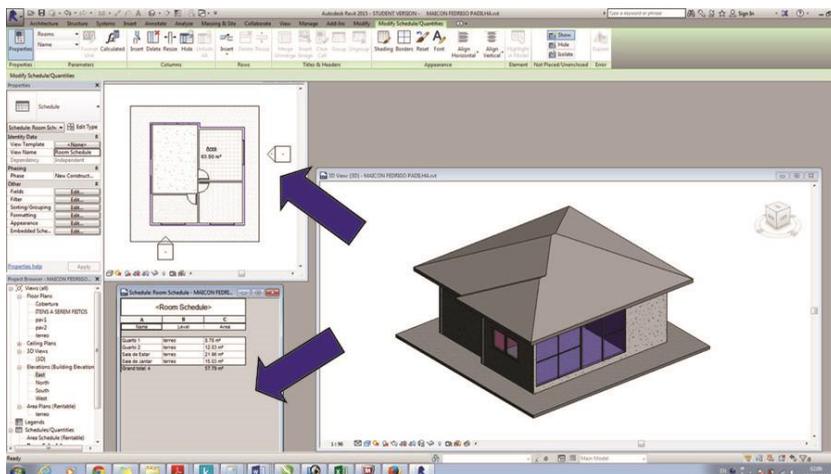
Fonte: Autor

Figura 13 - Plugin Grasshopper para Rhino3D - aplicativo de Modelagem Paramétrica.



Fonte: Leitão, Lopes e Santos (2012)

Figura 14 - Software Revit - aplicativo de Modelagem Híbrida.



Fonte: Autor

2.3 TIPOS DE CONHECIMENTO NA MODELAGEM 3D

Para entendimento e identificação da *expertise* na modelagem digital 3D é necessário verificar como se manifesta os diferentes tipos de conhecimento na atividade. A análise tomou por base como os diversos trabalhos do Quadro Comparativo (Apêndice B) identificam os três conhecimentos dentro do processo de modelagem.

Os três tipos de conhecimento citado no item 2.1, conhecimento declarativo, conhecimento procedimental e conhecimento estratégico (também citado como metacognição e conhecimento condicional) não são vistos da mesma forma pelos autores quando da sua aplicação na atividade de modelagem 3D.

Lang et al (1991) e Peng et al (2012) não citam a existência de um conhecimento estratégico. Quando cita estratégia e planejamento na tarefa se refere ao conhecimento procedimental. Estratégia e procedimento aparecem como um único bloco de conhecimento.

Para Bhavnani e Garret (1993), Bhavnani, John e Flemming (1999), Chester (2007, 2008), Hartman (2005) e Rynne, Gaughran e Seery (2011), a estratégia durante o ato de modelagem é citado como um ente separado do procedimental e do declarativo. Para estes pesquisadores a estratégia é o principal componente da *expertise*.

Para esta tese foi considerado a classificação de três tipos de conhecimento. Nos próximos itens analisa-se os três tipos de conhecimento e sua manifestação na atividade de modelagem 3D.

2.3.1 Conhecimento Declarativo na Modelagem 3D

O conhecimento declarativo da modelagem 3D possui diversas espectros. Este conhecimento abrange todo o conhecimento técnico necessário à tarefa de modelagem 3D. Uma referência para conhecimento declarativo é o artigo de Hamade e Artail (2008). Neste trabalho se analisa diversos conhecimentos e o desempenho na tarefa. São analisados conhecimentos em matemática básica e avançada, geometria analítica e conhecimento em hardware. Este conhecimento declarativo descrito é genérico pelo fato de ser atributos técnicos para se trabalhar com qualquer aplicativo CAD. Além do espectro do conhecimento declarativo genérico há os conhecimentos declarativos específicos de CAD, como o funcionamento específico da ferramenta escolhida pelo usuário para desenvolvimento de uma modelagem 3D.

O conhecimento declarativo específico é voltado ao software que o usuário trabalha. Envolve saber quais comandos existem, para que

servem, quando devem ser usados. Como descreve Chester (2007) o conhecimento declarativo específico é o conhecimento sobre comandos ou algoritmos disponíveis num software CAD. É modo individualizado de criar linhas, copiar objetos e criar extrusões.

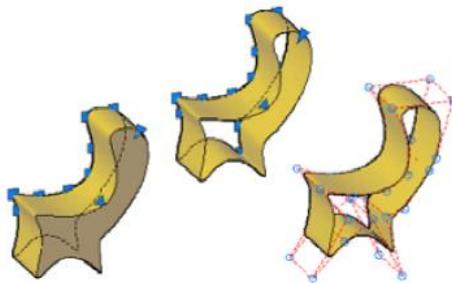
O conhecimento declarativo, tomando por base Nonaka e Takeuchi (1995) é definido como um conhecimento explícito. Este conhecimento explícito está presente nos manuais das empresas que produzem os *softwares*. Os livros e manuais como em *Autodesk* (2013) ou em *Sketchup User's Guide* mostram o Conhecimento Declarativo, que é um conceito, ideia a respeito de algo, como define Sterberg (2010, p.268). Nestes manuais, são apresentadas as informações para o que se destina o programa, como está organizada a interface, o que faz cada comando e como ele é operacionalizado (Fig.15).

Figura 15 - Informação de funcionamento do comando Extrude na modelagem 3D no software AutoCAD.

Create a Solid or Surface by Extruding

Create a 3D solid or surface by stretching curves into 3D space.

The EXTRUDE command creates a solid or surface that extends the shape of a curve. Open curves create surfaces and closed curves create solids or surfaces. See [Overview of Creating Solids and Surfaces](#) (page 342).



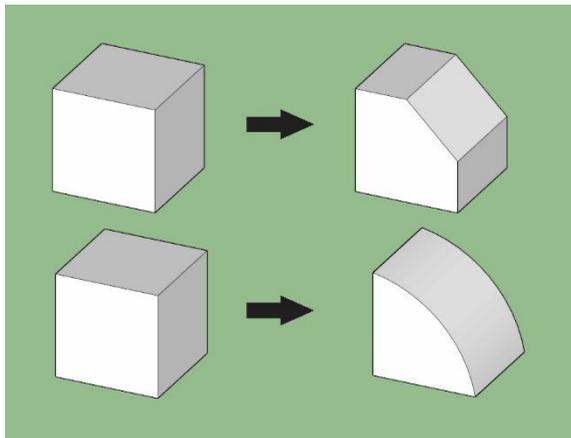
Fonte: Autodesk (2012).

2.3.2 Conhecimento Procedimental na Modelagem 3D

Diferentemente do Conhecimento Declarativo, o Conhecimento Procedimental está diretamente ligado a ação, a experiência de produzir modelos 3D nos *softwares* CAD. Envolve saber combinar comandos e ações para produzir figuras como a esfera, pirâmides e cones ou modelos complexos. Envolve saber moldar peças e modelos específicos em todos

os seus detalhes como chanfros, arredondamentos, partes adicionadas e subtraídas (Fig 16). Quando o usuário não sabe como fazer uma peça ou uma parte da peça é devido a falta do Conhecimento Procedimental.

Figura 16 - Procedimento de alteração de um cubo.



Fonte: Autor

Lang et al (1991) relata que estudos apontam que o conhecimento procedimental tem igual ou maior influência no desempenho da tarefa de modelagem 3D se comparado ao conhecimento declarativo. O autor indaga porque os manuais CAD não ensinam este conhecimento. Não há, portanto, nos manuais, informações detalhadas de como proceder. Lang et al (1991) avalia que a falta do conhecimento procedimental nos manuais é decorrente do fato que este tipo de conhecimento não é fácil de ser verbalizado e os indivíduos estão constantemente propondo novos modos diferenciados de proceder dentro do *software*. Configura-se, portanto, como um conhecimento tácito sempre em evolução.

O conhecimento procedimental para modelagem 3D é possível de ser encontrado em tutoriais no qual os usuários demonstram como se deve proceder. Existem tutoriais oficiais presentes nos *sites* das empresas de *software* (Ex: *Site* AREA da Autodesk. <https://area.autodesk.com/tutorials>), em iniciativa de usuários (Ex: tutoriais no Youtube.com) e empresas de treinamento (Ex: *sites* lynda.com e render.com.br). Porém, estes tutoriais apresentam somente uma forma de proceder para cada modelo 3D escolhido segundo critério desconhecido. Não há, portanto, o enfoque em apontar quais comandos, troca de visualização e configurações devem ser utilizados com

prevalência na maior parte dos modelos 3D com objetivo de reduzir o tempo de modelagem. Portanto, fica a critério de cada usuário através de cursos em centros de treinamento, estudo dirigido e autodidatismo fazer esta descoberta de modo individualizado. Com isso, cada usuário desenvolve um “estilo de modelagem” próprio, que seria a repetição sistemática de um grupo de procedimentos na tarefa de modelagem 3D.

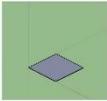
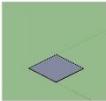
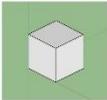
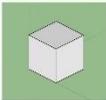
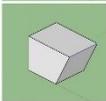
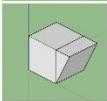
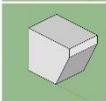
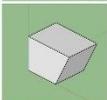
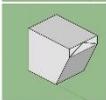
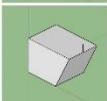
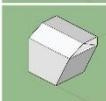
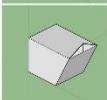
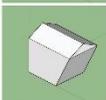
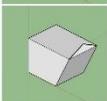
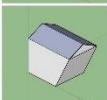
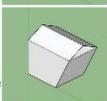
2.3.3 Conhecimento Estratégico na Modelagem 3D

Observa-se na Figura 17, um exemplo de dois modeladores, que possuem o conhecimento declarativo e procedimental necessário para realizar a tarefa de modelagem. Porém verifica-se que existe diferença evidente no desempenho. Das formas de proceder existentes, o modelador B escolheu a sequência com menor quantidade de comandos. Com isso, o modelador B conseguiu finalizar o modelo 3D em 7 passos em comparação com o modelador A que fez em 10 passos. O conhecimento envolvido em escolher a forma mais produtiva de se trabalhar é a que autores como Bhavnani e Garret (1993), Bhavnani, John e Flemming (1999), Chester (2007, 2008), Hartman (2005) e Rynne, Gaughran e Seery (2011) denominam conhecimento estratégico.

A estratégia é descrita como sendo uma função cognitiva que escolhe entre métodos alternativos de resolução de problema, monitora o progresso da atividade, prediz as consequências das ações, avalia procedimentos e troca entre métodos de resolução de problemas. Diante destas características, muitas vezes, num processo de modelagem, a linha divisora entre procedimento e estratégia é tênue. Em decorrência disso há confusão em alguns trabalhos na definição destes limites. Não saber como proceder e encontrar uma forma de conseguir fazer modelo na insistência não pressupõe conhecimento estratégico. Isto é observado muitas vezes na técnica incisiva de tentativa e erro.

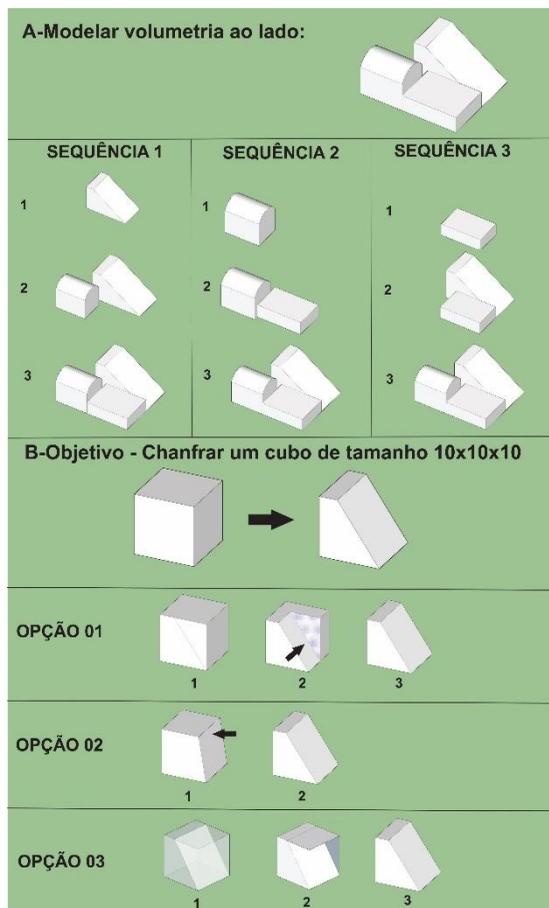
O conhecimento estratégico se traduz em fazer as melhores escolhas dentro de um universo já conhecido de possibilidades. Isso envolve definir a melhor sequência de sub tarefas a serem seguidas em prol de completar determinado modelo 3D (Fig.18a). Envolve também escolher a melhor sequência de comandos para resolver um modelo 3D ou parte deste (opção 1 – empurrar a face; opção 2- empurrar a aresta; opção 3- apagar faces e arestas – Fig.18b).

Figura 17 - A diferença de desempenho em decorrência do encadeamento de comandos (conhecimento procedimental) escolhidos dentro do mesmo software- Trimble Sketchup.

Modelador A		Modelador B	
01 Faz retângulo		01 Faz retângulo	
02 Faz extrusão		02 Faz extrusão	
03 Desenha triângulo lateral		03 Move Aresta	
04 Extruda triângulo lateral		04 Extruda face superior	
05 Apaga linhas		05 Desenha linha face frontal	
06 Desenha linha de marcação no meio		06 Subtrai parte 1	
07 Desenha triângulo		07 Subtrai parte 2	
08 Apaga linha de marcação			
09 Extrusão para parte posterior			
10 Inversão de face e fechamento da frente			

Fonte:Autor

Figura 18 - Exemplos do uso do conhecimento estratégico na modelagem 3D.



Fonte: Autor.

Após a seleção das melhores opções, a estratégia se define pela constante avaliação e monitoramento da tarefa verificando se as escolhas feitas estão conduzindo o processo a uma modelagem eficaz e eficiente. Além do monitoramento, a estratégia se define também pelo seu caráter preditivo.

O artigo de Peng et al (2012) ressalta este aspecto preditivo ao descrever a importância do conhecimento estratégico para se alcançar

modelos 3D de boa manutenção. No modo de sistema de trabalho colaborativo contemporâneo é comum a criação do modelo 3D ser compartilhada. Um profissional faz o modelo 3D inicial e a alteração deste modelo será feita por outro profissional. Por isso é importante deixar um modelo de fácil manutenção, que seja de rápida identificação de sua construção e de posterior edição facilitada. Peng et al (2012) destaca que muita pouca atenção é dada para ensinar os estudantes a criar modelos 3D que podem facilmente serem entendidos, alterados e reutilizado por outros.

A falta de ensino de estratégia de modelagem citada por Peng et al (2012) se deve pela própria natureza deste conhecimento. É um conhecimento tácito que está intimamente ligado a um contexto específico. Bhavnani, John e Flemming (1999) propõe um conjunto de ações estratégicas durante o processo de modelagem denominada de “estratégia abstrata”. De acordo os autores, estas “estratégias abstratas” podem ser utilizadas em todas as situações para ganho de desempenho independente do *software*. Mas no âmbito geral, a maioria dos autores descrevem que a estratégia que impacta a tarefa está fortemente influenciada pelo contexto no qual está inserido.

Ao contrário do conhecimento declarativo que possuem farto material disponível para estudo e consulta, como os manuais dos *softwares*, as estratégias na modelagem não são quase discutidas e explicitadas. Pela importância que é para ganho de produtividade na tarefa, verifica-se um relevante esforço de pesquisadores em identificar como são as melhores estratégias (CHI, LAN e TSAI, 2000; HARTMAN, 2005; RYNNE e GAUGHRAN, 2007; OPREAN e BALAKRIISHNAN, 2013) e de criar propostas pedagógicas para a capacitação na escolha das melhores estratégias na tarefa de modelagem 3D (BHAVNANI, JOHN e FLEMMING ,1999; CHESTER ,2007).

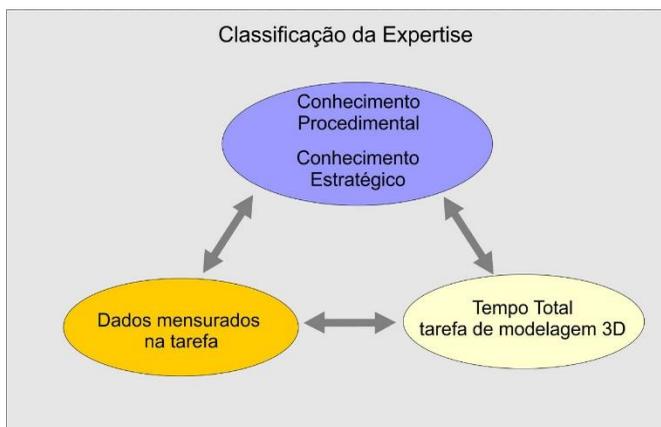
2.3.4 Conhecimentos avaliados na identificação da *expertise*

O modelo de avaliação e identificação da expertise definido neste trabalho é baseado em dois dos três conhecimentos citados. O foco é no conhecimento procedimental e no conhecimento estratégico. O conhecimento declarativo foi desconsiderado no modelo pelo fato de ser um conhecimento explícito, formalizado e que está amplamente estruturado no modo tradicional de ensino de computação gráfica. Além disso, autores como Lang et al (1991) demonstram que o impacto do

conhecimento declarativo no tempo total da tarefa não é tão relevante quanto os outros dois conhecimentos.

A partir disso a análise da composição do tempo total da tarefa, dos “estilos de modelagem” e da classificação propostas estarão em consonância direta com os procedimentos e as estratégias escolhidas (Fig.19).

Figura 19 - Componentes principais do modelo proposto de avaliação e identificação da expertise na atividade de modelagem 3D.



Fonte:Autor

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico desta pesquisa foi organizado visando gravar e protocolar os dados retirados de um teste realizado de modelagem 3D (apresentado no capítulo 4). A partir da organização destes dados é que se alcança o modelo de identificação da *expertise* que apontou as melhores práticas e possibilitou suprir as três lacunas apresentadas na introdução do trabalho. As lacunas são: uma análise global mais completa do tempo total da tarefa, classificação da expertise e identificação dos “estilos de modelagem”.

O processo de identificação de *expertise* é um processo de Externalização do conhecimento (NONAKA, TOYAMA e KONNO,2000) com a criação de um protocolo visando identificar a partir de dados recolhidos como se comporta o conhecimento tácito presente na atividade de modelagem 3D.

Essa pesquisa pela característica de seus objetivos, optou por utilizar o rastreamento do processo usando observação e registro de dados proposto por Cooke (2000). A técnica de observação visando um método **qualitativo** de análise e o registro dos dados da tarefa de modo protocolar para análise **quantitativa**.

3.1 – MÉTODO QUANTITATIVO

O método quantitativo de análise faz uso dos dados recolhidos do teste de modelagem 3D realizado (descrito no capítulo 4). Estes dados foram recolhidos na técnica de rastreamento de processo. Esse sistema consiste no registro de todas as ações de uma atividade. O teste de modelagem 3D, no qual consistia produzir três modelos 3D, foi gravado em vídeo direto da tela via software de captura. Posteriormente os vídeos foram assistidos e os dados da tarefa foram registrados. Foram mensurados na tarefa de modelagem 3D 35 variáveis agrupados nos seguintes grupos abaixo listados:

- Tempo – 3 variáveis
- Quantidade de comandos – 1 variável
- Interface – 1 variável
- Navegação – 1 variável
- Tipos de comando utilizados – 28 variáveis
- Sequência de Ações – 1 variável

Além destas 35 variáveis listadas, foi gerado pelo cruzamento de dados mais 5 variáveis, totalizando 40. Quanto à escala das variáveis, 39 são do tipo Razão e uma variável é do tipo Ordinal. A variável com escala Ordinal é a variável Sequência de Ações. A sua medição foi realizada com o objetivo diferente das outras 39. O objetivo foi analisar a estratégia utilizada na sequência de realização das sub tarefas da atividade. As outras variáveis com a mesma escala foram correlacionadas entre si.

A partir da mensuração buscou-se a análise da composição do tempo total da tarefa. Através da correlação buscou-se verificar quais ações estão mais diretamente ligadas ao aumento ou redução do tempo total final da tarefa. Sabe-se que o tempo total é a conjunção de diversos fatores. O objetivo foi identificar quais impactam mais e quais quase não possuem relação.

A partir dos dados mensurados também foi feita a medição da repetição de comandos e procedimentos específicos pelos usuários durante os três modelos 3D realizados no teste de modelagem buscando identificar “estilos de modelagem” característicos dos usuários.

3.2 – MÉTODO QUALITATIVO

O método qualitativo consiste numa análise pormenorizada da tarefa de modelagem 3D. O seu objetivo é identificar procedimentos, estratégias e ações que impactam o tempo total da tarefa e que não são detectados somente pela análise dos numéricos da tarefa. Essa análise consiste na identificação de repetidos padrões de comportamento identificados nos vídeos assistidos.

Neste método foi possível observar que parte dos modelos 3D que os estudantes apresentam maior dificuldade e facilidade, que tipo de erros são mais comuns e que estratégias se mostraram mais adequadas.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS DO TESTE DE MODELAGEM 3D

Neste capítulo é abordado os resultados encontrados no teste de modelagem 3D que dão subsídios aos objetivos propostos neste teste.

4.1 APRESENTAÇÃO DO TESTE DE MODELAGEM 3D

O teste de modelagem 3D foi realizado com o objetivo de verificar quais as variáveis, procedimentos e comportamentos que influem na produtividade da atividade.

Diante dos objetivos e limites, um conjunto de critérios foram adotados. Estes critérios e a organização do teste são apresentados na sequência.

4.1.1 -Amostra

A amostra do teste consiste em 82 alunos de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC). O curso fica no campus VII na cidade Laguna –SC. Foram escolhidos alunos da quinta, sexta e sétima fase pelo fato de já possuírem conhecimento na *software* escolhido. Até a quarta fase não há ensino de *softwares* no curso. Foram realizados três modelos 3D sendo dois no primeiro dia e um no segundo. O teste foi realizado nos dias 30/09/2015 e 07/10/2015 (Fig. 20).

Figura 20 - Alunos durante teste de modelagem 3D.



Fonte: Autor

Foi realizado um questionário de balizamento para conhecer características da amostra analisada. O objetivo dos itens do questionário é identificar um conjunto de relações com o desempenho na tarefa como experiência no uso do aplicativo. Foi identificado, por exemplo, se a idade, o sexo ou tempo de curso de graduação influencia nos resultados.

O questionário aplicado encontra-se no **Apêndice C**. O quadro completo com os resultados do questionário para cada estudante encontra-se no **Apêndice D**

Itens do questionário:

- 1- Idade;
- 2- Sexo;
- 3 - Anos de curso de graduação;
- 4 - Anos de uso de algum software 3D para modelagem;
- 5 - Anos de uso do *Trimble Sketchup* (software utilizado no teste)
- 6 – Quantidade aproximada de modelos 3D produzidos com a ferramenta *Sketchup* (A- 0 a 10; B- 10 a 20; C- 20 a 30; D - 30 a 40; E – mais de 40);
- 7 – Auto avaliação da experiência no uso do software *Trimble Sketchup*. (A- Iniciante; B- Amador, C- Intermediário; D- Avançado, E – Profissional);
- 8 – Avaliação do interesse em trabalhar com modelagem digital 3D. (A- Muito Pouco; B- Pouco, C- Intermediário; D- Alto, E – Muito Alto);
- 9 – Avaliação do nível de cansaço para realização da tarefa de modelagem no primeiro dia. (A- Muito Pouco; B- Pouco, C- Intermediário; D- Alto, E – Muito Alto);
- 10 – Avaliação do nível de cansaço para realização da tarefa de modelagem no segundo dia. (A- Muito Pouco; B- Pouco, C- Intermediário; D- Alto, E – Muito Alto).

Na análise da amostra presente na Tabela 2, a maior presença de mulheres refletem a proporção existentes atualmente em cursos de Arquitetura. Destaca-se também que maior parte da amostra encontra-se na metade do curso. Quanto ao uso de software CAD, os números parecidos do item 4 e 5 demonstram que o *Sketchup* é o *software* de entrada, no qual os acadêmicos aprendem primeiro.

Outro aspecto relevante da amostra, presente na Tabela 2, é o problema com a auto avaliação utilizado em pesquisas. Há um descompasso evidente entre o número de modelos 3D realizados e o grau

de experiência. Do total de participantes, 30,5% anotam que fizeram somente até 10 modelos 3D. Muito pouco para ganho de experiência em uma atividade como essa. Quando avaliam experiência 15,9% se avaliam como Iniciante, quando na realidade deveria ser próximo dos 30% se considerarmos o número de modelos 3D realizados. Problemas na auto avaliação serão descritos também no item 4.3.2 quando comparado com o desempenho efetivo na tarefa.

Tabela 2 - Médias e porcentagens da amostra do teste de modelagem 3D.

	Média	Porcentagem				
1- Idade		19 e 20 anos	21 e 22 anos	23 e 24 anos	25 a 30 anos	acima de 30 anos
	22,4	39,0%	37,8%	12,2%	4,9%	6,1%
2 - Sexo		Masculino	Feminino			
	-----	31,7%	68,3%			
3- Anos de curso de graduação		2 anos/2,5 anos	3 anos/ 3,5 anos	4/4,5 anos	5 anos	
	2,75	64,6%	23,2%	8,5%	3,7%	
4- Anos de uso algum software 3D		0,5 ano/ 1 ano	1,5 ano/2 anos	acima de 2 anos		
	1,54	63,4%	22,0%	14,6%		
5- Anos de uso software - Sketchup		0,5 ano/ 1 ano	1,5 ano/2 anos	acima de 2 anos		
	1,40	65,9%	19,5%	14,6%		
6- Quantidade de modelos 3D produzidos		0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	mais de 40
	-----	30,5%	35,4%	20,7%	7,3%	6,1%
7- Auto avaliação- experiência uso do Sketchup		Iniciante	Amador	Intermediário	Avançado	Profissional
	-----	15,9%	26,8%	47,6%	8,5%	1,2%
8- Interesse em trabalhar com modelagem 3D		Muito Pouco	Pouco	Intermediário	Alto	Muito Alto
	-----	0%	3,7%	11,0%	51,2%	34,1%
9- Nível de cansaço - DIA 1		Muito Pouco	Pouco	Intermediário	Alto	Muito Alto
	-----	3,7%	35,4%	43,9%	15,9%	1,2%
10- Nível de cansaço - DIA 2 **		Muito Pouco	Pouco	Intermediário	Alto	Muito Alto
	-----	9,5%	31,7%	46,0%	7,9%	4,8%

** A porcentagem calculada é sobre amostra de 63 e não sobre 82 como nos outros casos. O motivo é que alguns alunos faltaram ao segundo dia de experimento.

Fonte: Autor

Devido à estes problemas, pesquisas apoiadas em auto avaliação como ocorre em Hamade e Artail (2008), são de resultados questionáveis. No artigo, presente na análise do Apêndice B, o desempenho na tarefa de modelagem é todo correlacionado com atributos técnicos advindos da auto avaliação. Foi feito auto avaliação quanto ao conhecimento técnico em matemática básica, geometria, conhecimento de hardware etc.

Foi analisado também na amostra, no item 8, o interesse em se trabalhar com modelagem 3D. O interesse / motivação relacionado com o desempenho na tarefa é tema da pesquisa de Hamade, Artail e Jaber (2011).

Por fim, foi solicitado a auto avaliação com o nível de cansaço na tarefa para identificar o tamanho do impacto no desempenho. Nenhuma pesquisa analisada considerou este aspecto, nem mesmo a pesquisa de curva de aprendizagem com diversos testes ao longo de 15 semanas de Hamade (2012).

4.1.2 -Procedimento

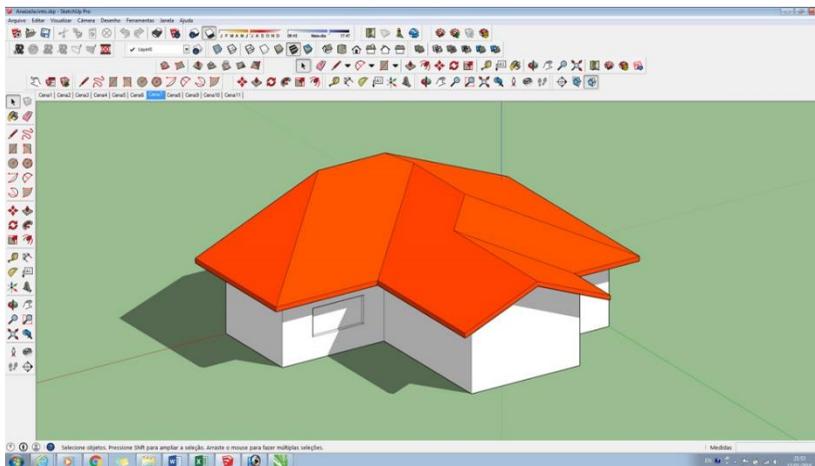
O procedimento consistiu na modelagem de três modelos 3D pelos 82 participantes. Duas ocorreram dia 30/09/2015 e uma no dia 07/10/2016. Houve limitação de se fazer os três modelos 3D num único dia pois os testes ocorreram em horário de aula. O propósito de fazer a medição repetindo a atividade de modelagem três vezes foi para identificação de um padrão de comportamento do usuário. Além da repetição apontar com maior clareza o nível de expertise do participante, diminuindo a possibilidade do acaso na tarefa, serviu também para registrar ações específicas dos usuários que compõe um “estilo de modelagem”. Esses comportamentos padronizados podem surgir no uso de alguns comandos específicos, na velocidade de execução e outros.

Quanto ao *software* a ser utilizado, verificou-se que área de arquitetura e engenharia é composta por quantidade elevada de programas CAD como mostrado artigo de Abanda et al (2015) e listagem feita na Figura 11. Considerando o atual cenário de desenvolvimento de aplicativos para projeto, seria interessante o uso de *softwares* híbridos (modelagem direta e paramétrico) como o Revit da empresa Autodesk ou totalmente paramétricos como o *plugin Grasshoper* para *Rhino 3D* da Mc Neel. Porém houve a limitação referente a restrita quantidade de usuários destas plataformas. O uso no teste de um destes aplicativos citados resultaria em amostras pequenas de usuários como aconteceu em pesquisas como de Bhavnani e Garret (1993), Chi, Lan e Tsai (2000), Hartman (2005), Rynne e Gaughran (2007). Estes trabalhos apresentaram amostras respectivamente de 6, 6, 5 e 4 participantes. Como a pesquisa da tese possui uma parte focada na análise quantitativa, amostras pequenas potencializam muito o viés. Com isso foi utilizado um *software* CAD de conhecimento de um amplo espectro de estudantes de graduação em Arquitetura que é o *Trimble Sketchup* (Fig. 21).

O *software Sketchup* teve sua primeira versão em agosto de 2000. É um *software* de modelagem direta no qual o modelo geométrico é *Solid Modeling*. A técnica de representação é um B-rep estruturado com malha poligonal.

No levantamento de pesquisas em CAD *Expertise*, a maioria dos artigos foi na área de Engenharia. Portanto, prevalece a presença de *softwares* como Pro/Engineer e Solidworks. Somente um trabalho de pesquisa listado no Apêndice B apresenta um *software* com uso disseminado na área e Arquitetura. A pesquisa é de Oprean e Balakriishnan (2013), que utilizou o mesmo *software* desta pesquisa, o *Sketchup*. Com isso uma comparação mais robusta de resultados utilizando o *software Sketchup* ficou prejudicada por só aparecer uma pesquisa com este aplicativo.

Figura 21 - Interface do *software* CAD utilizado no teste de modelagem – Trimble Sketchup.



Fonte: Autor

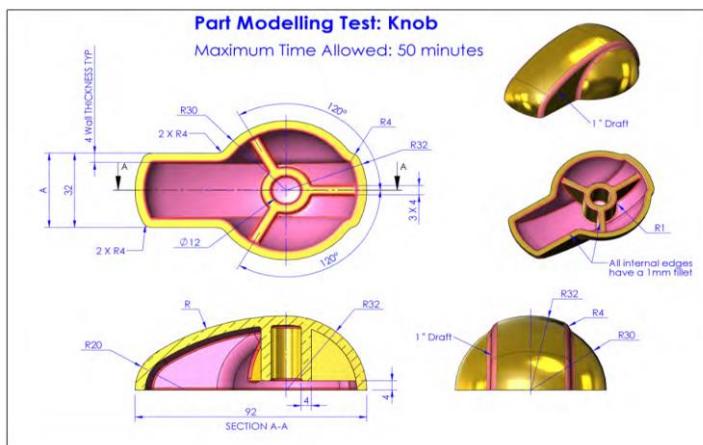
Quanto ao encaminhamento do teste de modelagem 3D, os estudantes tinham que desenvolver três modelos 3D com precisão e no menor tempo possível. O tempo máximo era 30 minutos para cada modelo 3D, com a atividade encerrada após atingir o tempo máximo. Os modelos 3D propostos para modelagem já estavam definidos e não precisaram ser criados pelos participantes. Eles foram disponibilizados impressos em 4 folhas. Cada folha possui uma imagem em perspectiva isométrica com o modelo 3D cotado.

O uso da imagem do modelo 3D no modo isométrico foi no sentido de facilitar ao máximo o entendimento do que se devia modelar. Pesquisas anteriores já apontaram que a apresentação das figuras em vista ortogonal

amplia o tempo da tarefa de modo expressivo pois grande parte do tempo é gasto no entendimento da forma. Isso foi apontado no trabalho de Rynne e Gaughran (2007). Os autores descrevem que os estudantes possuem maior dificuldade de visualizar objetos 3D de vistas ortogonais do que isométricas. Na pesquisa citada, o uso de vistas ortogonais conduziu o estudante com pior visualização espacial ao pior desempenho na tarefa.

Esse fato foi relatado novamente em Rynne, Gaughran e Seery (2011), o qual os autores descrevem que os aprendizes têm muita dificuldade em visualizar objetos 3D em vistas ortogonais. Os autores eliminaram este problema da pesquisa ao fornecer aos estudantes vistas ortogonais e isométricas da peça a ser modelada. (Fig. 22)

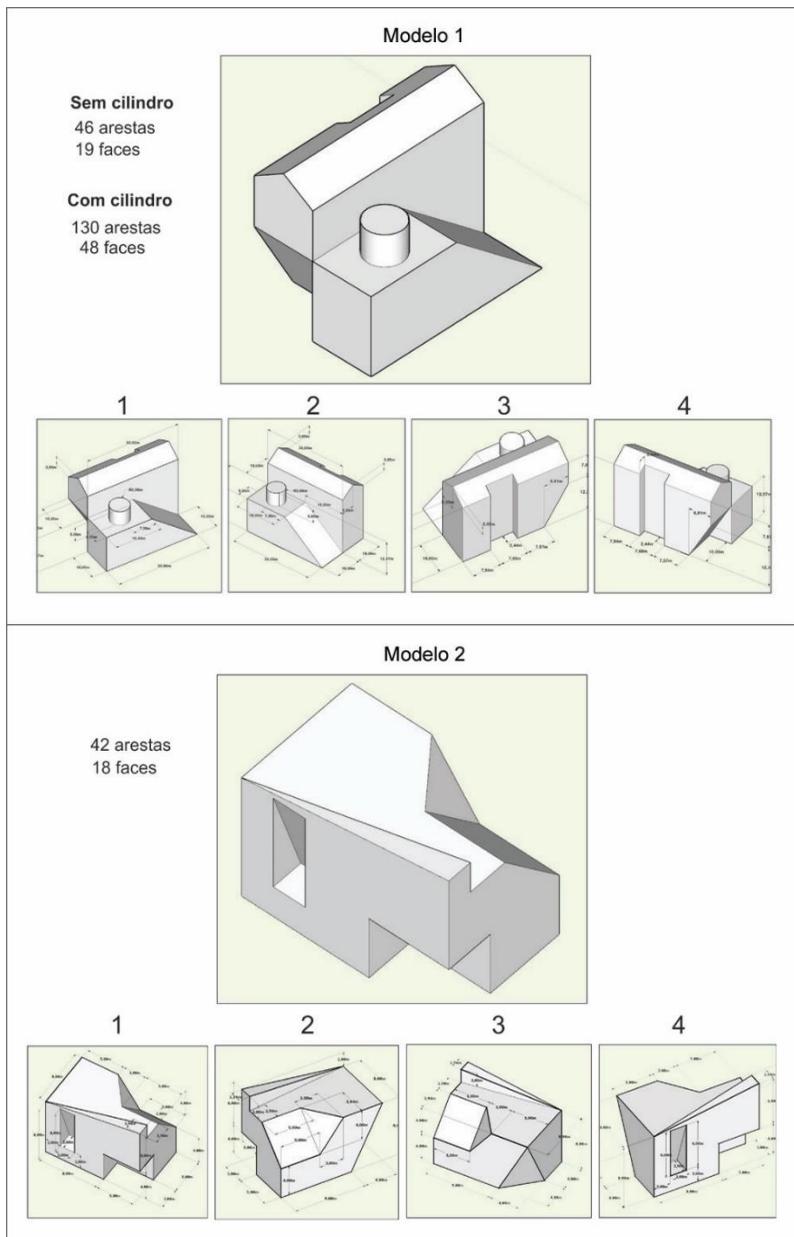
Figura 22 - Figura ortogonal e isométrica fornecida para modelagem em pesquisa de Rynne, Gaughran e Seery (2011).



Fonte: Rynne, Gaughran e Seery (2011)

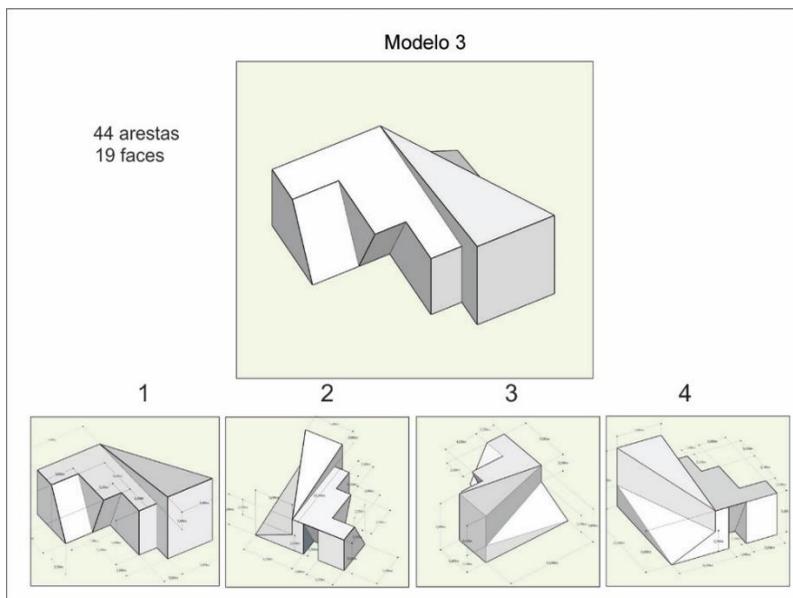
Os três modelos 3D para o teste de modelagem 3D da tese seguiram dois critérios principais. O primeiro é que deveria ter uma complexidade que não conduzisse a uma contagem de tempo excessiva gerando uma quantidade de dados muito elevada. Isto estenderia em demasia o tempo da pesquisa. O modelo 3D não poderia ser muito simples de forma que os tempos de execução fossem tão reduzidos que seriam muito parecidos, dificultando a diferenciação do desempenho na tarefa. Por isso foi criado um modelo 3D calibrado para ser feito entre 5 e 20 minutos. Os modelos 3D foram testados para serem feitos com a quantidade mínima de comandos entre 40 e 50.

Figura 23 – Modelo 3D número 1 do teste de modelagem 3D.



Fonte: Autor

Figura 24 – Modelo 3D número 3 do teste de modelagem 3D.



Fonte: Autor

O segundo critério utilizado é que os modelos 3D possuíssem complexidade parecida para não gerar grande diferenciação entre as três etapas. Foi proposto modelos 3D com quantidade de arestas e faces parecidas.

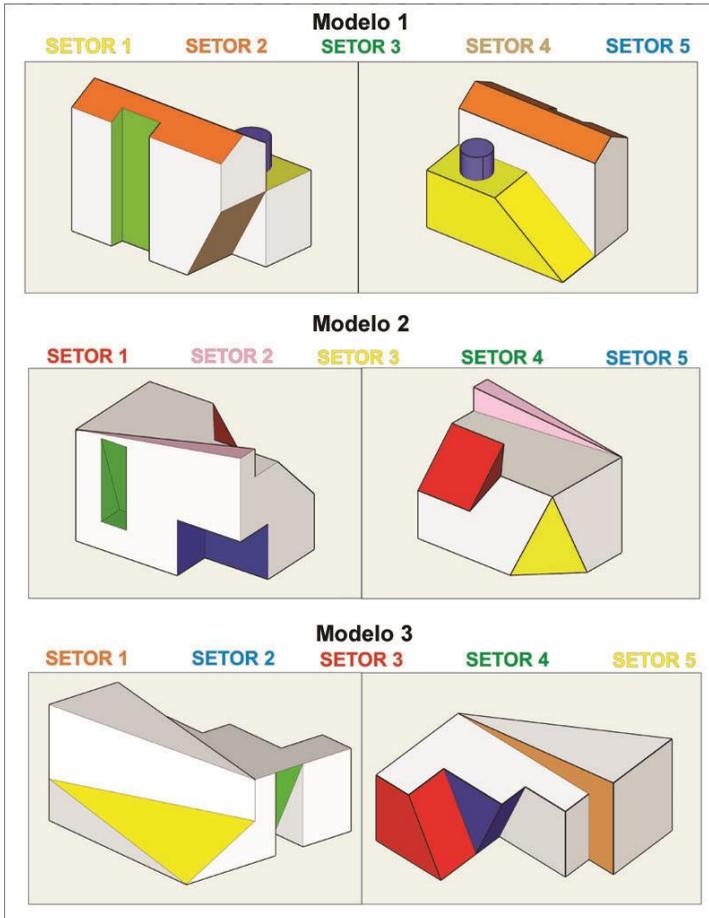
O modelo 3D 1 têm 46 arestas e 19 faces (sem contar o cilindro), o modelo 3D dois têm 42 arestas e 18 faces e o modelo 3D 3 têm 44 arestas e 19 faces. O modelo 3D 1 é o único que têm curvatura possuindo um cilindro que gera muitas arestas e faces.

Considerando o cilindro, o modelo 3D 1 têm 130 arestas e 48 faces. Nas Figuras 23 e 24 são mostradas os modelos 3D e a seqüências de imagens que foram apresentadas nas 4 folhas. A ordem foi definida de modo aleatório.

Visando a análise da estratégia, foi rastreado a realização das sub tarefas. Em cada modelo 3D foram definidos cinco setores. Cada setor é uma pedaço do modelo 3D composto de uma ou mais faces. O objetivo foi verificar qual a seqüência que cada participante iria seguir para alcançar o modelo final. Aos participantes não foi dito para seguir

nenhuma sequência específica e eles não sabiam da definição dos setores. Na Figura 25 estão os setores definidos

Figura 25 - Setores definidos para análise das estratégias.



Fonte: Autor

4.2 TABULAÇÃO DOS DADOS DO TESTE DE MODELAGEM 3D

O teste realizado foi gravado com um *software* gratuito de captura de tela denominado *Hypercam* (www.hyperionics.com). A princípio, o total de vídeos gravados seriam 246, se considerados os três modelos 3D para 82 participantes. Porém, houve alunos que faltaram ao

teste agendado, gerando diminuição da amostra de vídeos. Outro fator que diminuiu a amostra de vídeos foram os participantes que fizeram a modelagem errada. Portanto, sem eficácia

Para poder comparar tempos é necessário que todos tenham chegado ao mesmo resultado final na modelagem. Portanto, é fundamental que se tenha os modelos 3D corretos ao final da tarefa. Com os faltantes e os modelos errados a amostra final ficou com 163 vídeos, sendo 67 no modelo 3D 1, 55 no modelo 3D 2 e 41 no modelo 3D 3. No tabela 3 está o resumo dos vídeos disponíveis recolhidos para análise.

Tabela 3 - Quantidade de vídeos recolhidos disponíveis para análise.

	M 1	M 2	M 3	SOMA
Modelos 3D Corretos	67	55	41	163
Modelos 3D Errados	15	26	22	63
Alunos faltantes	0	1	19	20
SOMA	82	82	82	246

Fonte: Autor

A partir dos vídeos coletados, foi organizado um protocolo de registro das ações. Foi definido o registro de 28 comandos utilizados organizados em sequência de ativação. Foi marcado também toda vez que um setor estivesse completo. Para isso foi criado um Mapa de Procedimentos. Este mapa é composto por ícones que representam os 28 comandos como mostra a Figura 26. Estes ícones foram separados por cor de acordo o que representam numa ação de modelagem. Os grupos criados como Criação, Edição, Visualização e outros estão presentes em todos os *softwares* CAD, embora com comandos diferentes dependendo do aplicativo.

Foram montados 163 Mapas de Procedimento. Estes mapas permitem verificar graficamente diversos fatores do processo de modelagem como o uso maior ou menor de comandos de cada agrupamento, a sequência de comandos utilizados, quantos comandos foram utilizados para atingir cada setor. Na Figura 27 têm-se o exemplo da comparação entre três mapas de procedimento de diferentes participantes do modelo 3D 3.

Observa-se que E6 e E34 seguiram os mesmos três setores iniciais com diferentes quantidade de comandos. E31 seguiu outro

caminho e demorou 24 comandos para acessar o primeiro setor (Setor 1). Todos os Mapas de Procedimento realizados encontram-se no **Apêndice F**.

Além do registro dos 28 comandos e da sequência dos setores que estão presentes nos Mapas de Procedimento foram extraídas mais 6 variáveis que são: Tempo total da tarefa, Tempo de Pausa (tempo em que o cursor está parado e/ou que não há nenhum comando em execução), Tempo de Pausa Inicial (tempo que demora para começar a modelagem 3D), Acesso a Ícones (número de vezes que utilizou ícones da interface), Número de Comandos Dados e Número de Rotações de Visualização (Orbitar em torno do objeto 3D – Navegação). Essas 35 variáveis foram registradas a partir dos vídeos recolhidos.

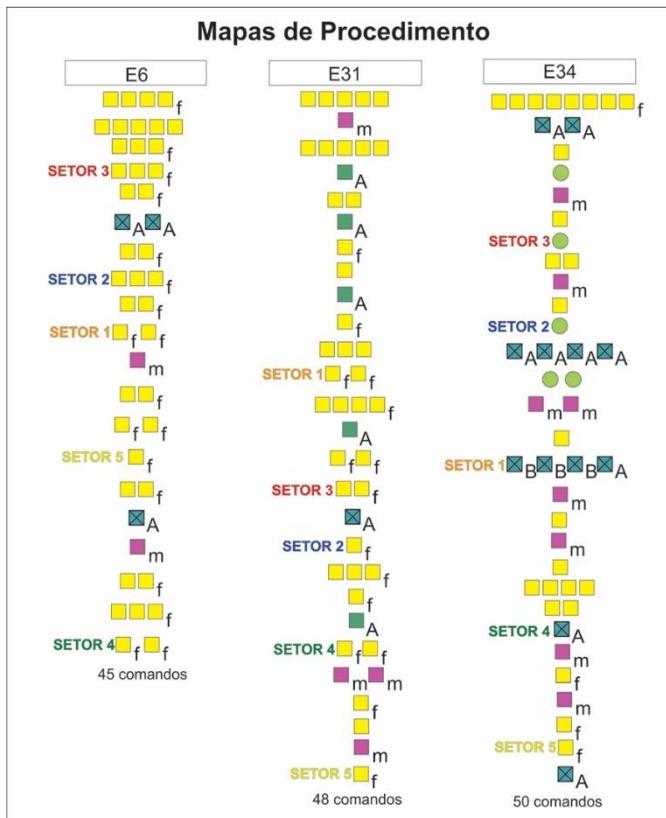
Figura 26 - Iconografia definida dos comandos para montagem de Mapas de Procedimento.

Lista de Comandos	
PRECISÃO	
Desenho de linha - marcação de medida	Faz grupo/ componente
Trena medida	Desfaz grupo/ componente
Trena offset	
Cota	
GESTÃO	
	ERRO
	Desfaz e Refaz (Ctrl Z e Ctrl Y)
EDIÇÃO	
Extrusão de face - Push/Pull	Interseccionar face
Cópia de face	Apagar face
Cópia de aresta	Apagar aresta
Cópia de bloco	Apagar em bloco
Mover face	Apagar linha guia
Mover aresta	Apagar cota
Mover em bloco	
CRIAÇÃO	
Desenho de linha -	Ocultar/ Reexibir face
Desenho de linha - Gera face	Raio X
Desenho de figura - Retangulo	Inverter Face
Desenho de figura - Circulo	Aplicar material
VISUALIZAÇÃO	

Fonte: Autor

A partir de algumas das 35 variáveis, mais 5 variáveis foram calculadas formando o número total de 40 variáveis.

Figura 27 - Exemplo de três Mapas de Procedimento do modelo 3D três.



Fonte: Autor

As variáveis calculadas são: **Tempo Produtivo** (Tempo total menos o Tempo de Pausa), **Tempo Otimizado** (Porcentagem do tempo total que ficou parado sem comandos – Tempo Pausa / Tempo Total), **Variabilidade de Comandos Dados** (Quanto comandos foram usados dos 28 listados), **Velocidade de Execução** (aponta a cada quanto segundos em média é dado um comando – equivale a divisão do Tempo Produtivo pelo Número de Comandos Dados) e **Quantidade de Navegação por**

tempo (aponta a cada quantos segundo em média é feita uma rotação em torno do objeto - equivale a divisão do Tempo Produtivo pelo número de rotações dado). O Quadro 2 lista as 40 variáveis medidas e as respectivas siglas presentes na Planilha Geral - **Apêndice E**.

Quadro 3 - Siglas das 40 variáveis medidas na tarefa de modelagem 3D.

	TEMPO	SIGLA	N	GRUPO COMANDOS - EDIÇÃO	SIGLA
1	Tempo Total	TT	20	Push Pull - Empurrar e Puxar	PP
2	Tempo de Pausa	TPA	21	Cópia de Aresta	Cópia A
3	Tempo Produtivo	TPRO	22	Cópia em bloco	Cópia B
4	Tempo de Início	TI	23	Cópia de Face	Cópia F
5	Tempo Otimizado	TO	24	Mover face	Mover F
	COMANDOS	SIGLA	25	Mover aresta	Mover A
6	Número de Comandos Dados	NCD	26	Mover em bloco	Mover B
7	Variadade de Comandos Dados	VCD	27	Interseccionar Face	Inter F
8	Número de segundos por comando	NS/C	28	Apagar Aresta	Apagar A
	ÍCONES	SIGLA	29	Apagar Face	Apagar F
9	Número de Acesso à Ícones	AI	30	Apagar em Bloco	Apagar B
	NAVEGAÇÃO	SIGLA	31	Apagar Cota	Apagar C
10	Número de Rotações	NR	32	Apagar Linha Guia	Apagar LG
11	Número de Rotações por Segundo	NS/R		GRUPO COMANDOS - PRECISÃO	SIGLA
	GRUPO COMANDOS - CRIAÇÃO	SIGLA	33	Trena para medir com Offset	TrO
12	Comando linha que gera face	Linha F	34	Trena para medir	TrM
13	Comando linha	Linha	35	Colocação de Cota	Cota
14	Desenho Figura plana retângulo	FFig R	36	Linha criada para medição	Linha M
15	Desenho Figura plana círculo	FFig C		GRUPO COMANDOS - GESTÃO	SIGLA
	GRUPO COMANDOS - VISUALIZAÇÃO	SIGLA	37	Fazer Grupo ou Componente	Faz G/C
16	Inverter Face	InvF	38	Desfazer Grupo ou Componente	Desfaz G/C
17	Ocultar/Reexibir Face e Aresta	ORfa		GRUPO COMANDOS - ERRO	SIGLA
18	Modo de Visualização Raio X	RX	39	Desfaz e Refaz Erro (CTRL Z - CTRL Y)	FDe
19	Aplicar Material	ApM		SEQUÊNCIA - ESTRATÉGIA	SIGLA
			40	Descreve a ordem dos setores feitos	SEQ-EST

Fonte: Autor

4.3 RESULTADO E ANÁLISE QUANTITATIVA ENTRE A PERFORMANCE NA ATIVIDADE DE MODELAGEM E AS VARIÁVEIS MENSURADAS

A análise quantitativa tem como objetivo identificar a correlação entre dos dados mensurados no teste de modelagem 3D e o desempenho na tarefa. É uma análise global e ampla sobre a tarefa de modelagem sem

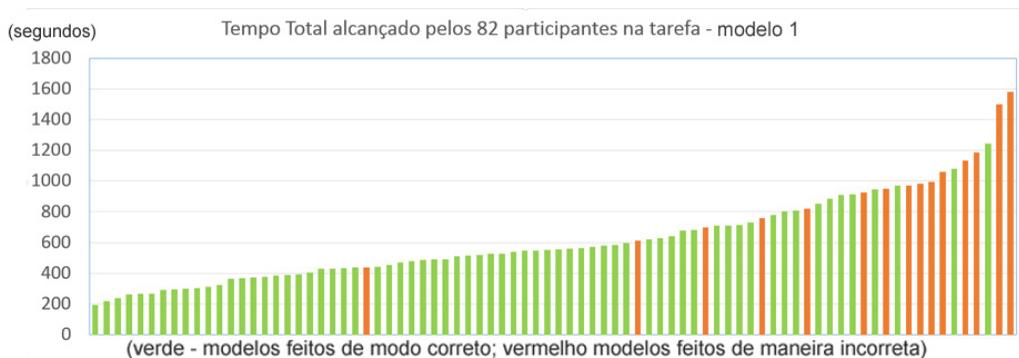
foco sobre ações específicas que intervêm no desempenho. É dado destaque para a quantificação dos resultados, análise e interpretação.

4.3.1 Dados gerais de desempenho

Nos gráficos das Figuras 28, 29 e 30 são apresentados os dados gerais de desempenho atingido pelos participantes. Neles é mostrado o tempo total de cada participante em cada modelo 3D. Houve 82 participantes na modelo 3D 1, 81 no modelo 3D 2 e 63 no modelo 3D 3

Nestes três gráficos de desempenho verifica-se como foi o grau de dificuldade e como foram distribuídos os erros. No geral se observa que os erros aparecem com maior prevalência por volta dos 10 minutos – 600 segundos, que são as colunas vermelhas. Foi identificado na análise dos vídeos, que erros com baixo tempo estão diretamente ligados à distração. Isso aconteceu com maior intensidade no modelo 3D 2 e 3 pelo fato dos modelos possuírem duas arestas diagonais na parte superior que muitos imaginaram serem horizontais.

Figura 28 - Gráfico com a distribuição dos tempos em segundos da tarefa de modelagem 3D dos participantes na modelo 3D 1.



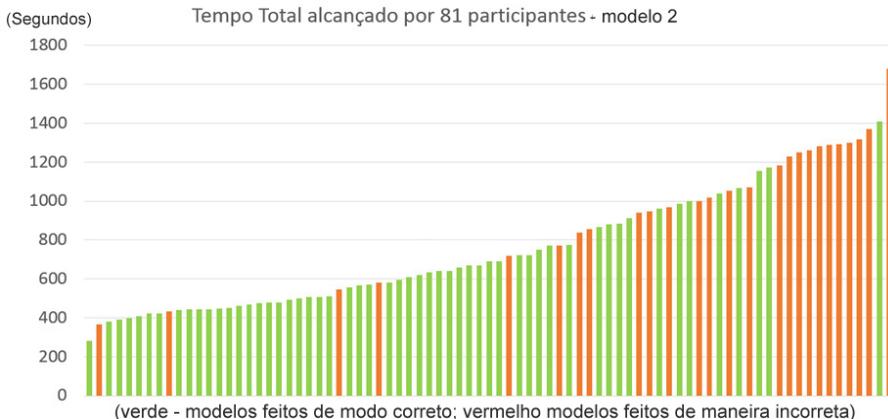
Fonte: Autor

Os erros que aconteceram com tempo elevado estão diretamente ligados à falta de conhecimento procedimental. Nos vídeos ficou evidente a dificuldade de modelagem nos tempos elevados que foram registrados.

Muitos dos tempos elevados com erro foram ocasionados por desistência dos alunos por não conseguirem realizar a tarefa. Com relação à dificuldade dos modelos 3D fica evidente, pelos gráficos, que o modelo

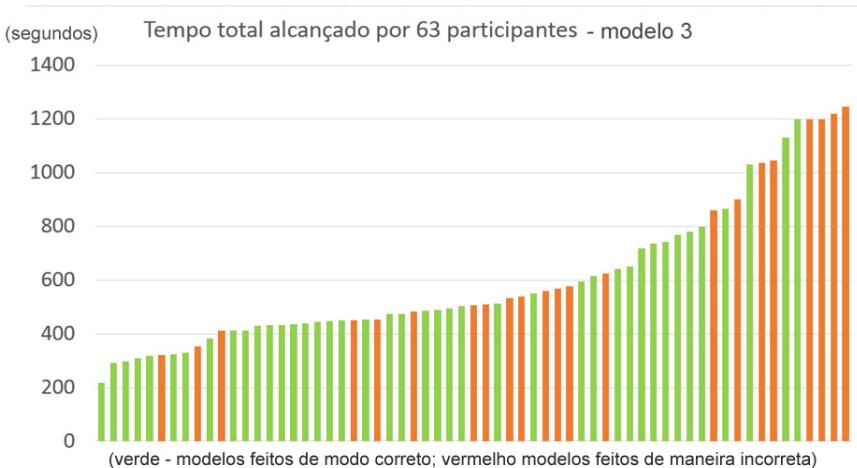
3D 2 apresentou mais dificuldade aos participantes. Na distribuição dos tempos percebe-se que aproximadamente dois terços dos participantes estão com tempo acima de 600 segundos.

Figura 29 - Gráfico com a distribuição dos tempos em segundos da tarefa de modelagem 3D dos participantes no modelo 3D 2.



Fonte: Autor

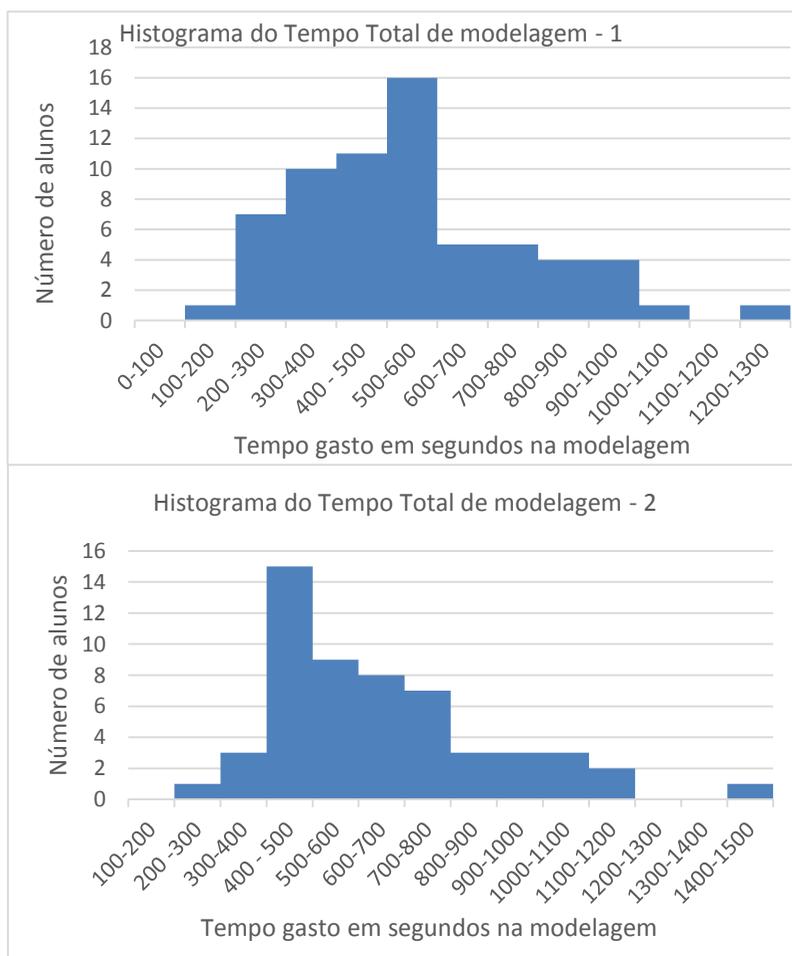
Figura 30 - Gráfico com a distribuição dos tempos em segundos da tarefa de modelagem 3D dos participantes no modelo 3D três.



Fonte: Autor

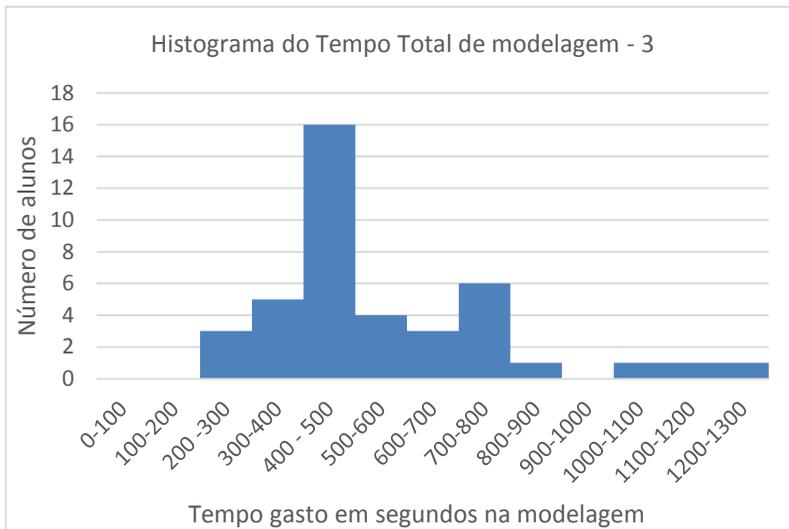
Como os erros encontraram-se em grande parte concentrados, a retirada das amostras erradas fez com que a distribuição dos histogramas do tempo total ficasse assimétrica principalmente nos modelos 3D 1 e 2 (Fig. 31).

Figura 31 - Histograma mostrando a distribuição dos participantes de acordo a faixa de tempo alcançado nos modelos 3D 1 e 2.



Fonte: Autor

Figura 32 - Histograma mostrando a distribuição dos participantes de acordo a faixa de tempo alcançado no modelo 3D 3.



Fonte: Autor

A distribuição de frequência mostra, que apesar de serem três modelos 3D diferentes, a concentração de tempos ficou na mesma porção de tempo, na faixa entre 400 a 600 segundos. Os *experts* ficaram abaixo desta faixa e os participantes com mais dificuldade ficaram acima desta faixa. Observa-se também, nestes gráficos, que há algumas amostras de caráter discrepante por estarem muito afastada da concentração de ocorrência. No modelo 3D 1 há um tempo de 1244 segundos da estudante E49, no modelo 3D 2 há um tempo de 1410 da estudante E22 e no modelo 3D 3 há um tempo de 1200 novamente da estudante E49.

Nas tabelas 4 e 5 é apresentada a estatística descritiva das variáveis mensuradas na tarefa. Das 39 variáveis, foram selecionadas para análise 18, pois muitas variáveis do grupo de comando apresentam muito pouca incidência. Os comandos, como apagar em bloco, aplicar material e apagar cota, por exemplo, só foram usados uma vez em 163 amostras válidas.

Tabela 4 - Os valores de máximo, mínimo e média de 18 variáveis mensuradas

Valores Máximo, Mínimo e Média dos modelos 3D 1, 2, 3 e de Geral de toda amostra												
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
TT	1244	1410	1200	1410	194	283	217	194	544,9	650,3	549,1	581,5
TPA	305	403	551	551	7	27	10	7	95,0	119,8	106,0	106,2
TPRO	1060	1160	993	1160	183	256	207	183	452,0	530,4	443,1	476,2
TI	75	90	85	90	0	0	0	0	12,0	13,6	17,8	14,0
TO	0,39	0,42	0,46	0,46	0,03	0,05	0,05	0,03	0,16	0,19	0,18	0,18
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
NCD	210	180	160	210	39	46	44	39	81,5	83,4	73,4	80,1
VCD	14	12	13	14	7	6	4	4	10,1	8,2	8,2	9,0
NS/C	10,11	9,25	9,42	10,11	3,20	3,89	4,11	3,20	5,65	6,46	6,13	6,05
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
AI	65	86	77	86	0	0	0	0	18,1	17,3	11,4	16,2
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
NR	156	200	86	200	16	21	10	10	55,6	72,4	32,2	55,4
NS/R	18,06	37,14	33,20	37,14	4,40	2,92	4,92	2,92	9,18	9,28	16,45	11,04
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
Linha F	27	28	34	34	0	1	2	0	8,0	12,9	15,1	11,4
Linha	46	52	65	65	3	10	9	3	23,5	29,3	26,6	26,2
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
PP	25	9	8	25	1	0	0	0	8,8	3,4	3,3	5,6
Apagar A	54	52	56	56	2	1	0	0	19,9	18,4	11,9	17,4
Apagar F	12	19	12	19	0	0	0	0	2,0	2,0	2,2	2,1
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
Linha M	11	12	18	18	0	0	0	0	4,0	4,4	5,4	4,5
SIGLA	Máx-V1	Máx-V2	Máx-V3	Máx-G	Min-V1	Min-V2	Min-V3	Min-G	MD-V1	MD-V2	MD-V3	MD-G
FDe	71	46	16	71	0	0	0	0	8,4	7,4	4,1	7,0

Fonte: Autor

Tabela 5 - Os valores de desvio padrão, moda e mediana de 18 variáveis mensuradas.

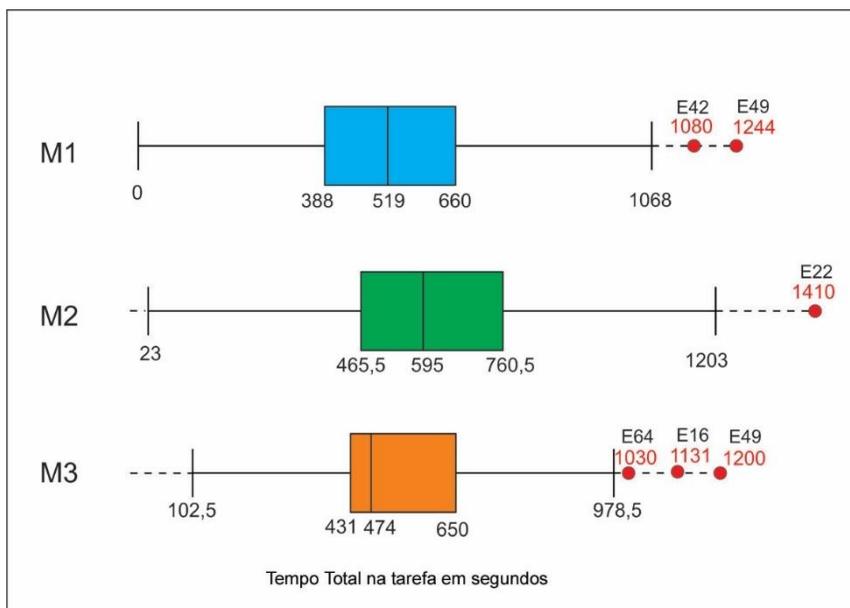
Valores de Desvio Padrão, Moda e Mediana dos modelos 3D 1, 2, 3 e de Geral de toda amostra												
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
TT	219,6	239,1	225,1	231,6	430	445	413	439	519	595	474	516
TPA	66,9	69,5	90,0	74,5	31	100	55	59	82	113	83	89
TPRO	182,8	210,0	171,0	192,5	472	#N/D	#N/D	400	418	506	380	416
TI	13,6	16,4	19,4	16,2	0	0	0	0	8	7	12	8
TO	0,08	0,09	0,09	0,08	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	0,16	0,17	0,17	0,17
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-VG
NCD	32,8	32,9	27,4	31,7	89	50	70	74	73	71	68	71
VCD	1,8	1,7	1,8	2,0	9	7	7	9	10	8	8	9
NS/C	1,40	1,28	1,33	1,38	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	5,33	6,44	5,78	5,81
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
AI	16,5	18,8	15,0	17,1	1	1	2	1	16	12	5	11
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
NR	31,0	43,9	18,2	36,7	29	34	16	16	48	60	27	46
NS/R	1,28	1,33	1,38	3,10	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	8,62	7,62	15,18	9,03
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
Linha F	5,7	6,0	6,9	6,8	4	14	14	14	7	13	14	11
Linha	8,7	8,1	11,8	9,7	21	30	25	21	22	30	25	25
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
PP	3,9	2,7	2,7	4,2	7	0	0	0	8	3	4	6
Apagar A	9,6	13,3	11,3	11,8	12	15	1	12	20	15	8	16
Apagar F	2,4	3,1	2,8	2,7	0	1	0	0	1	1	1	1
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
Linha M	2,6	3,3	3,7	3,2	3	1	5	5	4	5	5	5
SIGLA	DP-V1	DP-V2	DP-V3	DP-G	MO-V1	MO-V2	MO-V3	MO-G	MDI-V1	MDI-V2	MDI-V3	MDI-G
FDe	12,5	10,7	3,8	10,4	2	1	0	1	4	3	3	3

Fonte: Autor

Destacam-se alguns dados das tabelas para análise. Como mencionado anteriormente, a dificuldade em modelar o modelo 3D 2 dos participantes é possível de ser identificada. O tempo mínimo alcançado foi de 283 segundos, bem acima dos modelos 1 e 3 (194, 217 segundos). O tempo médio da tarefa no modelo 3D 2 confirma esta avaliação. Ficou em 650 segundos, bem acima o modelo 1 e 3 (544 e 549 segundos). Outra variável que aponta dificuldade é a média do tempo de pausa de 119,8. Foi necessário um gasto maior de tempo parado, sem comandos sendo dados que podem-se supor ser devido à dificuldade apresentada em elaborar uma estratégia de modelagem.

Destaca-se também o índice médio de rotações (giro em torno do objeto 3D modelado). O índice do modelo 3D três é bem mais baixo do que dos modelos 1 e 2. Isso acaba incidindo em outro índice que é Número de Segundos por Rotação (divisão dos segundos do Tempo Produtivo pelo número de rotações). Em média, o modelo 3 fez uso da rotação em torno do objeto 3D uma vez a cada 16 segundos e meio. No modelo 1 e 2 o valor é bem mais baixo.

Figura 33- Gráfico *Boxplot* apontado a concentração dos tempos totais alcançados nos quartis e os tempos discrepantes encontrados



Fonte: Autor

Na análise dos vídeos, buscando a razão desta diferença, verificou-se no modelo 3 que pouco se observava a parte inferior do modelo 3D. Como a volumetria não possui reentrâncias que necessita visualizar o objeto de baixo, a rotação foi menos usada. Isso mostra que essa variável é sensível a volumetria a ser modelada e isso deve ser sempre considerada na sua medição.

Na figura 33 o gráfico *boxplot* apresenta a variância e distribuição dos tempos totais (em segundos) alcançados no modelo 3D 1, 2 e 3. Observa-se no gráfico a alta concentração de tempos no modelo 3D 3, tendo o segundo quartil concentrado todos os tempos no intervalo de 431 segundos a 474 segundos. Observa-se também nos gráficos a dispersão dos tempos da mediana para frente em todos os três modelos reiterando o que os histogramas mostraram.

O *Boxplot* aponta também os valores discrepantes (*outliers*) em cada modelo 3D. Estes valores discrepantes alcançados são importantes para identificar variáveis subjacentes que impactam o tempo total da tarefa e que muitas vezes não estão evidentes. Uma análise pormenorizada dos *outliers* é feita no item 4.3.3.

4.3.2 Questionário x Desempenho

O objetivo da aplicação do questionário foi de, além conhecer as características da amostra pesquisada, fazer relação dos dados dos participantes com o desempenho na tarefa. Foi verificado se parâmetros como a idade, o sexo ou tempo de curso de graduação influência nos resultados. Foi verificado também se a auto avaliação de experiência está de acordo ao desempenho obtido.

Para isso foi feita uma correlação simples entre o tempo total da tarefa e as variáveis (Tabela 6). Para variável qualitativa auto avaliação de experiência foi processada a correlação após a numeração de cada resposta (1-iniciante; 2-amador; 3-intermediário; 4-avançado e 5-profissional).

Os resultados mostraram que não há nenhuma relação direta das variáveis com o tempo total no desempenho da tarefa. Os valores de r de Pearson ficaram abaixo de 0,33 gerando um coeficiente de determinação de apenas 10%. Isso aponta que deve-se ter cautela em utilizar como base para uma pesquisa de correlação a auto avaliação como feita em Hamade e Artail (2008).

Tabela 6 - Correlação entre os dados do Questionário de Balizamento e o Tempo Total da tarefa.

Correlação de Dados entre o Questionário e o Desempenho					
	<i>Qtde de modelos 3D produzidos</i>	<i>Conhecimento Sketchup</i>	<i>Idade</i>	<i>Anos Curso de ARQ</i>	<i>Anos de uso do software Sketchup</i>
Tempo Total somado todos os modelos 3D	-0,14	-0,33	0,33	0,14	-0,17

Fonte: Autor

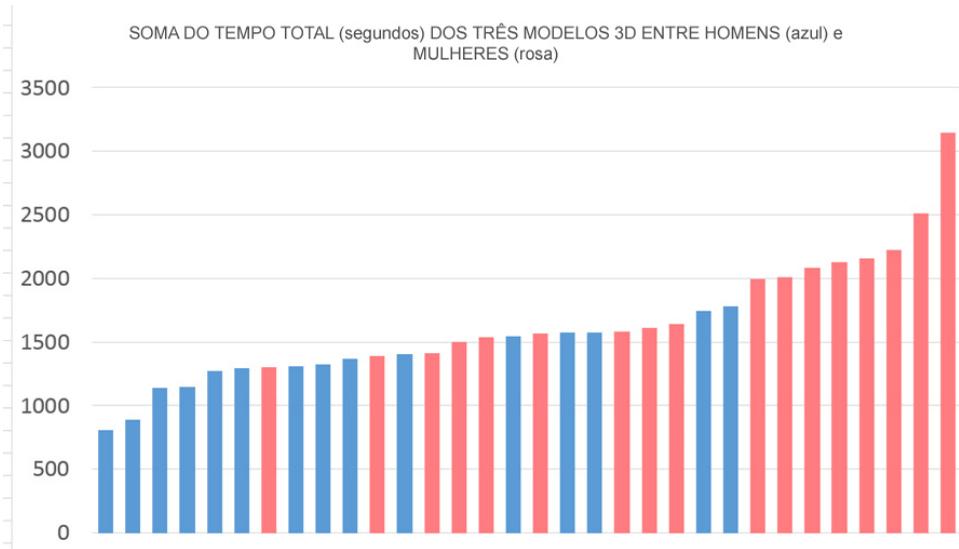
Para a relação entre o gênero do participante e o desempenho foi feita uma análise separada para averiguar eficácia e eficiência. Na amostra desta tese, os homens mostraram mais eficácia e eficiência.

Para esta conclusão, foi feita a análise sobre o tempo total de modelagem somando o tempo dos três modelos realizados de quem fez todos corretos. Primeiro foram separados 63 dos 82 participantes pois foram excluídos 19 participantes (1 estudante faltou na vol. 2 e vol. 3). Estes participantes não teriam como ter feito os três modelos 3D.

Na amostra de 63 participantes, ficaram distribuídos 21 homens e 42 mulheres. Desta amostra de 63 participantes, a quantidade que conseguiu fazer os três modelos 3D sem erro foi de 32 participantes, sendo 17 mulheres e 15 homens. Portanto houve mais eficácia dos homens pois houve a mudança da proporção entre os que fizeram os três modelos (H-21; p = 33% / M-42; p =66%) em relação aos que fizeram os três corretos (H-15; p=46% / M-17; p =53%). As mulheres erraram mais.

No que se refere à eficiência, foi somado o tempo dos três modelos feitos corretos. Os homens aparecem com as menores somas dos três tempos comparados com as mulheres (Fig. 33). Com relação à média da soma do tempo dos três modelos 3D, os 15 homens atingiram o valor médio de 1346 segundos e as mulheres 1870 segundos.

Figura 34 - Soma do tempo total de modelagem dos três modelos 3D entre homens e mulheres.



Fonte: Autor

4.3.3 Tempo Total x Variáveis

Visando atingir a um dos objetivos desta pesquisa que é a identificação dos fatores que impactam o tempo total da atividade de modelagem 3D, foi feito o cruzamento de dados entre 18 variáveis e o tempo total da tarefa. Este cruzamento e as análises subsequentes identificaram como maiores impactantes no tempo total da tarefa de modelagem por ordem de importância; o número de comandos dados, o tempo de pausa e a velocidade de execução dos comandos.

Visando identificar quais foram os fatores mais impactantes, foi realizada uma matriz de correlação entre 18 variáveis mensuradas na tarefa, Essa matriz de correlação foi feita separada, apresentando o resultado para cada modelo 3D e uma matriz geral considerando todos os resultados (Tabela 7 e 8). Nas tabelas foram marcados os maiores valores encontrados de correlação: vermelho para valores de 0,9 a 1, laranja para valores de 0,8 a 0,9, amarelo para valores de 0,7 a 0,8 e bege para valores de 0,6 a 0,7.

Tabela 7 - Matriz de correlação para os modelos 3D 1 e 2.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO - VOLUMETRIA 1																		
	TT	TPA	TPRO	TI	TO	NCD	NS/C	VCD	AI	NR	NS/R	Linha F	Linha	PP	Ap.A	Ap.F	Li.M	FDe
TT	1,00																	
TPA	0,76	1,00																
TPRO	0,96	0,56	1,00															
TI	0,45	0,62	0,32	1,00														
TO	0,34	0,83	0,10	0,59	1,00													
NCD	0,72	0,42	0,74	0,24	0,05	1,00												
NS/C	0,48	0,35	0,47	0,13	0,17	-0,19	1,00											
VCD	0,09	0,13	0,09	0,06	0,03	0,17	-0,10	1,00										
AI	0,49	0,29	0,52	0,22	0,07	0,25	0,36	0,13	1,00									
NR	0,80	0,48	0,80	0,25	0,08	0,73	0,19	0,11	0,24	1,00								
NS/R	-0,14	-0,10	-0,13	-0,03	0,05	-0,31	0,26	-0,05	0,22	-0,62	1,00							
Li. F	0,42	0,18	0,43	0,18	-0,06	0,42	0,03	-0,33	0,17	0,38	-0,17	1,00						
Linha	0,63	0,27	0,66	0,23	-0,07	0,78	-0,06	-0,20	0,20	0,65	-0,32	0,66	1,00					
PP	0,39	0,34	0,35	0,10	0,21	0,54	-0,10	0,28	0,12	0,40	-0,13	-0,23	0,20	1,00				
Ap. A	0,55	0,41	0,55	0,34	0,19	0,78	-0,23	-0,03	0,26	0,55	-0,25	0,31	0,57	0,33	1,00			
Ap. F	0,20	0,31	0,17	0,10	0,22	0,32	-0,19	0,32	0,05	0,12	-0,10	0,13	0,13	0,11	0,29	1,00		
Li. M	0,05	0,01	0,03	0,04	-0,02	0,22	-0,14	-0,03	-0,07	0,02	0,02	-0,15	0,11	0,26	0,15	-0,03	1,00	
FDe	0,53	0,27	0,55	0,05	-0,02	0,85	-0,20	0,24	0,10	0,55	-0,20	0,09	0,53	0,60	0,50	0,15	0,26	1,00

MATRIZ DE CORRELAÇÃO - VOLUMETRIA 2																		
	TT	TPA	TPRO	TI	TO	NCD	NS/C	VCD	AI	NR	NS/R	Linha F	Linha	PP	Ap.A	Ap.F	Lin. M	FDe
TT	1,00																	
TPA	0,54	1,00																
TPRO	0,96	0,28	1,00															
TI	0,19	0,57	0,03	1,00														
TO	-0,06	0,76	-0,32	0,53	1,00													
NCD	0,83	0,22	0,87	-0,03	-0,29	1,00												
NS/C	0,29	0,15	0,28	0,08	-0,09	-0,21	1,00											
VCD	0,20	-0,03	0,24	0,00	-0,14	0,35	-0,22	1,00										
AI	0,60	0,27	0,59	-0,02	-0,03	0,48	0,15	0,15	1,00									
NR	0,56	0,13	0,60	-0,05	-0,22	0,63	-0,03	0,23	0,33	1,00								
NS/R	0,20	0,13	0,18	0,17	0,01	0,09	0,13	-0,01	-0,03	-0,55	1,00							
Li. F	0,18	-0,11	0,25	-0,22	-0,35	0,30	-0,02	-0,18	-0,02	0,37	-0,21	1,00						
Linha	0,45	-0,01	0,52	-0,11	-0,36	0,61	-0,13	-0,27	0,16	0,39	0,06	0,58	1,00					
PP	0,57	0,42	0,51	0,13	0,14	0,46	0,04	0,21	0,50	0,21	0,23	-0,49	-0,06	1,00				
Ap. A	0,75	0,22	0,78	0,01	-0,21	0,89	-0,19	0,28	0,42	0,54	0,18	0,15	0,47	0,60	1,00			
Ap. F	0,39	0,19	0,38	0,08	-0,02	0,45	-0,12	0,28	0,22	0,17	-0,02	-0,01	0,06	0,17	0,32	1,00		
Lin. M	0,21	0,13	0,20	0,04	0,06	0,26	-0,10	0,02	-0,04	0,18	0,07	-0,15	0,03	0,43	0,40	-0,09	1,00	
FDe	0,68	0,24	0,70	0,00	-0,15	0,83	-0,20	0,40	0,47	0,59	-0,06	0,03	0,41	0,46	0,60	0,47	0,14	1,00

Fonte: Autor

Tabela 8 - Matriz de correlação para o modelo 3D 3 e geral que considera todos os modelos.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO - VOLUMETRIA 3																		
	TT	TPA	TPRO	TI	TO	NCD	NS/C	VCD	AI	NR	NS/R	Linha F	Linha	PP	Ap.A	Ap.F	Li. M	FDe
TT	1,00																	
TPA	0,73	1,00																
TPRO	0,93	0,43	1,00															
TI	0,31	0,38	0,21	1,00														
TO	0,35	0,82	0,03	0,36	1,00													
NCD	0,73	0,19	0,86	0,03	-0,14	1,00												
NS/C	0,42	0,43	0,32	0,33	0,30	-0,19	1,00											
VCD	0,19	0,07	0,22	0,48	0,02	0,24	-0,06	1,00										
AI	0,52	0,18	0,59	0,00	0,00	0,53	0,15	0,14	1,00									
NR	0,47	0,22	0,51	0,18	0,01	0,47	0,12	0,05	0,19	1,00								
NS/R	0,04	-0,06	0,09	-0,12	-0,10	0,12	-0,05	0,07	0,17	-0,69	1,00							
Li. F	0,34	0,06	0,42	-0,18	-0,18	0,53	-0,20	-0,15	0,01	0,33	-0,02	1,00						
Linha	0,60	0,24	0,67	-0,13	-0,05	0,77	-0,08	-0,07	0,36	0,38	0,13	0,55	1,00					
PP	-0,07	-0,09	-0,04	0,10	-0,04	0,00	-0,08	0,40	-0,08	-0,02	-0,11	-0,46	-0,35	1,00				
Ap. A	0,53	0,08	0,66	-0,06	-0,12	0,76	-0,17	0,12	0,65	0,32	0,07	0,16	0,36	0,18	1,00			
Ap. F	0,15	0,04	0,18	0,00	-0,01	0,28	-0,14	0,26	0,14	-0,02	0,16	0,05	-0,01	0,21	0,39	1,00		
Li. M	0,40	0,09	0,48	0,11	-0,11	0,56	-0,12	0,17	0,26	0,17	0,04	0,14	0,24	0,32	0,53	0,34	1,00	
FDe	0,27	-0,06	0,38	0,07	-0,12	0,51	-0,20	0,12	0,23	0,19	0,21	0,26	0,39	0,02	0,29	-0,14	0,10	1,00

MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL - TODAS AS VOLUMETRIAS																		
	TT	TPA	TPRO	TI	TO	NCD	NS/C	VCD	AI	NR	NS/R	Linha F	Linha	PP	Ap.A	Ap.F	Li.M	FDe
TT	1,00																	
TPA	0,68	1,00																
TPRO	0,95	0,43	1,00															
TI	0,30	0,51	0,17	1,00														
TO	0,20	0,80	-0,07	0,49	1,00													
NCD	0,75	0,28	0,81	0,07	-0,12	1,00												
NS/C	0,42	0,33	0,39	0,18	0,14	-0,19	1,00											
VCD	0,07	-0,01	0,10	0,10	-0,08	0,23	-0,22	1,00										
AI	0,53	0,24	0,56	0,04	0,01	0,41	0,22	0,17	1,00									
NR	0,61	0,26	0,65	0,04	-0,06	0,62	0,11	0,12	0,30	1,00								
NS/R	0,01	0,00	0,01	0,08	0,01	-0,07	0,10	-0,12	0,00	-0,60	1,00							
Li. F	0,31	0,09	0,34	-0,01	-0,13	0,33	0,05	-0,38	-0,01	0,23	0,07	1,00						
Linha	0,57	0,21	0,61	-0,12	0,68	-0,01	-0,26	0,21	0,43	0,02	0,61	1,00						
PP	0,17	0,10	0,18	0,01	0,02	0,34	-0,20	0,49	0,22	0,19	-0,17	-0,51	-0,16	1,00				
Ap.A	0,60	0,22	0,65	0,05	-0,07	0,80	-0,20	0,19	0,44	0,52	-0,10	0,07	0,40	0,39	1,00			
Ap.F	0,25	0,18	0,25	0,06	0,06	0,35	-0,14	0,24	0,14	0,10	0,03	0,06	0,06	0,10	0,31	1,00		
Li.M	0,20	0,08	0,20	0,09	-0,01	0,29	-0,09	-0,02	0,00	0,06	0,12	0,02	0,14	0,15	0,29	0,06	1,00	
FDe	0,52	0,18	0,56	0,00	-0,08	0,78	-0,20	0,29	0,27	0,53	-0,13	0,01	0,38	0,45	0,50	0,23	0,13	1,00

Fonte: Autor

O primeiro item a ser observado nas matrizes é a variável que possui forte correlação com o TT (tempo total da tarefa). Na matriz geral, aparece correlacionando com relevância com o tempo total: o tempo de pausa, o tempo produtivo, número de comandos dados, número de rotações, e comando apagar aresta. Considera-se também, número de erros e desenho de linhas, por aparecerem com correlação com o TT nas matrizes dos modelos 1,2 e 3. Destas variáveis que correlacionam com o TT destaca-se o NCD (Número de comandos dados). Nas matrizes analisadas verifica-se que o NCD possui a maior quantidade de correlações com outras variáveis. No total seis.

Podem parecer evidente, pois a maioria das variáveis são comandos e estão englobados pelo Número de Comandos Dados. Porém há diversos comandos com correlação inexpressiva com NCD como PP (*Push Pull*) ou Li.F (linha que gera face). É importante sempre destacar que correlação não é causalidade. Não pode-se afirmar que uma variável está necessariamente causando outra. Mas há uma relação entre elas. Se considerados o coeficiente de determinação (r^2) entre o número de comandos dados e o tempo total da tarefa, o valor é de 56%. Não é muito alto, mas é considerável. Com isso 56% da variabilidade do tempo total é explicado pelo número de comandos dados.

O NCD têm importância para explicar o tempo total da tarefa não somente pela valores encontrados nas matrizes. O NCD é considerado pelas pesquisas analisadas (Apêndice B) como o componente principal para se atingir o conhecimento estratégico considerável dentro da tarefa de modelagem 3D. Modelar com a menor quantidade de comandos significa economia de recursos humanos e computacionais. Consequentemente o caminho utilizado de poucos comandos gera a redução de tempo e atinge-se a eficiência. Para se modelar com poucos comandos é preciso fazer uso do conhecimento estratégico citado no item 2.3.3. É preciso escolher a melhor sequência, definindo a ordem mais eficiente das sub tarefas a serem realizadas visando o objetivo final. Também é importante escolher o melhor comando (com menor número de passos) para cada detalhe da modelagem 3D. Com isso, na Planilha Geral de desempenho (Apêndice E), nos menores valores de comandos dados é onde estão as melhores estratégias. Mas o que se observa na Planilha Geral é que nas amostras com menor número de comandos dados não estão necessariamente os menores tempos totais da tarefa de modelagem. Isso porque o tempo total é uma composição de ações e há outros fatores intervenientes neste tempo.

Visando identificar outros fatores que impactam o tempo total além do NCD, são analisadas novamente as matrizes de correlação. Observa-

se a relevância do Tempo de Pausa. Independente do cursor estar parado ou não, o tempo de pausa é considerado quando não há nenhum comando em execução. A maioria das pesquisas analisadas não considera a medição do tempo de pausa, apesar da sua importância. Este tempo é considerado nas pesquisas de Lang et al (1991), Chi, Lan e Tsai (2000). A razão destas considerarem o tempo de pausa é porque foram baseadas na metodologia GOMS, que considera a medição de tempo para cada ação. Outra pesquisa que considera o tempo de pausa é Chester (2007). Porém não é contada a pausa durante toda a tarefa. Somente é contado o tempo de pausa antes do primeiro clique do mouse na atividade. O autor chamou de “tempo de planejamento”. Nesta tese, este tempo também foi mensurado com o nome de Tempo Inicial e ele é parte integrante do Tempo de Pausa da tarefa. Chester (2007) descreve que este tempo inicial está relacionado ao desempenho. Quanto maior este tempo de “planejamento” melhor o desempenho na atividade. Essa pesquisa não encontrou evidência disto. A correlação é muito baixa entre o tempo inicial e o tempo total ($r = 0,30$).

O Tempo de Pausa apresenta correlação de 0,68 com o Tempo Total da tarefa. Embora não seja muito forte, há variação considerável entre estas duas variáveis. Com isso, outra variável ganha importância que é o Tempo Otimizado. Este tempo é a porcentagem do tempo total que é constituído pelo Tempo de Pausa. Nesta pesquisa têm-se casos extremos como a estudante E41 com 3,2% no modelo 1. Isso significa que somente 3,2% do tempo ficou parado sem estar fazendo algum comando. E há a situação da estudante E49 no modelo 3 com 45% de Tempo Otimizado. Praticamente metade do tempo nenhum comando aconteceu.

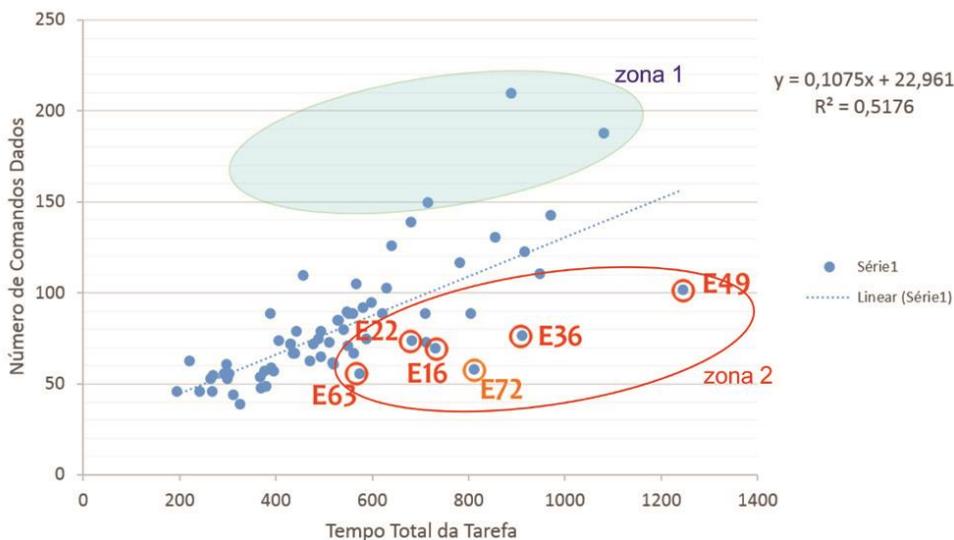
Portanto, como o tempo de pausa varia com o Tempo Total é importante que o Tempo Otimizado seja reduzido. No caso da estudante E49, o tempo total da tarefa de modelagem do modelo 3D 3 foi de 1200 segundos. Se o Tempo Otimizado fosse de 5% seu tempo final seria de 720 segundos.

A princípio, a redução das variáveis NCD e TO seria o suficiente para reduzir em grande parte o tempo total da tarefa. Mas foi encontrado na amostra situações em que o NCD e o TO não é alto, mas o valor do tempo total tarefa é elevado. Com isso, há outra variável subjacente relevante interferindo no tempo total da tarefa. Essas situações atípicas foram encontradas investigando amostras discrepantes no gráfico de dispersão por pontos na correlação entre Tempo Total com NCD (Fig. 34). Na zona 1 marcada na Figura 34, a explicação para perda de tempo é alto número de comandos dados mas isso não vale para a zona 2. Para os tempos totais alcançados, foi verificado NCD e TO baixo para E63, E22,

E36, E49 e E16. E72 têm NCD baixo mas ainda teria explicação pelo fato de possuir TO de 33%.

Figura 35 - Análise de pontos discrepantes na gráfico de dispersão da vol. 1 - Correlação entre tempo total e número de comandos dados.

Correlação entre Número de Comandos Dados e Tempo Total da tarefa - Modelo 3D 1



Fonte: Autor

Para se verificar como essas amostras estão diferentes é possível comparar numericamente com outras. E22 têm 73 comandos com tempo total de 711 segundos. As outras amostras com aproximadamente 73 comandos têm no máximo 510 segundos. O TO de E22 não é excessivo. É 14%, abaixo da média de todas as amostras que é de 17% (Tabela 4). O mesmo ocorre com os outros. E63 - 573 segundos, NCD de 73 e TO de 21% - Amostras com NCD aproximados de 73 possuem no máximo 302 segundos. E36 - 910 segundos, NCD de 77 e TO de 22% - Amostras com NCD de aproximadamente 79 possuem no máximo 442 segundos. E16 - 730 segundos, NCD de 70 e TO de 10% - Amostras com NCD de aproximadamente 71 têm 548 segundos. E49 - 1224 segundos (o maior valor de todos), NCD de 102 e TO de 17%. Amostras com NCD de aproximadamente 103 possuem no máximo 623 segundos.

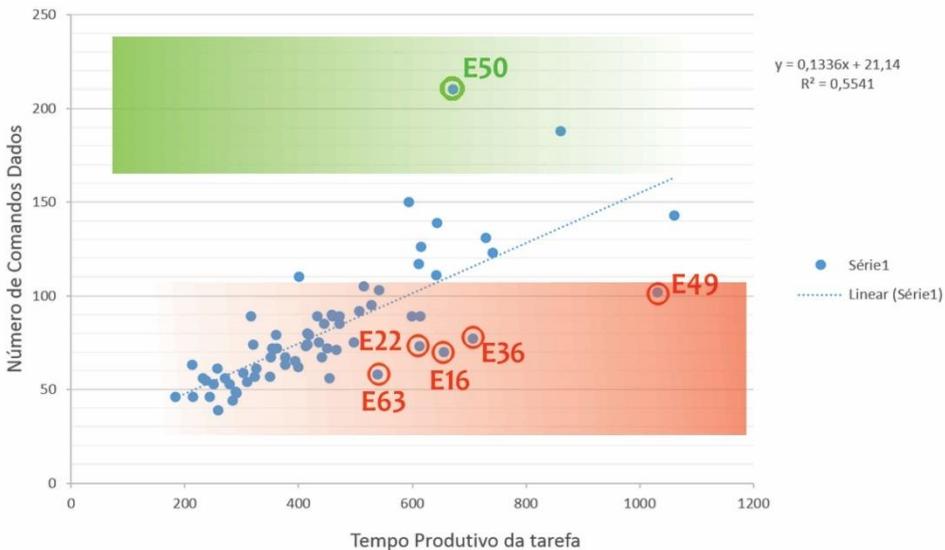
Para identificar essa discrepância analisou-se o que estas amostras têm em comum. O que se detectou é que o valor de NS/C é alto. O motivo

é que estes participantes executam seus comandos de forma muito lenta. E49 têm NS/C de 10, 11 para o modelo 3D 1. O maior valor de todos. Para comparação, quem apresenta a maior velocidade de execução, portanto menor NS/C para o modelo 3D 1 é E50 com 3,20. E49 demora quase 3 vezes mais tempo que E50 para realizar um comando. Os estudantes identificados na Figura 34 estão com os maiores valores de NS/C para o modelo 3D 1. Além de E49 (NS/C de 10,11) têm-se E63 (NS/C de 8,11), E22 (NS/C de 8,38), E36 (NS/C de 9,18) e E16 (NS/C de 9,37).

O NS/C é calculado pela divisão do Tempo Produtivo (Tempo Total menos tempo de pausa) pela quantidade de comandos dados. A Figura 35 ilustra aonde estão os NS/C baixos com alta velocidade de execução na cor verde e os NS/C altos com baixa velocidade de execução na cor vermelha. Quanto mais próximo dos extremos dessa faixa de cor maior ou pior a velocidade execução.

Figura 36 - Faixas aonde ocorrem os maiores (verde) e os menores (vermelho) velocidades de execução de comandos.

Correlação entre Número de Comandos Dados e Tempo Produtivo da Tarefa
Modelo 3D 1



Fonte: Autor

Como conclusão da análise da influência global no tempo total da atividade de modelagem, o NCD, o TO e o NC/S são as variáveis que mais impactam o tempo total da tarefa de modelagem 3D. Porém como o tempo total da tarefa é uma composição de ações, outras variáveis foram consideradas e analisadas. Na matriz de correlação Geral (com todos os dados) apareceu correlacionado com o Tempo Total com relevância o NR – Número de Rotações e Apagar arestas com (r) de 0,61 e 0,60 respectivamente. Essas duas variáveis se correlacionam também com o número de comandos dados com 0,62 e 0,68.

A análise das variáveis que se correlacionam com o número de comandos dados é relevante pois além de ter impacto no tempo total da tarefa, existe uma conexão com os tipos de conhecimento ligados com a modelagem 3D. Se por um lado o número de comandos dados denota as melhores estratégias como citado anteriormente, o número muito elevado de comandos dados denota erros de conhecimento procedimental grave.

Na análise dos vídeos verificou-se que nos tempos mais altos, os participantes não conseguiam modelar e em alguns casos caíam na tática da tentativa e erro. Os estudantes não sabem como proceder, como fazer um recorte, chanfro, rotação de face etc. Quando há erros graves de procedimento dois expedientes são muito comuns nos vídeos. Apagar linhas/arestas e utilizar “voltar” com o comando Ctrl Z. Quando um estudante erra um procedimento ou ele apaga as arestas para fazer de novo ou ele dá comando Ctrl Z para voltar e tentar fazer novamente. Quando os valores destas variáveis são altos é indício de falta de conhecimento procedimental. Portanto é esperado uma colaboração no aumento do tempo total da tarefa quando estas duas variáveis são elevadas.

Com relação a variável Número de Rotações, a forte correlação com o tempo total é por outro motivo. Verificou-se na análise dos vídeos, que quando um participante estava em dúvida de como proceder duas ações aconteciam. A primeira é o cursor ficar parado contribuindo para o Tempo de Pausa e o outro é girando o objeto 3D tentando analisá-lo visando modelar a partir de outra visualização ou outra parte do objeto 3D. No caso da rotação não é possível fazer uma relação direta com a falta de conhecimento procedimental como as variáveis Apagar arestas (Ap.A) e Erros (FDe). Apesar da correlação, o tempo gasto numa rotação pelo participante pode estar ligado à definição de uma estratégia (conhecimento estratégico) ou pode mesmo estar com dificuldade em proceder. Por estes dados e análise feitas não há como afirmar.

Pela análise das variáveis que não apresentaram relação com o tempo total ressalta-se o VCD (Variabilidade de Comandos Dados). Lang et al (1991) aponta que os *experts* utilizam mais variedade de comandos

que os novatos. Nesta pesquisa essa evidência não apareceu. A correlação entre a variedade de comandos usados e desempenho (tempo total) é nula. Foram listados nesse teste 28 variáveis de comandos. Como exemplo, tem participante que fez o modelo 3D 3 com quatro tipos de comandos enquanto outro usou treze tipos. Mesmo com tanta diferença de comandos, os tempos foram parecidos, 413 segundos para quem usou quatro tipos e 446 segundos para quem usou treze tipos.

4.4 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO NA ATIVIDADE DE MODELAGEM 3D

A classificação da *expertise* está entre os objetivos desta tese. A importância reside em alguns fatores. O principal deles é ter um meio de identificar o atual estágio e o processo de evolução do profissional de projeto no quesito *expertise* em modelagem. Através da aprendizagem e experiência profissional ocorre naturalmente o ganho de *expertise*. Porém, é importante saber o grau de *expertise* que o profissional se encontra além do sistema dicotômico novato versus *expert* que as pesquisas listadas no Apêndice B apresentam. A classificação da *expertise* possibilita ao usuário saber em que aspecto específico se faz necessário evolução e quão distante está de atingir alta performance. A análise somente do produto final, só garante a verificação da eficácia.

A classificação proposta é derivada das conclusões tiradas da análise do impacto as variáveis no tempo total da tarefa do item anterior (4.3.3). Quatro variáveis foram escolhidas: Número de Comandos Dados, Tempo Otimizado, Velocidade de Execução e Número de Erros. Dois critérios foram definidos para a escolha destas variáveis para proposição de um sistema de classificação. O primeiro é que tenham alto impacto no tempo total da tarefa. O segundo é que estas variáveis tenham conexão com os conhecimentos procedimental e estratégico. Ou seja, se os valores destas variáveis estão muito elevados ou estão em baixa é indício da presença ou falta de conhecimento procedimental e/ou estratégico.

Este formato de classificação é multi plataforma. Não está preso a nenhum *software* específico. A classificação reflete de modo amplo a atividade de modelagem 3D pelo fato das variáveis serem condições existentes em todos os *softwares*. Esta classificação proposta também não é definitiva pois é necessário fazer uma análise pormenorizada da atividade como está descrito nos itens 4.5 para diagnóstico final do modelador 3D.

A proposta de classificação feita têm como característica ser aberta a qualquer usuário. Não está relacionada a nenhum grupo específico. Para

atingir isso, a classificação não é baseada em valores médios, isso porque o valor médio de um grupo pode ser diferente de outro. Esse teste de modelagem 3D, que foi feito por estudantes de graduação, obteve por exemplo, número médio de comandos dados de 80 (tabela 4) . Um grupo de modeladores de uma empresa poderia obter um valor menor. Com isso, um *expert* de um grupo passaria a novato em outro.

Para evitar desvio de análise, a classificação se baseia no mínimo obtido de cada variável. Optou-se por este método para as variáveis NCD, NS/C e TO. A partir deste mínimo foram criadas faixas de 25% que vão subindo sem limite. Cada faixa gera uma classificação. O valor de 25 % foi definido analisando o número de comandos dados nos vídeos gravados e nos mapas de procedimento (Apêndice F). Foi identificado que nas modelagens que usaram aproximadamente até 25% a mais de comandos acima do mínimo conseguido, não há erro de procedimento. No caso da modelo 3D 1, a menor quantidade de comandos conseguida foi 39 pelo estudante E19. Até 48 comandos (25% acima de 39), não há erros de procedimento. Acima de 48 comandos começam a aparecer erros de procedimento e estratégias inadequadas em termos de produtividade. A faixa de 25% foi usada no NCD e NS/C. Para o Tempo Otimizado foi utilizado uma faixa maior, de 100%. A variação do TO é muito grande nas amostras recolhidas, com variação de 3% a 43%. O uso de faixas de 25% resultaria em faixas muito pequenas para a quantidade de variação. Algumas faixas poderiam inclusive não ter nenhuma amostra.

No caso da variável Erro (FDe), como o menor valor será sempre zero e esta variável possui características específicas, foram propostas faixas de classificação diferente das outras variáveis. As faixas foram criadas baseadas na análise da quantidade de erros visualizados nos vídeos. Foram criadas quatro faixas. A primeira faixa com nenhum erro (Zero); a segunda até cinco erros (< 6); a terceira faixa até 10 erros (< 10); quarta faixa acima de 10 erros. O que se observou nos vídeos analisados é que até 5 erros não pode-se afirmar que houve falta de conhecimento procedimental. É muito comum o erro por distração. As pessoas erram por falta de atenção e por diversas ações que vão desde um simples clique numa aresta a erros de medição. A classificação de faixas para a variável Erro foi configurada para os modelos a serem resolvidos entre 3 a 20 minutos. Para testes mais complexos, com maior tempo, precisariam ser refeitas as faixas. Modelagens de 30 a 50 minutos vão possuir mais erros motivados por distração.

Para organizar a classificação foram criados códigos diferentes para as variáveis Comandos (NCD e NS/C), Tempo Otimizado (TO) e Erro (FDe). Foi definido Letras para Comandos, Número para Tempo e

símbolo de mais e menos (+/-) para quantidade de erros. Na tabela 9, está o sistema de classificação. Utilizou-se os dados do modelo 3D 1 como exemplo. Na planilha geral (Apêndice E) está aplicada a classificação para toda a amostra de 163 modelagens feitas com correção.

Tabela 9 - Tabela de classificação da expertise com dados do modelo 3D 1.

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DA EXPERTISE										
Porcentagem acima do valor mínimo	0%	25%	50%	75%	100%	125%	150%	175%	200%	225%
NCD	39	48,75	58,5	68,25	78	87,75	97,5	107,3	117	126,75
Classificação	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
NS/C	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8	8,8	9,6	10,4
Classificação	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Porcentagem acima do valor mínimo	0%	100%	200%	300%	400%	500%	600%	700%	800%	900%
TO	0,030	0,060	0,090	0,120	0,150	0,180	0,210	0,240	0,270	0,300
Classificação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faixas pela quantidade de Erro	0	< 6	< 10	10 acima						
FDe										
Classificação	++	+	-	--						

Fonte: Autor

A classificação é feita para cada modelagem 3D realizada. Observa-se na Planilha Geral que há em alguns casos grande variação da classificação entre os modelos 3D realizados. É importante o modelador manter uma classificação parecida entre os três modelos 3D apresentando estabilidade na tarefa. Um modelador que gera um ótimo desempenho no modelo 1 e péssimo nas outras duas apresenta uma inconstância que gera dúvidas em relação a sua *expertise*. Pela existência da instabilidade foi criado um *ranking* de desempenho geral baseado na soma dos tempos das três modelagens. Na tabela 10 é apresentado este *ranking*. Os melhores modeladores estão no topo deste *ranking* não somente pelo fato de apresentar bons tempos no teste mas por apresentarem estabilidade na tarefa.

Tabela 10 - *Ranking* dos melhores modeladores considerando a soma do tempo dos modelos 1 2 e 3.

Classificação Tempo Total somado M1, M2 e M3								
Colocação	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
Tempo em segundos	808	892	1141	1147	1271	1297	1298	1308
Estudante	E82	E43	E25	E19	E34	E26	E1	E77
Colocação	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°
Tempo em segundos	1327	1368	1392	1405	1415	1502	1541	1542
Estudante	E38	E80	E3	E17	E53	E40	E9	E32
Colocação	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°
Tempo em segundos	1564	1574	1575	1581	1609	1642	1746	1783
Estudante	E18	E65	E71	E47	E6	E12	E31	E39
Colocação	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°
Tempo em segundos	1998	2006	2080	2124	2157	2224	2511	3144
Estudante	E68	E63	E7	E54	E23	E72	E36	E49

Fonte: Autor

Na Figura 36, é mostrada a estabilidade dos melhores modeladores. É possível verificar que os melhores tempos possuem mais estabilidade. E82 repete AA1 ++ nos modelos 1 e 3. E43 repete A para Número de Comandos dados para os três modelos 3D. E25 e E19 já apresentam tempos totais bem acima de E82 e E43. E82 e E43 estão na faixa de 800 a 900 segundos e E25 e E19 estão na faixa de 1100 a 1200 segundos (Tabela 10). Essa diferença já é impactada pela perda da estabilidade. E25 e E19 possuem três classificações diferentes para TO. E25 possui TO de 3,2 e 1 para os modelos 1, 2 e 3 e E19 possui TO de 6,3 e 5 (Fig.36).

Figura 37 - Classificação da *expertise* para os três modelos dos três primeiros colocados do Tempo Total somado.

Class.	E82	E43	E25	E19
V1	AA1++	AE2+	BB3+	AE6++
V2	BB1+	AB1+	EB2--	AC3+
V3	AA1++	AB2+	BA1+	AC5+

Fonte: Autor

4.5 ANÁLISE QUALITATIVA DA PERFORMANCE NA ATIVIDADE DE MODELAGEM 3D

A análise qualitativa consiste numa avaliação mais específica da tarefa de modelagem 3D. Pela especificidade, a análise qualitativa está no nível do *software* escolhido para o teste de modelagem 3D que é o *Trimble Sketchup*. Com isso as conclusões da avaliação qualitativa não podem ser todas extrapolados para outro *software*. Somente algumas podem ser transferidas quando houver igualdade em algum aspecto entre aplicativos. A análise qualitativa não se apoia prioritariamente na análise de dados mensuráveis como no 5.3 – Análise Quantitativa. A análise identifica o uso de comandos e ações que constituem evidente perda de produtividade na tarefa.

4.5.1 – Identificação de ações estratégicas que auxiliam o desempenho na modelagem 3D

Na análise dos vídeos foi possível identificar um conjunto de ações que levam a ganho e perda do desempenho. Esta análise leva em consideração a preocupação com os pequenos detalhes no momento da modelagem 3D que levam a ganho de produtividade. Estes detalhes podem não impactar fortemente o tempo final da tarefa, mas se foram desconsiderados se tornará difícil atingir a *expertise* em níveis elevados como a classificação AA1++ proposta. Na sequência, lista-se um conjunto de ações que levam a ganho de tempo na tarefa que precisam ser maximizados durante a atividade.

Usar polígono no lugar de linha – O uso de linha foi dividido em dois tipos. Somente linhas e linhas que geram face. Para as linhas que geram face usa-se o mesmo comando da linha. Porém, quando esta linha é criada uma face é gerada pelo fato de fechar um polígono. A separação foi feita com o objetivo de identificar, dentro do processo de modelagem, a proporção das linhas avulsas e as que geram face. Os dados recolhidos no teste apontam uma elevada quantidade de uso de linhas. A tabela 4 aponta 26 linhas avulsas em média e 11 linhas que geram face. O que foi identificado no teste é que em muitas situações o uso da linha é desnecessário. Ela pode ser substituída pelo uso direto de polígono. O retângulo substituiu a execução de 4 linhas. Um exemplo de participante que faz a substituição de linha por retângulo é o E19, citado na tabela 10 como quarto melhor modelador nos tempos somados de todos os modelos 3D.

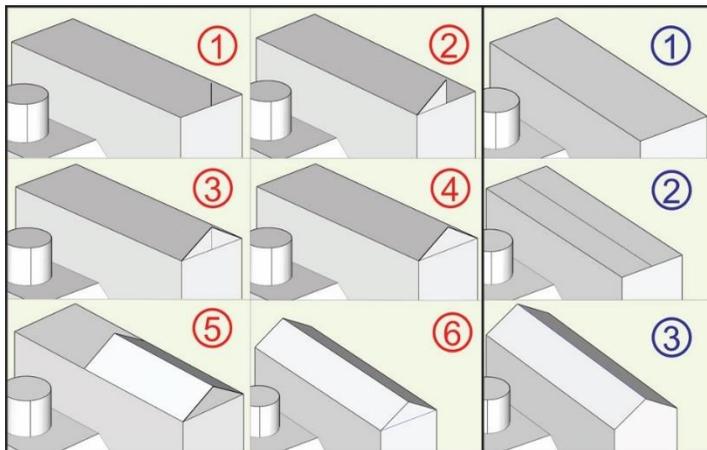
Apagar em bloco – A ação de apagar a linha/aresta ocorre quando se comete um erro durante o processo ou em algum modo de proceder que é preciso trabalhar com intersecções. O que se verificou é que muitos participantes apagam aresta por aresta o que leva a perda de tempo. Uma variável que foi mensurada no teste de modelagem foi Apagar em Bloco. Esta variável consiste em selecionar várias arestas e faces para apagar. Pode ser observado na Planilha Geral (Apêndice E) como é pouco utilizado pelos participantes do teste. O apagar individual deve ocorrer quando há dificuldade de selecionar vários ao mesmo tempo.

Fazer grupos/componentes só em alguns casos – O uso de grupos e componentes é muito útil para organizar a modelagem. Mas isso ocorre em modelagens complexas com grande quantidade de elementos como uma casa aonde há grupos para portas, janelas, vegetação etc. O uso de grupos para modelagens simples se constitui perda de tempo.

Usar mover/copiar aresta, face e vértice – Um procedimento muito comum encontrado no teste de modelagem é modelar partes para apagar posteriormente. Esse procedimento pode ser substituído com muito menos comando e tempo gasto pelo mover ou copiar arestas e faces. Este aspecto é citado também por Bhavnani e Garret (1993). Os autores citam que usuários novatos apagam muito mais do que editam. Um exemplo, extraído do teste de modelagem é a parte superior do modelo 3D 1.

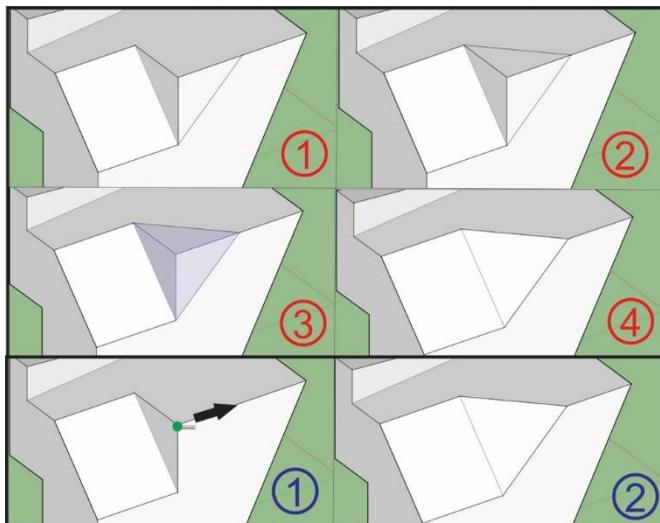
A maioria dos participantes do teste criou um triângulo para extrusão na parte superior. Depois apagou arestas que utilizou na sua construção. Só era necessário criar uma aresta e mover (Fig. 37)

Figura 38 - A ação com falta de produtividade (números vermelhos) versus a ação produtiva (números azuis) – Mover Aresta.



Fonte: Autor

Figura 39 - A ação com falta de produtividade (números vermelhos) versus a ação produtiva (números azuis) – Mover Vértice.



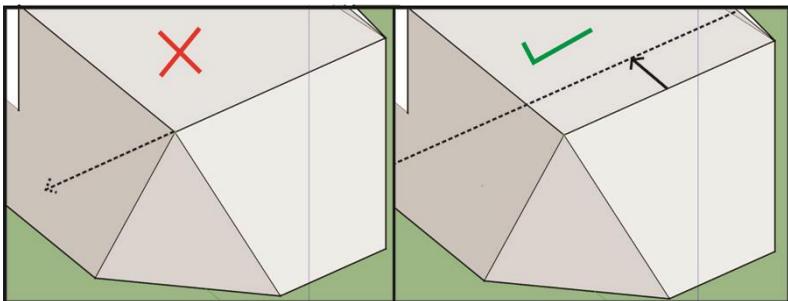
Fonte: Autor

Na sequência da Figura 37, os números vermelhos 3 e 6 arestas são apagadas. Na sequência com números azuis mostra que não é necessário apagar arestas. No número 2 é criada a aresta e no 3 ela é movida para cima.

Na Figura 38, há um exemplo da importância de usar Mover Vértice no modelo 3D 2. A maioria dos participantes preferiu desenhar linhas diagonais para apagar posteriormente arestas e faces do que mover um vértice. No três vermelho está marcada as arestas e faces a serem apagadas. Ação desnecessária, se tivesse movido o vértice como mostra o número um em azul.

Uso de linha para medição – Um item essencial para modelagem 3D em qualquer *software* é a medição. No *Sketchup* há comandos específicos para isso. Um comando específico auxiliar de medição é a linha guia. Foi quantificada essa variável como TrM - Trena para medir. Alguns participantes utilizavam o comando para medir e outros para gerar linha guia. As linhas guias após serem utilizadas precisam ser apagadas para não poluir o desenho, o que gera uma perda de tempo extra. Para isso é possível desenhar uma linha sobre a existente com a medida que precisa ser encontrada. O *Sketchup* não faz sobreposição de linhas como outros *softwares* como AutoCAD. Com isso não há a necessidade de apagar pois naquela posição sempre haverá uma única linha/aresta. Deve-se priorizar a linha para medição. Mas o uso de linha guia é necessário em algumas situações mas sempre utilizado paralelo à medida que se quer descobrir, nunca alinhado. Ao se fazer alinhado muitas vezes se faz em cima da linha/aresta e é difícil conseguir apagar. (Fig. 39).

Figura 40 - O uso de linha guia paralelo a aresta apresenta maior produtividade do que alinhado.



Fonte: Autor

Fazer constante uso de alinhamento - O alinhamento de vértices no *Sketchup* é de grande importância pois é o que permite gerar faces quando se desenha uma figura fechada. Muitos dos erros de procedimento observados nos vídeos foram por não observar essa premissa. Deve-se utilizar os vetores X (linha verde), Y (linha vermelha) e Z (linha azul) como referência, além do vetor alinhamento (linha rosa) que acompanha a aresta que pretende-se alongar.

Não usar ícones – Embora evidente para qualquer análise de usabilidade e produtividade, o uso de ícones ao invés do teclado foi muito utilizado pelos participantes do teste de modelagem 3D. O tempo gasto percorrendo a interface para acionar um ícone envolve uma perda de tempo que o comando direto do teclado minimiza. Das 163 modelagens analisadas somente em 13 não houve nenhum uso de ícone. Em alguns casos extremos como o estudante E22, no modelo 3D 2, acessou os ícones 86 vezes.

4.5.2 – Identificação dos Estilos de Modelagem

A identificação dos “estilos de modelagem” compõe elemento importante nessa pesquisa visando identificar as melhores práticas. O “estilo de modelagem” compreende o uso constante de comandos, visualizações, configurações por um usuário nas modelagens que são desenvolvidas. Esse padrão de comportamento não ocorre somente no *software* desta pesquisa (*Trimble Sketchup*). Essa padrão de comportamento ocorre por hábito ou algum aprendizado adquirido pelo usuário que persiste ao longo do tempo no seu modo de trabalhar. Analisando a modelagem 3D pela ótica da produtividade, o padrão de comportamento pode-se comportar como um vício ou uma virtude. O item anterior - 4.5.1, foi elencado um conjunto de ações que ao serem empreendidas diminuem a perda de tempo. Quando o usuário realiza uma ação que envolve perda de tempo reiteradas vezes, a mesma se configura num “estilo de modelagem” prejudicial à produtividade.

Para identificar “estilos de modelagem” entre os participantes foi proposto, nesta pesquisa, a realização de mais de uma modelagem 3D. Quanto maior quantidade de repetições na atividade de modelagem maior confiabilidade na identificação de um padrão de comportamento. Diante dos prazos disponíveis para coleta e análise das modelagens foi possível realizar três modelos 3D visando a repetição da tarefa de modelagem. Dos 82 participantes, ficou uma amostra de 32 que não faltaram no teste de modelagem e fizeram com correção. Essa amostra foi analisada quanto à

repetição de padrões que levam a perda de produtividade. Para análise foram selecionados os aspectos elencados do item anterior - 4.5.1. O único aspecto não analisado foi o uso constante de alinhamento pois não é passível de ser realizado pelos dados coletados. Os “estilos de modelagem” foram identificados de acordo as análises abaixo:

Uso de polígono

O uso de polígono é importante para reduzir o número de linhas criadas. Na análise da amostra de 32 participantes foi verificado quais não usaram nenhuma vez o retângulo. Mais da metade dos participantes da amostra não usou nenhuma vez o retângulo durante as três modelagens. No total são 19 participantes que não cogitaram utilizar polígono durante o processo de modelagem, apontando um modo de trabalhar preferencialmente com linhas.

Apagar em bloco.

Da amostra de 32 participante analisados, quatro não utilizaram em nenhum momento, o expediente de apagar em bloco. São eles: E6, E47, E72 e E82. Embora o participante E82 tenha boa produtividade nos testes, apagar em bloco poderia ter reduzido o número de 12 arestas apagadas no modelo 3D 2.

Fazer grupo ou componente

A ação de fazer grupo ou componente quase não foi utilizada. Da amostra analisa somente 1 fez uso que foi o estudante E65. Pela simplicidade do modelo 3D, este tipo de comportamento, que se mostrou padrão no usuário, contribuiu para a perda de tempo.

Mover/Copiar Arestas, Faces e Vértices

No item Mover/Copiar foi analisado quais participantes não usaram nenhuma vez Mover Aresta. Este tipo de ação poderia ter sido utilizado para reduzir número de comandos nas três modelos 3D realizados. Foram identificados 17 participantes que não utilizaram nenhuma vez Mover Aresta. Destes 17 nenhum também utilizou Mover Face.

Uso de linha de medição

Foi analisado, nos 32 participantes separados, quantos usaram trena para medir arestas e espaçamentos para modelar. Foi encontrado somente o participante E36. Todo o resto da amostra usou linha sobre linha para medir (linha de medição). A estudante E36 fez uso deste recurso uma só vez no modelo 3D 1.

Uso de ícones

De todos os 32 participantes analisados somente um não fez uso de ícone nenhuma vez durante a realização dos três modelos 3D. Foi o estudante E65. Dos outros destacam-se 11 que tiveram uso excessivo de ícones com uma média acima de 15 acessos à ícone por modelo.

Quadro 4 - Quadro síntese dos estilos de modelagem identificados.

	AFP	AAB	UTR	AMA	UGR	UI	UIE		AFP	AAB	UTR	AMA	UGR	UI	UIE
E1								E38							
E3								E39							
E6								E40							
E7								E43							
E9								E47							
E12								E49							
E17								E53							
E18								E54							
E19								E63							
E23								E65							
E25								E68							
E26								E71							
E31								E72							
E32								E77							
E34								E80							
E36								E82							
AFP - Ausência de Forma Poligonal AAB - Ausência de Apagar em Bloco UTR - Uso de Trena								AMA - Ausência de Mover Aresta UGR - Uso de Grupo UI - Uso de Ícone UIE - Uso de Ícone Excessivo							

Fonte: Autor

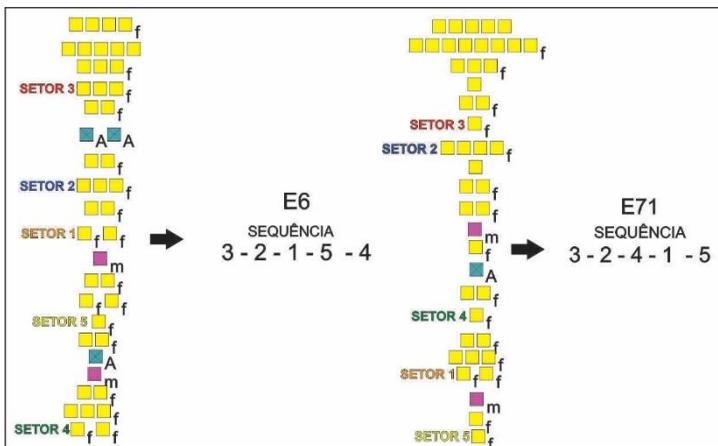
No Quadro 3, apresenta-se uma síntese dos itens analisados. Neste quadro aparece a presença ou falta de ações que os usuários repetiram nos três modelos 3D. Estes comportamentos conduziram à perda de tempo na tarefa. Isso define o estilo de modelagem destes usuários. Destaca-se na análise deste quadro que E36, E63, E71, E72 e E80 estão com a maior quantidade de campos marcados. São 4 de 7 possíveis. Ao verificar os tempos obtidos no teste de modelagem destes 5 participantes, verifica-se que todos são elevados, com baixa performance. Com isso ressalta-se a importância de se verificar os padrões de comportamento visando eliminar procedimentos que não contribuem para a produtividade na tarefa.

4.5.3 - Sub tarefas e estratégia

A única variável ordinal registrada na Planilha Geral da tarefa (Apêndice E) é a sequência dos setores modelados pelos participantes. O objetivo desta variável é fazer a análise da sub tarefa. Pesquisas como Lang et al (1991), Bhavnani, John e Flemming (1999), Chester (2006), Chi, Lan e Tsai (2000), Rynne e Gaughran (2007) apontam a importância de analisar as sub tarefas visando mapear como ocorre a realização de partes da modelagem.

Os dados sequenciais da Planilha Geral foram extraídos do ordenamento registrado no Mapa de Procedimentos (Fig. 40)

Figura 41 - Extração da sequência de setores modelados de E6 e E71 da modelo 3D 3 a partir do registro no Mapa de Procedimentos.



Fonte: Autor

A análise da sub tarefas nessa pesquisa consistiu em verificar o impacto no desempenho no tempo total da tarefa dependendo da sequência que o participante escolhesse para a modelagem. Não foi possível gerar um índice de correlação entre Tempo Total de Tarefa e Sequência por se tratar de variáveis com diferentes escalas – (Tempo Total – Escala de Razão / Sequência – Escala Ordinal). A análise da relação entre desempenho e sequência foi feita diretamente na análise dos resultados na Planilha Geral. Na tabela 11 foi selecionado para análise os 10 melhores tempos e 10 piores tempos da modelo 3D 1 com as respectivas sequências de setores modelados pelos participantes.

Tabela 11 - Tabela com sequência de setores feitos do modelo 3D 1.

Sequências dos Setores modelados					
	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto
1	4	1	5	2	3
2	1	5	2	4	3
3	1	5	4	2	3
4	5	1	4	2	3
5	4	2	3	1	5
6	1	5	4	2	3
7	1	5	2	4	3
8	2	4	3	1	5
9	1	5	2	3	4
10	1	2	3	4	5
	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto
58	1	4	2	3	5
59	1	5	4	2	3
60	1	5	3	2	4
61	1	5	4	2	3
62	1	5	2	4	3
63	4	1	5	2	3
64	1	5	4	3	2
65	1	5	2	4	3
66	1	4	2	3	5
67	1	5	3	4	2

O que se identificou na análise da tabela 11 é que não há relação entre seqüências adotadas com o desempenho. Tanto nos 10 primeiros tempos quanto nos 10 últimos, as seqüências se mostraram similares. Há uma preferência em se modelar primeiro o setor 1 e por último modelar o setor 3. Visando identificar o padrão global de preferência na seqüência de modelagem de cada modelo 3D foi montada uma tabela geral para cada uma. (Tabela 12).

Tabela 12 - Tabela com seqüência de setores modelados das três modelos 3D.

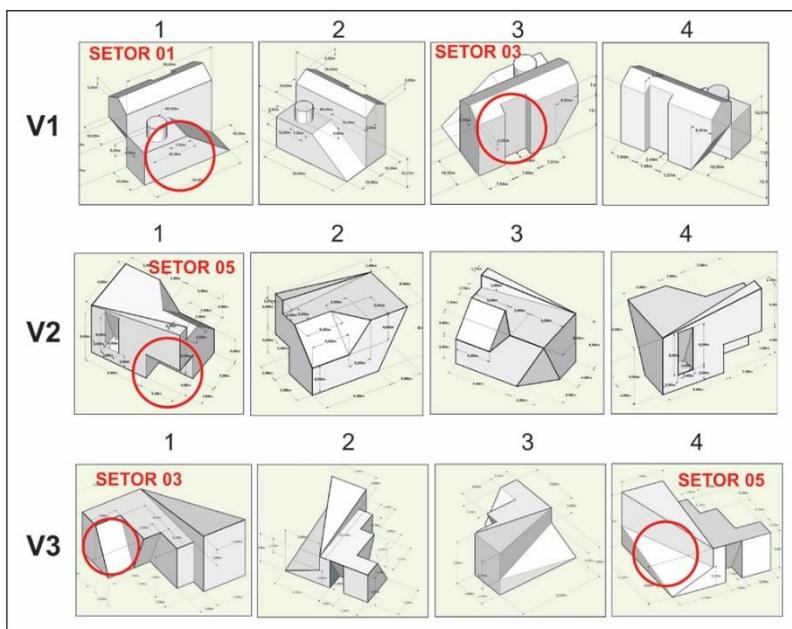
MODELO 3D 1							
		ORDEM					SOMA
		1	2	3	4	5	
SETORES	1	56	5	0	6	0	67
	2	3	4	30	24	6	67
	3	0	4	12	22	29	67
	4	5	8	19	15	20	67
	5	3	46	6	0	12	67
	SOMA	67	67	67	67	67	
MODELO 3D 2							
		ORDEM					SOMA
		1	2	3	4	5	
SETORES	1	4	7	18	19	7	55
	2	4	11	20	13	7	55
	3	6	11	6	17	15	55
	4	11	11	5	4	24	55
	5	30	15	6	2	2	55
	SOMA	55	55	55	55	55	
MODELO 3D 3							
		ORDEM					SOMA
		1	2	3	4	5	
SETORES	1	7	2	18	7	7	41
	2	2	28	7	2	2	41
	3	28	8	4	1	0	41
	4	2	3	11	17	8	41
	5	2	0	1	14	24	41
	SOMA	41	41	41	41	41	

Fonte: Autor

Na análise da Tabela 12 fica evidente a existência de um padrão. Quase toda a amostra do modelo 3D 1 começou modelando pelo setor 1 (56 de 67) e depois modelou o setor 5 (46 de 67). Há uma forte tendência também no modelo 3D 2 aonde 30 de 55 começaram modelando pelo setor 5. No modelo 3D 3 também verificou-se uma tendência relevante com metade da amostra modelando primeiro o setor 3 (28 de 41) e por último o setor 5 (24 de 41).

Averiguou-se todo processo de modelagem e foi identificada uma relação entre a sequência preferencial dos participantes e a ordem que as figuras, em vista isométrica, foram apresentadas nas 4 folhas entregues para o teste. No modelo 3D 1, o primeiro setor mais modelado foi o número 1 que encontra-se visível na primeira folha das quatro entregues (Fig. 41). O setor 3 não está visível nesta primeira folha. O setor 3 está visível na terceira e quarta folha. O mesmo acontece com a O modelo 3D 2 aonde o setor 5 foi o mais modelado na primeira ordem. Este setor está visível na primeira folha. No modelo 3D 3, o setor 3, preferido

Figura 42 - Sequência das folhas que foram entregues no teste de modelagem.



por mais da metade da amostra como o setor inicial a ser modelado, está visível na primeira folha. O setor 5, que foi feito por último pela maioria, não está visível nesta folha (Fig. 41).

Como todos os participantes observam a primeira página antes de ver as outras, muitos optaram por começar a fazer do ângulo que lhes foi apresentado à primeira vista. Há um forte indicativo de indução por parte do material impresso entregue para realização da tarefa. Isso denota uma falta de preocupação em organizar uma estratégia de modelagem, desconsiderando a possibilidade de que a sequência realizada impacta o tempo final da tarefa. Esta falta de consciência estratégica conduziu muitos participantes a resultados ruins no modelo 3D 2, mesmo após ter tido um bom tempo na realização do modelo 3D 1. É o caso de E79 e E82. Estes dois participantes começaram modelando a volumetria pelo lado e não de baixo para cima como os modeladores com melhor tempo fizeram. Isso custou perda de tempo. A falta de preocupação em analisar a sequência a ser modelada foi o motivo que causou a desistência de E70. Assim como E79 e E82 iniciou o processo de modelagem pelo pior lado. A série de complicações consequentes desta escolha gerou a desistência de concluir a modelagem.

4.6 MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DO ALTO DESEMPENHO NA ATIVIDADE DE MODELAGEM 3D

O modelo para identificação do alto desempenho na modelagem 3D proposto por esta é tese é composto do conjunto dos três objetivos alcançados nos itens 5.3.3 – (Tempo Total X Variáveis). Item 5.4 (proposta de classificação) e item 5.5.2 (Identificação dos Estilos de Modelagem).

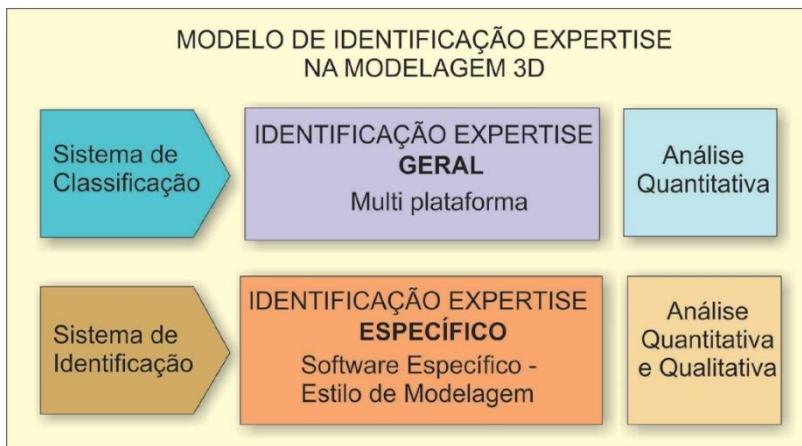
O modelo possui duas abordagens principais quanto a identificação da *expertise* do modelador. Uma é a identificação de um conjunto de características gerais que impactam com relevância o tempo total da tarefa. As variáveis identificadas foram o NCD (Número de Comandos Dados), NS/C (Tempo de Execução) e o TO (Tempo Otimizado). Essa abordagem geral possui variáveis que identificam a *expertise* no ato de modelar em 3D num ambiente digital. Não está relacionada à nenhum *software* específico.

A segunda abordagem é uma identificação da *expertise* no nível específico do *software* escolhido. Esta abordagem constitui a identificação do “estilo de modelagem”. Este estilo está relacionado ao uso de um comportamento padrão num *software* específico que conduz a

perda de tempo no processo. Esta perda de tempo está relacionada ao uso de ações, comandos e configurações reiteradas vezes de forma improdutivo.

Além das duas abordagens de identificação da *expertise* foi proposto um sistema de classificação que visa dar um diagnóstico do nível de *expertise* do usuário. Esse sistema de classificação foi proposto somente para a primeira abordagem. O critério para ser feita somente para a primeira abordagem está baseado em dois objetivos. O primeiro é que a classificação possa ser utilizada em outros *softwares*, algo que é possível pela característica das variáveis da primeira abordagem. O segundo objetivo é que a classificação possibilitasse diagnosticar a presença ou ausência dos conhecimentos listados no capítulo 2. Por isso foi acrescentado a variável Erro (FDe) ao sistema de classificação. A variável Erro (FDe), além de ser genérica e poder ser mensurada em outros *softwares*, representa evidências significativas de falhas no conhecimento procedimental. Na Figura 42 tem-se o esquema gráfico que ilustra o modelo de identificação da *expertise* em modelagem 3D.

Figura 43 - Modelo de Identificação da Expertise na Modelagem 3D.



Fonte: Autor

5 APLICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de identificação proposto pela tese possui algumas aplicações. Identificar a *expertise* é de interesse tanto do meio profissional quanto do meio educacional.

No mercado de trabalho, a identificação do *expert* incide no recrutamento dos melhores profissionais. Além do recrutamento, a gestão do trabalho também se apropria da identificação dos *experts*. O profissional com alta performance numa atividade como a modelagem 3D, têm que estar inserido na cadeia produtiva de projeto aonde obtém maior rendimento. Para isso é preciso identificar as potencialidades e as limitações destes profissionais.

No meio acadêmico, a identificação de como se forma um *expert* se traduz em contribuição à formulação de propostas pedagógicas mais eficientes. Um sistema de identificação da *expertise* pode servir de apoio à docência, principalmente nas disciplinas de modelagem 3D na graduação em cursos como Arquitetura, Design e Engenharia.

5.1 SISTEMA DE DIAGNÓSTICO E IDENTIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ALTO DESEMPENHO

O modelo proposto para identificação da *expertise* desta tese foi delineado com base nos propósitos das pesquisas desenvolvidos dentro da Engenharia do Conhecimento. Ao identificar as potencialidades e deficiências das atividades intensivas em conhecimento é possível propor sistemas especialistas (SE) ou sistemas baseado em conhecimento (SBC) que transferem a sistemas computacionais atividades feito pelos humanos. Com foco nessa abordagem é feita uma proposta de uso do modelo de identificação da *expertise* da tese dentro de um sistema computacional. A proposta têm por objetivo ilustrar umas das possíveis aplicações da pesquisa realizada e do modelo concebido.

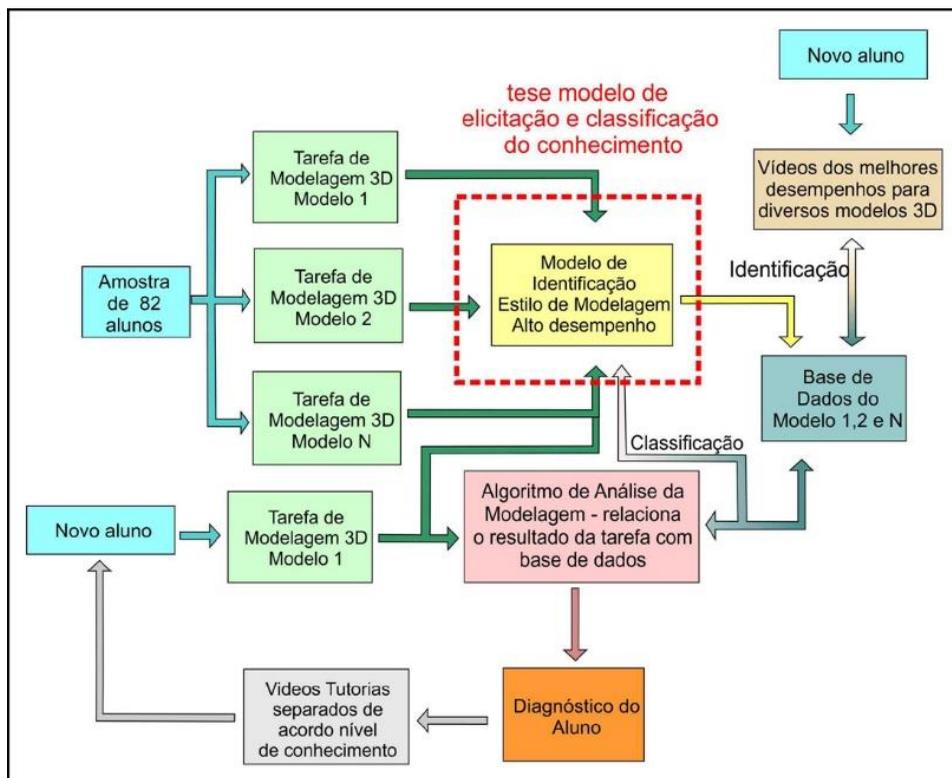
A aplicação proposta é um sistema de apoio ao ensino de modelagem. O objetivo deste sistema é identificar e classificar a *expertise* em modelagem 3D oferecendo suporte ao professor. A Figura 43 mostra o fluxograma do sistema proposto.

A entrada do sistema consiste na testagem com os modelos 3D e a gravação das variáveis, como foi feito no teste de modelagem 3D da tese. Estas variáveis gravadas são quantificadas, organizadas e filtradas de acordo o modelo proposto na tese. Estes dados alimentam um banco de dados que reúne os dados para cada modelo 3D criado e testado com os alunos. É possível fazer mais testes com os três modelos 3D criados nessa

tese aumentando a base de dados, assim como é possível propor novos modelos 3D a serem testados.

A partir da base de dados estruturada, duas ações podem ser realizadas após serem gravados os vídeos e os modelos 3D de todas as modelagens. A primeira ação é separar os vídeos dos menores tempos alcançados. Os vídeos com modelagens erradas são descartadas. A análise é feita baseado nos modelos 3D gravados junto com os respectivos vídeos. Os vídeos dos menores tempos alcançados são disponibilizados aos novos alunos. Estes alunos têm a possibilidade de visualizar quais estratégias e procedimentos foram criados para atingir alto desempenho. A segunda ação que o sistema pode fazer é classificar um novo aluno que fizer uma modelagem 3D que está na base de dados do sistema.

Figura 44 - Proposta de aplicação computacional do modelo de identificação da *expertise* proposto na tese.



O resultado da tarefa é comparado com a base de dados para posterior aplicação da classificação proposta na tese. A partir da classificação é identificada qual a deficiência do novo aluno. Para cada deficiência identificada para os itens de classificação, que são NCD, NS/C, TO e FDe, é proposto um vídeo tutorial específico ou atividade correlata.

Este sistema não têm como objetivo substituir o professor, que deve fazer o diagnóstico final da falta ou presença de conhecimento do aluno. Mas o sistema funciona como apoio para fazer diversas análises no qual se gastaria muito tempo para fazer. A atuação do sistema é principalmente na análise do processo de modelagem, identificando eficiência que é muito mais trabalhoso que a análise da eficácia que consiste apenas em verificar se o modelo 3D está correto. O sistema serve como alternativa aos treinamentos tradicionais que Bhavnani, John e Flemming (1999) descrevem que se apoiam somente no resultado do produto final.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O projeto de produtos e edificações, atualmente na indústria, têm utilizado cada vez mais o recurso de se fazer um “produto virtual” durante as etapas de projeto através das ferramentas CAD. As demandas atuais da indústria demandam cada vez mais das universidades que os engenheiros, arquitetos e designers sejam graduados com habilidades em modernas ferramentas CAD. O profissional que não estiver capacitado vai ser posto em desvantagem no ambiente altamente competitivo (PENG et al, 2012).

Pesquisa citada por PENG et al (2012), com as indústrias, apontam que 74% consideram inadequado a ensino de CAD. Muito do que é ensinado é focado no Conhecimento Declarativo, que significa mostrar o que faz os comandos. Hartman (2005) aponta que em decorrência da falta de uma efetiva educação e treinamento, muitos usuários não desenvolvem habilidades que focam no uso efetivo de estratégias dentro do *software*. Hartman (2005) destaca que as universidades não encorajam os estudantes as melhores práticas. Elas estão estritamente preocupadas na proficiência de seleção de menus e comandos dos aplicativos.

A ausência das melhores práticas dentro das sala de aula é apontada por Chester (2008) pela dificuldade que há ainda em identificar a *expertise*. Chester (2008) aponta que, a indicação dos *experts*, ainda é feita por experiência ou por indicação dos pares.

Diante deste contexto, foi realizada uma Revisão Sistemática analisando diversas pesquisas que focam na *expertise* em CAD. O objetivo foi verificar como as pesquisas estão analisando e identificando a *expertise*. Este levantamento apontou que algumas abordagens ainda não foram realizadas. São lacunas que precisam ser sanadas visando uma panorama mais preciso do que compõe a *expertise* na atividade de modelagem 3D. Foram identificados três aspectos a serem abordados: A falta de uma análise no Tempo Total da tarefa identificando as variáveis que mais impactam o tempo final, a ausência de um sistema de classificação da *expertise* e a identificação dos “estilos de modelagem” que conduzem a perda/ganho de tempo na atividade.

Todos os três aspectos listados não foram considerados em outras pesquisas. Os resultados encontrados na tese, a partir da resolução dos aspectos ausentes em outras pesquisas, contribuíram para o entendimento da *expertise* e para a elicitación das melhores práticas.

Os resultados foram alcançados através da análise da atividade de modelagem 3D e foi proposto um modelo global de identificação da *expertise* que englobou as três abordagens propostas. A análise da atividade foi feito através do rastreamento da tarefa de modelagem 3D. Foi identificada, na atividade realizada por 82 alunos de graduação, as variáveis que mais impactam o Tempo total da atividade de modelagem 3D. Foram identificadas por ordem de importância: O Número de Comandos Dados (NCD), O Tempo Otimizado e a Velocidade de Execução.

Cada variável identificada está relacionada diretamente à produtividade da atividade de modelagem 3D. O NCD explicita a existência de Conhecimento Estratégico, que é considerado pela maioria dos autores pesquisados como o ponto principal que precisa de melhoria de ensino nas universidades. Rynne, Gaughran e Seery (2011) apontam que certamente uma mudança relevante no atual “mundo do CAD” é uma mudança no foco pedagógico no qual os aprendizes desenvolvem o pensamento projetual e a capacidade de resolução de problemas. Isto será obtido através do desenvolvimento e aplicação dos conhecimentos estratégicos de modelagem em CAD.

A partir da identificação das variáveis que impactam o Tempo Total da tarefa foi proposto um sistema de classificação. A classificação possibilitou a verificação do atual conhecimento de modelagem em detalhes de cada estudante. Isso permite a possibilidade de concentrar esforços em aperfeiçoar somente as limitações específicas de cada indivíduo. Também dentro do mesmo propósito, foi feita a identificação dos “estilos de modelagem” que permitiu uma noção mais aprofundada

ainda das deficiências dos estudantes. A análise dos “estilos de modelagem” possibilitou identificar vícios que estudantes carregam e muitas vezes não tem noção, quando trabalham com as ferramentas CAD.

A identificação das variáveis que mais impactam o tempo da tarefa de modelagem, a classificação e a identificação dos “estilos de modelagem” compõe o modelo de identificação da *expertise* proposto por este trabalho.

A síntese da contribuição desta tese foi o Modelo de Identificação da Expertise em modelagem 3D que engloba:

- A identificação das variáveis que mais impactam o Tempo Total da tarefa de modelagem 3D.

- A proposição de um sistema de classificação da *expertise* a partir das variáveis que impactam a produtividade da atividade de modelagem.

- A identificação que usuários de *softwares* CAD possuem um padrão de comportamento quando modelam. Foi destacado quais destes comportamentos prejudicam/auxiliam o desempenho de modelagem quando é utilizado o software *Trimble Sketchup*. (caso específico desta tese).

5.2.1 – Recomendação de trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, é proposta três linhas de pesquisas:

1- A pesquisa dos dados registrado na tarefa através de outras abordagens estatísticas e metodológicas. Foco na identificação de um padrão de resolução de problema de modelagem através de redes neurais com a predição do comportamento.

2- A pesquisa voltada especificamente para aprendizagem. Monitorar e sistematizar como muda a classificação da *expertise* (proposta pela tese) ao introduzir novas propostas pedagógicas de ensino de estratégias na atividade de modelagem 3D.

3- A pesquisa com viés da ciência cognitiva e neurociência. Correlacionar os resultados dos testes encontrados neste trabalho com testes psicotécnicos. Identificar a atividade cerebral com testes da neurociência como o EEG (Eletroencefalograma) durante a criação de

estratégias, tomada de decisão e resolução de problemas durante a modelagem 3D.

Independente da linha de pesquisa para trabalhos futuros a serem adotados, o foco nos próximos anos é uma investigação aprofundada no Conhecimento Procedimental e Estratégico. É necessário entender melhor como ele é estruturado, como se desenvolve e como desenvolvê-los. Todas as pesquisas analisadas na revisão da literatura apontam de maneira veemente a importância do aperfeiçoamento dos procedimentos e das estratégias tanto para ganho de produtividade quanto para a criação de modelos 3D mais “inteligentes”. Este trabalho também corrobora com esta visão, ao observar os resultados encontrados, que apontaram que saber proceder e ter uma boa estratégia é fundamental para um desempenho eficiente na modelagem digital 3D.

REFERÊNCIAS

ABANDA, F. H. et al. **A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects**. *Advances in Engineering Software*, v. 90, p. 183-201, 2015.

ANDERSON, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

AHMED, Saeema; WALLACE, Ken M.; BLESSING, Lucienne T. Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks. *Research in engineering design*, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2003.

AULT, Holly K. **3-D geometric modeling for the 21st century**. *Engineering Design Graphics Journal*, v. 63, n. 2, 2009.

AUTODESK. **AutoCAD 2013 User's Guide**. 2012
Link:http://docs.autodesk.com/ACDMAC/2013/ENU/PDFs/acdmac_2013_users_guide.pdf. Acessado em 28/09/2015.

BHAVNANI, Suresh K.; GARRETT, James H.; SHAW, Doris S. Leading indicators of CAD experience. In: **CAAD Futures**. 1993. p. 313-334.

BHAVNANI, Suresh K.; JOHN, Bonnie E.; FLEMMING, Ulrich. The strategic use of CAD: An empirically inspired, theory-based course. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM. p. 183-190. 1999.

BINZ-SCHARF, Maria Christina. **Exploration and Exploitation: Toward a Theory of Knowledge Sharing in Digital Government Projects**. Dissertação (Doutorado em Economia). Universität St. Gallen, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG), Zurich, 2003.

CASTELLS, Manuel; GERHARDT, Klaus Brandini. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e terra, 2000.

CELANI, Maria Gabriela Caffarena, e PUPO, Regiane Trevisan. **Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e**

construção: definições e estado da arte no Brasil. Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo8.1 (2008).

CHESTER, Ivan Robert; TEACH, Dip; TEACH, Adv Dip. **Delineating and Developing Expertise in Three-Dimensional Computer Aided Design.** 2006. Tese de Doutorado. Griffith University.

CHESTER, Ivan. Teaching for CAD expertise. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 17, n. 1, p. 23-35, 2007.

CHESTER, I. **Researching expertise development in complex computer applications.** In International Technology Education Series, Rotterdam/Taipei: Researching technology education: Methods and techniques (pp. 70-88).2008

CHI, M.T.H., GLASER, R. e FARR, M.J. **The nature of expertise.** New Jersey:Lawrence Erlbaum Associates.1988

CHI, Chia-Fen; LAN, Woei-Shuoh; TSAI, Jeng-Ru. **Deriving and analyzing performance strategy in a two-dimensional drawing task.** International Journal of Industrial Ergonomics, v. 25, n. 4, p. 393-404, 2000.

COOKE, N. J., ATLAS, R. S., LANE, D. M., e BERGER, R. C. **Role of high-level knowledge in memory for chess positions.** American Journal of Psychology, Vol. 106, pp. 321-351.1993

COOKE, N.J. (2000) **Knowledge Elicitation.** In Durso, F.T. Ed (2000) Handbook of Applied cognition. West Sussex: Ed Wiley and Sons.

CROSS, Nigel. **Expertise in design: an overview.** Design studies, v. 25, n. 5, p. 427-441, 2004.

CUSTERS, E.J.F.M., Boshuizen, H.P.A., & Schmidt, H.G. **Cognition and Instruction.** Vol. 16, No. 4, pp. 367-398. 1998.

DAVENPORT, Thomas H; PRUSAK, Laurence. **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual.** 8. ed. Rio de Janeiro: Campus. 237p.1998

FLORIO, W., **O Uso de Ferramentas de Modelagem Vetorial na Concepção de uma Arquitetura de Formas Complexas**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2005

FLORIO, W. **Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 6(2), 43-66. 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GROOT, DE A.D. **Thought and choice in chess**. The Haig: Mouton.1965

HAMADE, Ramsey F.; ARTAIL, Hassan A.; JABER, Mohamad Y. **Evaluating the learning process of mechanical CAD students**. *Computers & Education*, v. 49, n. 3, p. 640-661, 2007.

HAMADE, Ramsey F.; ARTAIL, Hassan A. **A study of the influence of technical attributes of beginner CAD users on their performance**. *Computer-Aided Design*, v. 40, n. 2, p. 262-272, 2008.

HAMADE, Ramsey F.; ARTAIL, Hassan A.; JABER, Mohamad Y. **A study of the impact of the willingness-to-learn of CAD novice users on their competence development**. *Computers & Industrial Engineering*, v. 61, n. 3, p. 709-720, 2011.

HAMADE, Ramsey F. **Learning Curves for CAD Competence Building of Novice Trainees**. 2012. Researchgate.net

HARTMAN, Nathan W. Defining expertise in the use of constraint-based CAD tools by examining practicing professionals. *Engineering Design Graphics Journal*, v. 69, n. 1, 2005.

HEDLUND, G. **A model of knowledge management and the N-form Corporation**. *Strategic Management Journal*, 15.73-90.1994

HOFFMAN, Robert R. et al. **Eliciting knowledge from experts: A methodological analysis. Organizational behavior and human decision processes**, v. 62, n. 2, p. 129-158, 1995.

KOGUT, B. , ZANDER, U. **Knowledge of the firm, combinative capabilities, and the replication of technology.** Organization Science, 3(3): 383-397.1992

KALAY, Yehuda E. **Architecture's new media: principles, theories, and methods of computer-aided design.** MIT Press, 2004.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: design and manufacturing.** New York, Spon Press, 313 p. 2003

KRATOCHVIL, Claudia Finger. Letramento e tecnologia: o aprendiz estratégico e crítico na era da informação. In: NASCIMENTO, A. D.,

LANG, George T, EBERTS, Ray E, GABEL Michael G. MOSHE, M. Barash. **Extracting and using procedural knowledge in a CAD task.** Engineering Management, IEEE Transactions on, v. 38, n. 3, p. 257-268, 1991.

LAWSON, Bryan. **Schemata, gambits and precedent: some factors in design expertise.** Design studies, v. 25, n. 5, p. 443-457, 2004.

LEITÃO, António; SANTOS, Luís; LOPES, José. **Programming languages for generative design: A comparative study.** International Journal of Architectural Computing, v. 10, n. 1, p. 139-162, 2012.

LIU, Y. et al. **A fuzzy psycho-physiological approach to enable the understanding of an engineer's affect status during CAD activities.** Computer-Aided Design, v. 54, p. 19-38, 2014.

MATLIN, Margaret. **Psicologia cognitiva**5. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC. 403p. 2004

MIEG, H.A. **The social psychology of expertise: case studies in research, professional domains, and expert roles.** Mahwah, N.J.; London : LawrenceErlbaum Associates.2001

NAZARIO, Debora C., PACHECO, Roberto C.S., TODESCO, José L. e ROTTA, Maurício J. R. **O Processo de Aquisição na Engenharia do Conhecimento: técnicas de Extração e Elicitação.** In: CONTECSI-

International Conference on Information Systems and Technology Management. 2012. p. 499-517.

NONAKA, I. **A dynamic theory of organizational knowledge creation.** Organization Science, 5(1): 14-37.1994

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa: Como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação.** Rio De Janeiro: Campus, 1997.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, H. **The knowledge-creating company.** Oxford. UK. Oxford University Press.1995

NONAKA, I.; TOYAMA, R.; KONNO, N. **SECI, ba and leadership: A unified model of dynamic knowledge creation.** Long Range Planning, v. 33, p. 5-34, 2000.

OPREAN, Danielle; BALAKRISHNAN, Bimal. **Quest for Efficiency: Examining Cognitive Processes Underlying the Use of 3D Modeling Tools.** In:eCAADe 2013: Computation and Performance–Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Delft, The Netherlands, September 18-20, 2013

OXMAN, Rivka. **Theory and design in the first digital age.** Design studies, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006.

PENG, Xiaobo et al. **Assessing novice CAD model creation and alteration.**Computer-Aided Design and Applications, PACE (2), p. 9-19, 2012.

PENG, Xiaobo et al. **Integration of contextual exercises in computer-aided design education.** Computer-Aided Design and Applications, v. 12, n. sup1, p. 13-21, 2015.

PEKTAŞ, Şule Taşlı. **Cognitive styles and performance in traditional versus digital design media.** eCAADe Conference Proceedings, 2009

POLANYI, M. **The Tacit Dimension.** London: Routledge.1966

PORTELLA, Underléa Bruscato. **De lo digital en arquitectura**. Tese de Doutorado. Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona, 2006.

RYNNE, Anthony; GAUGHRAN, William. **Cognitive modeling strategies for optimum design intent in parametric modeling**. Computers in Education Journal, v. 18, n. 1, p. 55-68, 2007.

RYNNE, Anthony; GAUGHRAN, William F.; SEERY, Niall. **Defining the variables that contribute to developing 3D CAD modelling expertise**. In: Graphicacy and Modelling. The International Conference on Design and Technology Educational Research and Curriculum Development, Loughborough, UK.. p. 161-233. 2011

RYLE, Gilbert. **The concept of mind**. London: Hutchinson. 1949.

SALMAN, Huda S.; LAING, Richard; CONNIFF, Anna. **The impact of computer aided architectural design programs on conceptual design in an educational context**. Design Studies, v. 35, n. 4, p. 412-439, 2014.

SCHREIBER, G. et al. **Knowledge engineering and management: the commonKADS methodology**, Massachusetts: MIT Press, 2000.

SETZER, Valdemar W. **Dado, informação, conhecimento e competência**. DataGramaZero Revista de Ciência da Informação, n. 0, 1999.

SHEDROFF, Nathan. **Information interaction design: A unified field theory of design**. Information design, p. 267-292, 1999.

SPENDER, J. C. **Making knowledge the basis of a dynamic theory of the firm**. Strategic Management Journal, 17: 45-62.1996

STERNBERG, R.J. **Metaphors of mind; conceptions of the nature of intelligence**. Cambridge, New York: Cambridge University Press.1990

STERNBERG, Robert J. **Psicologia cognitiva**. 5 ed. São Paulo: Cengage Learning,. 584p. 2010

STERNBERG, R.J. e GRIGORENKO, E. (2003). **The psychology of abilities, competencies, and expertise**. New York: Cambridge University Press.

SVETEL, Igor; JARIĆ, Marko; BUDIMIR, Nikola. **BIM: Promises and reality**. *Spatium*, n. 32, p. 34-38, 2014.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. **Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review**. *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003

UNWIN, Simon. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Bookman Editora, 2014.

WEISBERG, David E. **The History of CAD**. 2008.
www.cadhistory.net_Acessado em 10/01/2014

APÊNDICE A – Revisão Sistemática

Foi realizada uma Revisão Sistemática entre os dias 12/08/2015 e 12/09/2015 com o objetivo de identificar pesquisas relacionadas a desempenho e produtividade na atividade de modelagem 3D.

Foi utilizado como referência para o planejamento da revisão sistemática nos estágios descritos por Tranfield, Denyer e Smart (2003). Os três estágios compõe 10 fases (1- 3 fases; 2- 5 fases; 3 – 2 fases). Nessa revisão não será mostrado todas as fases porque muitas delas estão descritas na própria tese como a fase 0 que descreve a necessidade de se fazer a revisão sistemática. Com isso será descrito somente os três estágios:

01 – Planejamento da Revisão

O primeiro estágio descreve o objetivo da revisão e as palavras chaves, base de dados utilizada, critérios de inclusão e exclusão e escala temporal analisada

02 – Protocolo de acesso aos dados da revisão

O segundo estágio demonstra os resultados encontrados com as respectivas filtragens com base no planejamento do estágio 1

03 – Relatório final

O estágio final aponta as pesquisas selecionadas. Descreve os trabalhos mais importantes, as potencialidade e as lacunas encontradas.

ESTÁGIO 01

O objetivo da revisão é selecionar pesquisas com foco na produtividade na tarefa de desenho 2D e modelagem 3D com softwares CAD. Embora o foco seja a modelagem 3D, a produção de representação bidimensional é considerada no levantamento, sendo inclusive o 2D parte constituinte do processo de criação 3D.

As bases de dados utilizadas foram: *Science Direct* e *Scopus*, Essas três bases incorporam áreas tecnológicas no qual o CAD está inserido como ocorre nas engenharias. Também incorpora as ciência sociais

aplicadas como a arquitetura e a parte de educação. Essas duas bases têm a seguinte abrangência: Science Direct (2500 *Journals*) e Scopus (21000 sendo 3800 totalmente abertos).

Além das duas bases citadas de periódicos, foi consultada também a base CuminCAD (*Cumulative Index of Computer Aided Architectural DesignI*) que é exclusiva para pesquisas em CAD. O CuminCAD têm na sua abrangência 12300 trabalhos de jornais e conferências como ACADIA, ASCAAD, CAADRIA, eCAADe, SiGraDi, CAAD futures, DDSS e outros.

Visando uma abrangência maior na pesquisa foi utilizada também uma base de acesso à dissertações e doutorados que é a ProQuest OPEN. Esta base acessa diversas universidades que disponibilizam acesso livre aos trabalhos acadêmicos.

As palavras-chave escolhidas foram *CAD (Computer Aided Design)*, *Expertise*, *Procedural Knowledge*, *Strategic Knowledge*, *Task Analysis*.

ESTÁGIO 02

O estágio 2 foi feito em duas etapas. A primeira consiste na busca das palavras chave dentro dos repositórios. As palavras – chave foram divididas em grupos de busca e quantificada as ocorrências. Os grupos forma criados pois a colocação de todas as palavras-chave na busca incidiria em pouco retorno. Em todos os grupos têm a palavra CAD porque as outras palavras são genéricas e não definem uma área em específico. A palavra CAD não foi utilizado sozinha. Sempre foi acompanhada de *Computer Aided Design*. Isso porque somente a palavra CAD abrange também uma área da medicina (*Coronary Artery Disease*) que não interessa à pesquisa.

Foram montados quatro grupos sendo CAD e Computer Aided Design foram acompanhados de *Expertise*, *Procedural Knowledge*, *Strategic Knowledge*, *Task Analysis*.

O resultado das buscas encontra-se na tabela 1.

Etapa 1 – Resultado das buscas

Tabela 13 - Resultados encontrados na Revisão Sistemática.

Grupos	Palavras - Chave	BASES DE DADOS			
		SCOPUS	SCIENCE DIRECT	CUMINCAD	PROQUEST OPEN
Grupo 01	<i>CAD, Computer Aided Design, Expertise</i>	708	2251	19	42
Grupo 02	<i>CAD, Computer Aided Design, , Procedural Knowledge</i>	40	130	1	2
Grupo 03	<i>CAD, Computer Aided Design, , Strategic Knowledge</i>	11	22	2	1
Grupo 04	<i>CAD, Computer Aided Design, Task Analysis</i>	38	138	1	4

Fonte: Autor

Etapa 2 – Filtragem dos artigos, trabalhos e teses

A segunda etapa consistiu na filtragem dos trabalhos com os seguintes critérios de exclusão. Foi rastreado o título de todas amostras levantadas selecionando pesquisas relevantes à área da tese. Foram separados 42 títulos. Depois foi feito a leitura dos resumos para a filtragem segundo os critérios abaixo:

- A pesquisa teria que estar diretamente ligada a conceituação, medição e análise do comportamento na tarefa de criação 2D ou modelagem 3D em software CAD. Pesquisas sobre o desempenho do sistema computacional sem a participação do usuário foi descartada.
- Foram descartadas pesquisas específicas de tecnologia relacionada à CAD como realidade aumentada, realidade virtual etc...
- Pesquisas que estão direcionadas ao processo de criatividade e a concepção do projeto arquitetônico e engenharia foram descartadas.
- No levantamento realizado foi selecionado trabalhos que possuíam além da base teórica, pesquisa prática aplicada com

metodologia, amostra, quantificação de dados e resultados. Pesquisas só de aspecto teóricos não foram selecionadas.

- Foram descartadas as pesquisas repetidas.

Da amostra de 42 títulos foram separados 15 para leitura completa e montagem de quadro comparativo do **Apêndice B**

A análise das pesquisas apresentam na maioria as seguintes características:

Pesquisas na área de Engenharia: A maioria das pesquisas são na disciplina de Engenharia Mecânica. Foi observado que dentro desta disciplina existe grande interesse pela produtividade na atividade de modelagem 3D, diferente da Arquitetura no qual somente 1 trabalho foi encontrado.

Software – Pelo fato da maior parte das pesquisas serem na disciplina de Engenharia Mecânica, os *softwares* mais utilizados para teste com usuários foram Pro/Engineer e Solid Works com três ocorrências e NX com duas ocorrências.

Amostras reduzidas: Metade das pesquisas apresentaram amostras bem reduzidas para os testes realizados. Metade das pesquisas possui menos de 30 participantes Essa quantidade reduzida amplia a possibilidade de viés na pesquisa, principalmente nas que fazem análise quantitativa.

Técnica de Elicitação mais utilizada: A técnica de elicitação mais utilizada foi o Rastreamento do Processo com posterior correlação de dados.

Objetivo – Embora cada pesquisa tenha um objetivo diferente dois grupos principais foram identificados pela proximidade das propostas:

Grupo 01 - As pesquisas cujo objetivo é identificar as características da Expertise

Grupo 02 - As pesquisas cujo objetivo é analisar a expertise com um viés de ensino e aprendizagem.

Os principais trabalhos para tese são do grupo 1 pois buscam a identificação da *expertise* na modelagem como faz este trabalho.

ESTÁGIO 03

As lacunas identificadas entre as pesquisas são três: A ausência de uma análise da *expertise* focando nas ações que mais contribuem para o tempo total da tarefa, a ausência de um sistema de classificação e a ausência de verificação de um padrão de comportamento do usuário ao longo de diversas modelagens realizadas. Das 15 pesquisas do Quadro Comparativo, duas foram as que mais importantes pela proximidade da pesquisa realizada nesta tese: Lang et al (1991) e Chi, Lan e Tsai (2000).

AUTOR	ANO	TÍTULO	TAMANHO DA AMOSTRA PESQUISADA	CARACTERÍSTICA DA AMOSTRA	SOFTWARE UTILIZADO	OBJETIVO DA PESQUISA	METODOLOGIA UTILIZADA para TRABALHO COM OS DADOS	METODOLOGIA UTILIZADA para ELICITAÇÃO do CONHECIMENTO Baseado em (Cooke, 2000)	QUANTIFICAÇÃO	PROPÓSITO e CONCLUSÕES
GRUPO 01 - IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA EXPERTISE NA MODELAGEM 3D										
George T. Lang, Ray E. Eberts, Michael G. Gabel e Moshe M. Barash	1991	<i>Extracting and Using Procedural Knowledge in a CAD Task</i>	33	2 experts e 31 novatos participaram da fase um. 2 experts e 2 novatos participaram da fase dois	Computervision CADD4X	Identificar os diferentes procedimentos entre novatos e experts na tarefa de modelagem 3D	Análise descritiva e pormenorizada da tarefa	Rastreamento do processo	1- Variedade de comandos dados; 2- Número de comandos dados; 3- Tempo Total da tarefa; 4- Número de erros; 4 - precisão do modelo; 5 Tempo de pausa entre comandos	Enfatiza a diferença entre conhecimento declarativo e procedimental. Conclui-se que embora sujeitos novatos possuam conhecimento declarativo idêntico, a performance é diferente. O motivo é o conhecimento procedimental. Cita que o conhecimento procedimental pode ser transferido entre softwares.
Suresh K. Bhavnani e James H. Garrett, Jr.	1993	<i>Leading Indicators of CAD Experience</i>	6	divido em 3 grupos de duas pessoas; G1-novatos. G2-experts em CAD em geral e G3 - experts no software utilizado no experimento	CANVAS software	Identificar os procedimentos de alto desempenho na tarefa de modelagem 3D com foco em proposta futura de interface adaptativa	Correlação de Dados e Redes Neurais	Rastreamento do processo e Relatórios Verbais (Think Aloud)	1- Lista todos os comandos dados e mensura quantas vezes eles foram dados (comandos dividido em 4 categorias); 2- Quantifica a variedade de comandos usados; 3 - Quantifica o tempo total da tarefa 4- Quantifica - Qualidade do desenho	Enfatiza a criação de um modelo de interface adaptativa baseado na experiência do usuário. Modelo se baseia na identificação da expertise do usuário e habilidades cognitivas. A conclusão do autor é que há diferenças visíveis na tarefa entre diferentes expertises e essas diferenças deixam "assinaturas" possíveis de serem gravadas. Cita como ferramenta de identificação do nível de expertise o uso de redes neurais. Dados do Think Aloud mostraram-se inapropriados.
Chia-Fen Chi, Woei-Shuoh Lan e Jeng-Ru Tsai	2000	<i>Deriving and analyzing performance strategy in a two-dimensional drawing task</i>	6	6 experts em desenho 2D	AUTOCAD	Verificar o impacto das estratégias no tempo da tarefa	Correlação de Dados	Rastreamento do processo	1- Tempo total; 2- Tempo mental longo; 3- Tempo mental pequeno; 4 - tempo de erro; 5 Número de comandos dados (Function units); 6 - Unidade de Tarefa (Unit Goal); 7- Grupos da tarefa (Task Group)	Enfatiza que o modelo GOMS é útil para registro detalhado na tarefa como feito anteriormente em artigo anterior denominado "Task analysis for computer-aided-design (CAD) at a keystroke level "(1996). A partir dos dados da pesquisa de 1996 foi feita nova análise num nível mais amplo que relacionasse os dados coletados com a estratégia usada. Com isso demonstrou que é possível mapear o impacto das estratégias nos diversos tempos mensurado na tarefa.
Nathan W. Hartman	2005	<i>Defining Expertise in the Use of Constraint-based CAD Tools by Examining Practicing Professionals</i>	5	Todos considerados Experts. 4 em PRO ENGINEER e 1 em SOLIDWORKS	PRO ENGINEER e SOLIDWORKS	Identificar os procedimentos de alto desempenho na tarefa de modelagem 3D	Mapas de Conhecimento	Relatórios Verbais (Think Aloud)	1- Dados coletados pelo Think Aloud ; 2- Criação de Mapas de Conhecimento (Esses mapas são criados pela escolha dos comandos que as pessoas consideram prioritários no processo de modelagem)	Enfatiza a necessidade de se conhecer os métodos estratégicos de trabalho dos Experts. Concluiu-se que apesar de ter usuário de diferentes softwares o pensamento era muito similar. Os usuários vêem a tarefa como os comandos do programa e não no contexto de criação, edição e precisão. Os participantes não trabalham a estratégia somente ao declarativo e o procedimental. Por fim foi identificado os procedimentos comuns a todos os experts, objetivo da pesquisa
Anthony Rynne e William F. Gaughran	2007	<i>Cognitive modeling strategies for optimum design intent in parametric modeling (PM)</i>	4	Estudantes de pós graduação	SOLIDWORKS	Identificar diferentes estratégias durante tarefa de modelagem 3D	Análise descritiva dos dados	Rastreamento do processo	1- Contagem de número de features (comandos de gerar 3d sobre desenho. Ex: Extrusão) ; 2- Questionário de balisamento de conhecimentos prévios	Baseado em Lang et al (1991) ressalta o quanto é ensinado de conhecimento declarativo e o quanto falta de ensino procedimental. A falta do conhecimento procedimental é o que divide novatos e experts
Ivan Chester	2008	<i>Researching Expertise Development in Complex Computer Applications</i>	indefinido	não descrito	não descrito	Identificar os procedimentos de alto desempenho na tarefa de modelagem 3D	Análise pormenorizada da tarefa	Rastreamento do processo e Relatórios Verbais (Think Aloud)	1- Dados coletados pelo Think Aloud ; 2- Quantificação de todos os tipos de comandos usados; 3- Quantificação de processos cognitivos; 4 - Tempo total da tarefa	Enfatiza a importância de se identificar o conhecimento estratégico. Elabora um método para análise fina do comportamento do expert através da junção do rastreamento do processo e relatório verbal. Concluiu-se que, assim como em outros domínios, a estratégia na atividade de modelagem envolve planejamento, seleção de estratégias, predição, verificação e monitoramento.
R.F. Hamade, , H.A. Artail	2008	<i>A study of the influence of technical attributes of beginner CAD users on their performance</i>	44	Todos engenheiros mecânicos seniores participantes como trainee de um treinamento em CAD	PRO ENGINEER	Identificar o impacto dos conhecimentos técnicos prévios no desempenho na tarefa de modelagem 3D	Correlação de Dados	Entrevista/Questionário e Rastreamento do processo	1- Dados coletados no Questionário 2- Tempo total da tarefa 2- Numero de features (comandos de gerar 3d sobre desenho. Ex: Extrusão)	Enfatiza a importância dos conhecimentos técnicos como informática, geometria, matemática, engenharia e outros no desempenho na atividade de modelagem digital 3D. Esses conhecimentos técnicos estão classificados como: Conhecimento Declarativo. Como conclusão encontrou forte correlação entre matemática básica e desempenho na atividade de modelagem 3D
Anthony Rynne, William F Gaughran e Niall Seery	2011	<i>Defining the variables that contribute to developing 3D CAD modelling expertise</i>	53	Participantes com conhecimentos prévios do software e de representação gráfica	SOLIDWORKS	Identificar a relação entre conhecimento de representação gráfica e o desempenho em modelagem 3D	Correlação de Dados	Rastreamento do processo	1- Tempo Total ; 2- Número de features (comandos de gerar 3d sobre desenho. Ex: Extrusão)	Enfatiza a importância do conhecimento estratégico baseado em outros trabalhos. Ressalta o quanto o conhecimento estratégico é importante para construção de modelos 3D que serão editados. Ressalta a importância do conhecimento de representação gráfica para o desempenho no conhecimento estratégico. A conclusão é que não há evidência empírica que conecte habilidade gráfica e expertise na modelagem
Xiaobo Peng, Prentiss McGary, Michael Johnson, Bugrahan Yalvac e Elif Ozturk	2012	<i>Assessing Novice CAD Model Creation and Alteration</i>	17	Participantes novatos do curso de Engenharia Mecânica. Dividido em dois grupos; um deveria modelar rápido e o outro criar um modelo de fácil edição.	NX CAD Software	Identificar o impacto do conhecimento procedimental (estratégico) no processo de alteração de modelos 3D feito por terceiros	Correlação de Dados	Entrevista/Questionário e Rastreamento do processo	1- Tempo total da tarefa; 2- Avaliação de 4 aspectos na escala de 1 a 7 das condições do modelo digital 3D recebido de outro participante; ; 3-Quantificação de todos os tipos de comandos usados	Enfatiza a importância de se criar modelos 3D que sejam fáceis de serem editados por outros. É o que se denomina modelo 3D de fácil manutenção. Esses modelos tornam o processo de modelagem mais rápido. A conclusão após teste é que modelos feitos pensando em posterior alteração levam mais tempo para serem criados, porém em caso de alterações o tempo perdido anteriormente é ganho com folga.
Opreat, Danielle e Balakrishnan, Bimal	2013	<i>Quest for Efficiency: Examining Cognitive Processes Underlying the Use of 3D Modeling Tools</i>	19	Alunos de graduação em Arquitetura	Trimble SKETCHUP	Identificar os procedimentos de alto desempenho na tarefa de modelagem 3D		Relatórios Verbais (Think Aloud)	1- Dados coletados pelo Think Aloud ; 2- Dados coletados da tela como cliques e movimento do cursor	Enfatiza o impacto de estratégias erradas no tempo final da tarefa. Em teste realizado o mais rápido modelou em 15 minutos e o mais lento em 50 minutos. Essa grande diferença foi mapeado pelo autor num conjunto de estratégias inadequadas. O autor usou como referência o modelo de estratégias adequadas citadas por Bhavnani, Bonnie e Flemming (1999).
GRUPO 02 - IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA EXPERTISE NA MODELAGEM 3D COM VIÉS DE ENSINO E APRENDIZAGEM										
Suresh K. Bhavnani, Bonnie E. John e Ulrich Flemming	1999	<i>The Strategic Use of CAD: An Empirically Inspired, Theory-Based Course</i>	8	8 dividido em 7 de pós e um de graduação	Não mencionado	Verificação de aprendizagem de conhecimento estratégico em CAD	Correlação de Dados	Rastreamento do processo	1- É dado o valor de 0 quando a tarefa feita pelo sujeito não usa a estratégia adequada e 1 quando usa. Foram feitos 3 pré testes e 3 pós testes em relação ao curso ministrados verificando a aprendizagem	Cita que a experiência e a a boa interface não são garantias de eficiência na tarefa de criação em CAD sem o conhecimento estratégico. Propõe um treinamento para fortalecer a estratégia com ganho de produtividade e eficiência. O teste piloto consiste ensinar estratégias no ensino de um curso e verificar o aprendizado ao final. A conclusão demonstra ganho em habilidades de estratégia.
Ivan Chester	2007	<i>Teaching for CAD expertise</i>	34	34 alunos de graduação. Novatos em CAD. É dividido em 2 grupos. Um é o grupo controle e o outro é o grupo que passará por um treinamento	não descrito	Verificação de aprendizagem com a temática de alto desempenho em CAD	Correlação de Dados	Rastreamento do processo e Entrevistas/Questionário	1- Questionário de balisamento. Dados de conhecimento prévio; 2- Tempo total da tarefa; 3- Tempo de planejamento (Quanto tempo se passa até o primeiro clique no mouse); 3- Número de estratégias com expertise utilizada; 4 - Modelos feitos com correção	Enfatiza a importância do conhecimento estratégico para atingir a expertise em modelagem 3D. Concluiu-se que o ensino de estratégias teve resultado na expertise final em contraposição dos dois grupos: controle e treinamento. Porém ressaltou-se que pessoas com elevado conhecimento prévio da ferramenta apresentaram pouca absorção dos novos conhecimentos de estratégias ensinados. Apresentaram um bloqueio as novas informações.
R.F. Hamade, , H.A. Artail e Mohamad Y. Jaber	2011	<i>A study of the impact of the willingness-to-learn of CAD novice users on their competence development</i>	94	Estudantes senior de engenharia mecânica	PRO ENGINEER	Identificar a relação entre a vontade de aprender com o desempenho na tarefa de modelagem 3D	Correlação de Dados	Entrevista/Questionário e Rastreamento do processo	1- pontuação no questionário de motivação; 2- Tempo total da tarefa; 3 Número total de features (comandos de gerar 3d sobre desenho. Ex: Extrusão) .	Enfatiza a importância da motivação para o aprendizado rápido visando a obtenção da expertise em modelagem 3D. Concluiu-se que a boa vontade em aprender antes do treinamento garante uma velocidade inicial no aprendizado mas não garante a formação de um expert ao final. O desenvolvimento durante o treinamento é essencial para a expertise
Ke Liu, Xiaobo Peng, Prentiss McGary, Bugrahan Yalvac, Elif Ozturk, Michael D. Johnson & Laura Lee Valverde	2015	<i>Integration of contextual exercises in computer-aided-design education</i>	71	Dividido em dois grupos. Um grupo controle com 29 estudantes e um grupo experimento com 27 estudantes	NX CAD Software	Identificar a capacitação do aluno num Expertise Adaptativa após um treinamento específico com exercício contextuais	Correlação de Dados	Rastreamento do processo e Entrevistas/Questionário	1- Pontuação numa pré e pós entrevista do teste realizado ; 2- Tempo total fazendo o modelo; tempo de tentativa e erro; 3- Tempo de pensamento (cursor parado); 4- tempo de busca (cursor em movimento sem comandos) ; 5- Tempo de regeneração do modelo	Enfatiza a importância de se alcançar a Expertise Adaptativa que entre outras características esta a transferência de conhecimento de um software CAD para outro. Mostra que a partir de um conjunto de exercícios contextualizados o aluno alcança a Expertise Adaptativa
Ramsey F. Hamade	2012	<i>Learning curves for CAD competence building of novice trainees</i>	44	Todos engenheiros mecânicos seniores participantes como trainee de um treinamento em CAD (Software-PROEngineer)	PRO ENGINEER	Verificação da curva de aprendizagem com a temática de alto desempenho em CAD	Correlação de Dados	Rastreamento do processo	1- Tempo total da tarefa 2- Número de features (comandos de gerar 3d sobre desenho. Ex: Extrusão)	Enfatiza a diferença entre Conhecimento Declarativo e Procedimental. Não considera conhecimento estratégico. O foco da pesquisa é determinar a curva de aprendizado de CAD. A curva é analisada sobre o tempo total e número de comandos utilizados. Como conclusão é proposto uma curva de aprendizado que busca separar conhecimento procedimental de conhecimento declarativo. Nessa divisão é observado que o conhecimento declarativo é o principal componente na curva de aprendizado. O conhecimento procedimental faz diferença no início do treinamento aonde o uso de menos comandos impacta no tempo entre os participantes.
Rafael Zanelato Ledo	2016	MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO PROCEDIMENTAL DE ALTO DESEMPENHO PARA ATIVIDADE DE MODELAGEM DIGITAL 3D	82	82 alunos de graduação - Arquitetura e Urbanismo - em diversos estágios (novatos, intermediários e experts)	Trimble SKETCHUP	Identificar e classificar os procedimentos e estratégias de alto desempenho na tarefa de modelagem 3D	Análise descritiva e Correlação de Dados	Rastreamento do processo e Entrevistas/Questionário	1- Tempo Total da Atividade; 2- Tempo produtivo da atividade; 3 Tempo de Pausa; 4- Número de Comandos Dados; 5- Variedade de Comandos Dados; 6- Quantificação de todos os tipos de comandos usados; 7 - Ordenamento da sequência de modelagem	Enfatiza a necessidade de se identificar e classificar as melhores práticas de modelagem digital 3D. Concluiu-se que o que mais prejudica o desempenho na modelagem é erros severos de procedimento. Também com efeito prejudicial a produtividade na tarefa, demonstra que erros na estratégia derrubam o desempenho. Porém erros estratégicos impactam menos que erros procedimentais. Concluiu também que o tempo de Pausa e a velocidade de execução de comandos são fundamentais para a composição do tempo total da tarefa. O desempenho de excelência identificado pela pesquisa envolve nenhum erro de procedimento , a escolha da melhor estratégia de modelagem, velocidade de execução de comandos e velocidade na tomada de decisão. Por fim, a tese propõe um modelo de classificação para criação de um sistema de diagnóstico de desempenho para atividade de modelagem 3D.

APÊNDICE C – Questionário de balizamento aplicado aos participantes do teste de modelagem

**QUESTIONÁRIO PESQUISA DE TESE DE DOUTORADO –
MODELAGEM DIGITAL 3D
PROF. RAFAEL ZANELATO LEDO**

NOME: _____

1- IDADE: ____

2- SEXO: () MASC. () FEM.

3- ANOS DE CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO: _____

**4- ANOS DE USO DE ALGUM TIPO DE SOFTWARE DE
MODELAGEM 3D:** _____

5- ANOS DE USO DO SOFTWARE SKETCHUP: _____

**6 -QUANTIDADE DE MODELOS 3D PRODUZIDOS NO SKETCHUP
ATÉ HOJE (APROXIMADO)**

() 0 a 10 () 10 a 20 () 20 a 30 () 30 a 40 () + de 40

7 – COMO VOCÊ AVALIA SEU CONHECIMENTO EM SKETHUP?

() INICIANTE () AMADOR () INTERMEDIÁRIO () AVANÇADO ()
PROFISSIONAL

**8 – QUANTIFIQUE O SEU INTERESSE E MOTIVAÇÃO EM
TRABALHAR COM FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE
MODELAGEM 3D PARA ARQUITETURA?**

() MUITO POUCO () POUCO () INTERMEDIÁRIO () ALTO ()
MUITO ALTO

**9 – COMO VOCÊ AVALIA O NIVEL DE SEU CANSAÇO MENTAL
PARA A TAREFA DE MODELAGEM 3D HOJE? PRIMEIRO DIA**

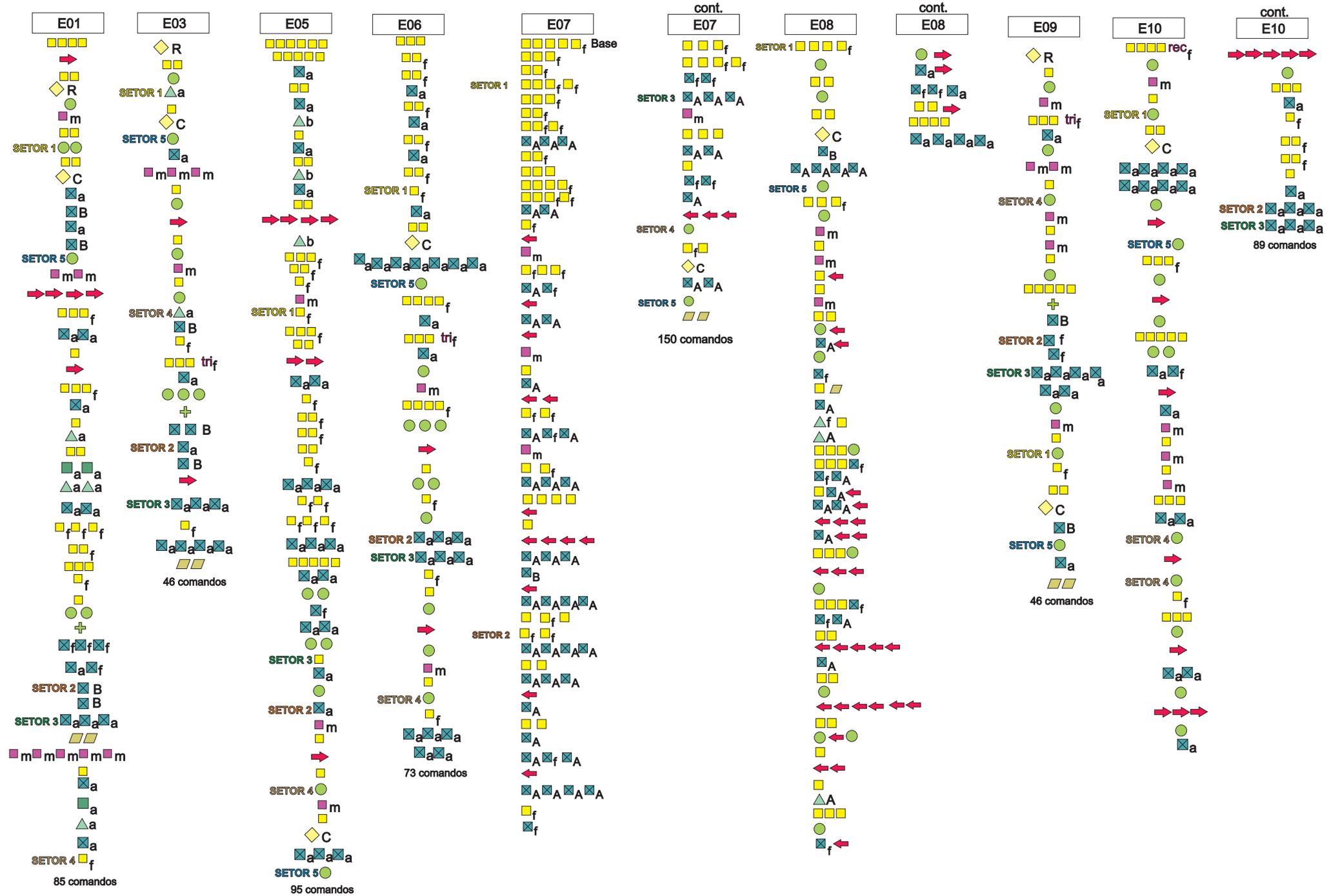
() MUITO POUCO () POUCO () INTERMEDIÁRIO () ALTO ()
MUITO ALTO

**10 – COMO VOCÊ AVALIA O NIVEL DE SEU CANSAÇO MENTAL
PARA A TAREFA DE MODELAGEM 3D HOJE? SEGUNDO DIA**

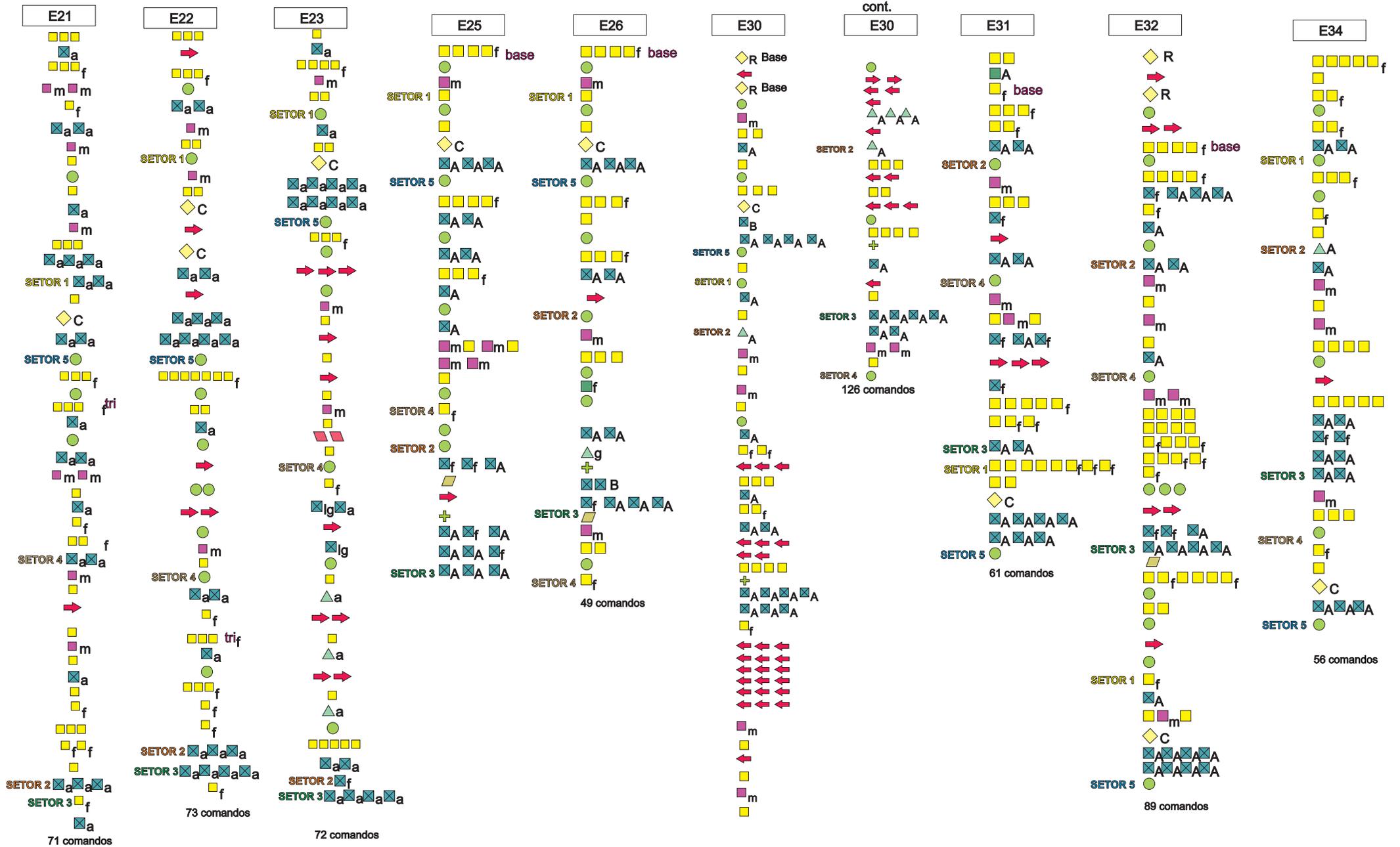
() MUITO POUCO () POUCO () INTERMEDIÁRIO () ALTO ()
MUITO ALTO

CÓDIGO	Idade	Sexo	Anos Curso de ARQ	Anos de uso de algum software 3D	Anos de uso do software Sketchup	Qtde de modelos 3D produzidos	Como vc avalia seu conhecimento em SKP	Qual o seu interesse trabalhar com ferramenta computacional de modelagem 3D	Como vc avalia seu cansaço mental DIA 1	Como vc avalia seu cansaço mental DIA 2
E01	20	F	2,5	0,5	0,5	OP2	AMADOR	ALTO	ALTO	MUITO POUCO
E02	28	F	2,5	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO	-----
E03	22	F	2	0,5	0,5	OP3	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E04	20	F	2	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	ALTO	POUCO	POUCO
E05	20	F	2,5	1	1	OP3	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO
E06	22	F	2	4	4	OP4	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	POUCO
E07	21	F	2	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	POUCO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E08	20	F	2	1	1	OP3	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E09	20	F	2,5	0,5	0,5	OP3	AMADOR	ALTO	POUCO	POUCO
E10	20	F	2,5	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO
E11	19	F	2	0,5	0,5	OP1	AMADOR	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E12	21	F	2	4	4	OP5	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO	POUCO	POUCO
E13	20	F	2	0,5	0,5	OP2	INICIANTE	MUITO ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E14	21	F	2	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E15	19	F	2	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E16	36	F	2	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	ALTO	ALTO	INTERMEDIÁRIO
E17	35	M	3	0,5	0,5	OP2	INICIANTE	POUCO	INTERMEDIÁRIO	POUCO
E18	20	F	2	0,5	0,5	OP3	AMADOR	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E19	22	M	2	1	0,5	OP1	AMADOR	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E20	20	M	2	0,5	0,5	OP1	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	ALTO	ALTO
E21	19	F	2	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E22	36	F	2,5	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E23	19	F	2,5	0,5	0,5	OP3	AMADOR	ALTO	POUCO	MUITO ALTO
E24	22	F	3	2	1,5	OP3	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E25	20	M	2,5	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	POUCO
E26	20	M	2	1	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E27	21	F	2	0,5	0,5	OP2	AMADOR	ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E28	20	F	2,5	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E29	21	F	2,5	2	2	OP4	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO
E30	20	F	2	2	2	OP4	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E31	20	M	2,5	0,5	0,5	OP2	AMADOR	MUITO ALTO	MUITO POUCO	POUCO
E32	21	M	2,5	1	1	OP3	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	POUCO
E33	22	F	2,5	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO
E34	20	M	2	1	1	OP1	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E35	21	F	2,5	0,5	0,5	OP2	AMADOR	ALTO	INTERMEDIÁRIO	ALTO
E36	49	F	3	1	1	OP3	AMADOR	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO
E37	22	M	4	3	3	OP1	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E38	20	M	2,5	5	3	OP4	AVANÇADO	MUITO ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E39	22	M	3,5	1	0,5	OP1	AMADOR	ALTO	POUCO	POUCO
E40	23	F	2	0,5	0,5	OP4	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E41	19	F	2	1	1	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	POUCO
E42	23	F	4	3	3	OP1	AVANÇADO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	POUCO
E43	20	M	2	0,5	0,5	OP3	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	ALTO	INTERMEDIÁRIO
E44	21	F	3	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	POUCO
E45	21	F	2,5	0,5	0,5	OP1	INICIANTE	ALTO	ALTO	ALTO
E46	20	M	2,5	0,5	0,5	OP3	AVANÇADO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E47	20	F	2,5	0,5	0,5	OP2	AMADOR	ALTO	ALTO	INTERMEDIÁRIO
E48	29	F	2,5	6	3	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	POUCO	-----
E49	23	F	3,5	2	2	OP3	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	MUITO POUCO
E50	22	F	3	1,5	1,5	OP3	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E51	20	F	2,5	1	1	OP5	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO	POUCO	-----
E52	21	F	2,5	1	1	OP1	AVANÇADO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E53	22	F	3,5	2	2	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	POUCO	MUITO POUCO
E54	20	F	2,5	0,5	0,5	OP1	AMADOR	INTERMEDIÁRIO	POUCO	POUCO
E55	34	F	3,5	1,5	1	OP2	AMADOR	INTERMEDIÁRIO	ALTO	-----
E56	21	F	2,5	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	-----
E57	21	F	3,5	1,5	1,5	OP1	AMADOR	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E58	20	F	3	1	1	OP1	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO	POUCO	-----
E59	22	M	2,5	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO	POUCO	-----
E60	20	M	2	1	1	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	ALTO	-----
E61	21	F	2,5	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E62	20	F	3	0,5	0,5	OP1	AMADOR	POUCO	INTERMEDIÁRIO	-----
E63	22	F	4	2	2	OP2	AVANÇADO	MUITO ALTO	POUCO	POUCO
E64	24	M	4	2	2	OP1	INICIANTE	ALTO	POUCO	MUITO POUCO
E65	23	M	2,5	5	5	OP3	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	POUCO
E66	21	F	3	1,5	1,5	OP1	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E67	23	F	2,5	2	2	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E68	28	F	2,5	1	1	OP2	AMADOR	ALTO	INTERMEDIÁRIO	MUITO POUCO
E69	25	F	3	1,5	1,5	OP2	AMADOR	ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E70	21	F	3	2	2	OP2	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	ALTO	-----
E71	21	M	3	1,5	1	OP3	AMADOR	MUITO ALTO	ALTO	POUCO
E72	24	F	5	2	2	OP2	AMADOR	ALTO	POUCO	INTERMEDIÁRIO
E73	21	M	4	4	4	OP3	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E74	20	M	2,5	1	1	OP3	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	-----
E75	20	F	2,5	0,5	0,5	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	POUCO
E76	20	F	3,5	2	2	OP1	AMADOR	MUITO ALTO	INTERMEDIÁRIO	INTERMEDIÁRIO
E77	22	M	4,5	2	2	OP2	INTERMEDIÁRIO	ALTO	POUCO	POUCO
E78	24	M	4	7	3	OP2	AMADOR	MUITO ALTO	ALTO	ALTO
E79	24	M	5	4	4	OP5	AVANÇADO	ALTO	INTERMEDIÁRIO	-----
E80	24	M	3,5	1	1	OP4	INTERMEDIÁRIO	MUITO ALTO	POUCO	MUITO POUCO
E81	21	M	3,5	6	6	OP5	AVANÇADO	ALTO	MUITO POUCO	ALTO
E82	22	M	5	9	9	OP5	PROFISSIONAL	MUITO ALTO	MUITO POUCO	POUCO

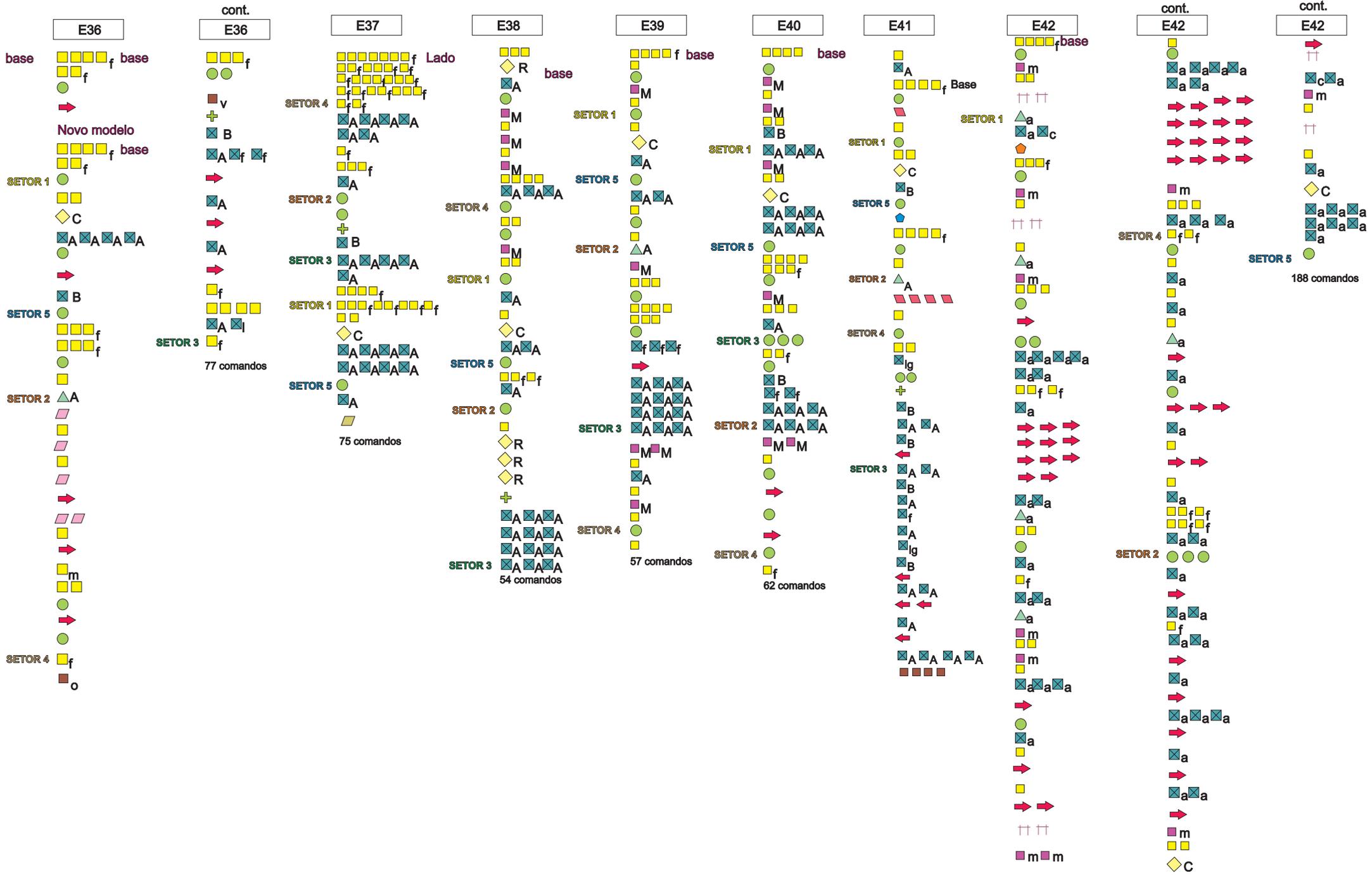
VOLUMETRIA 1



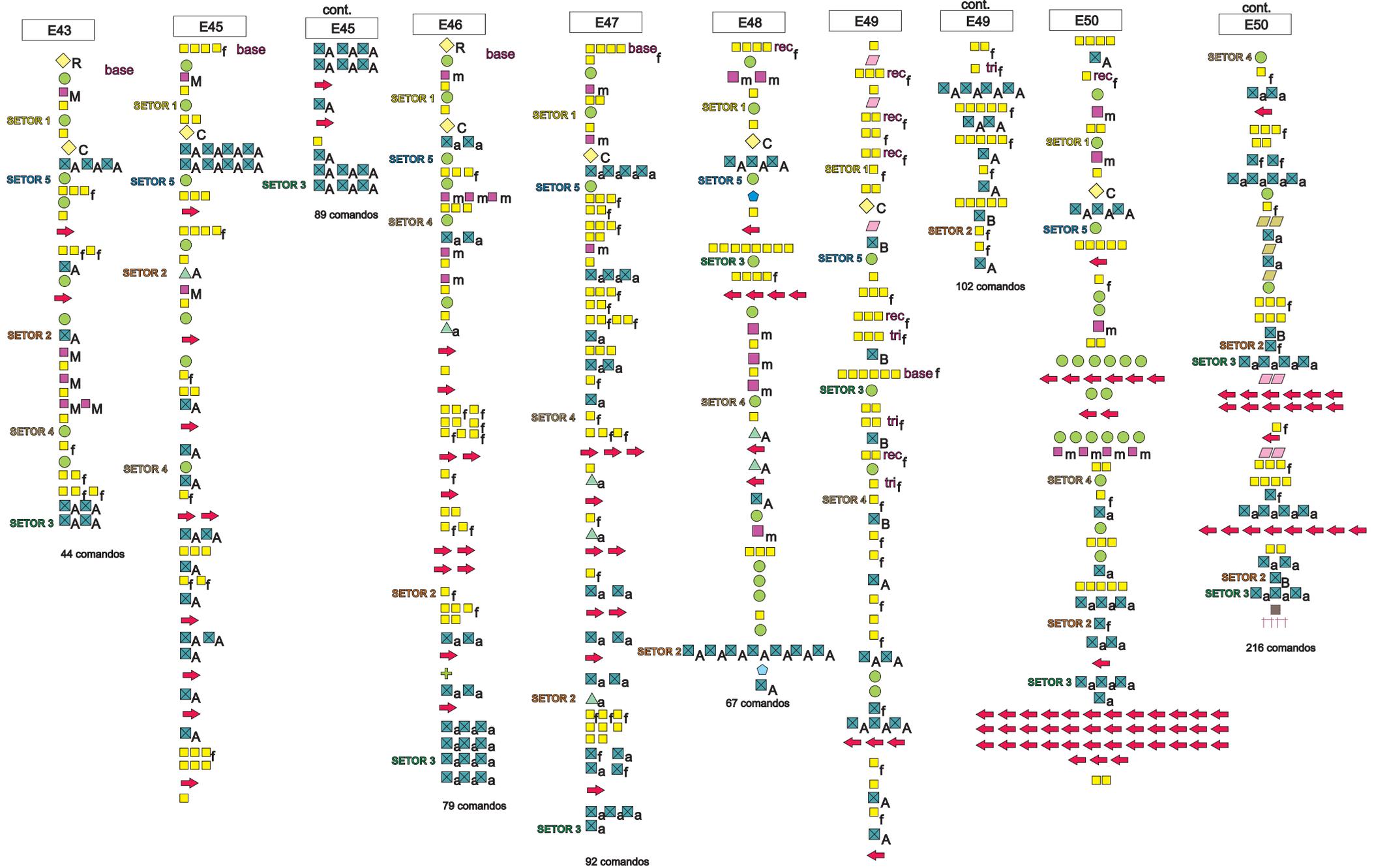
VOLUMETRIA 1



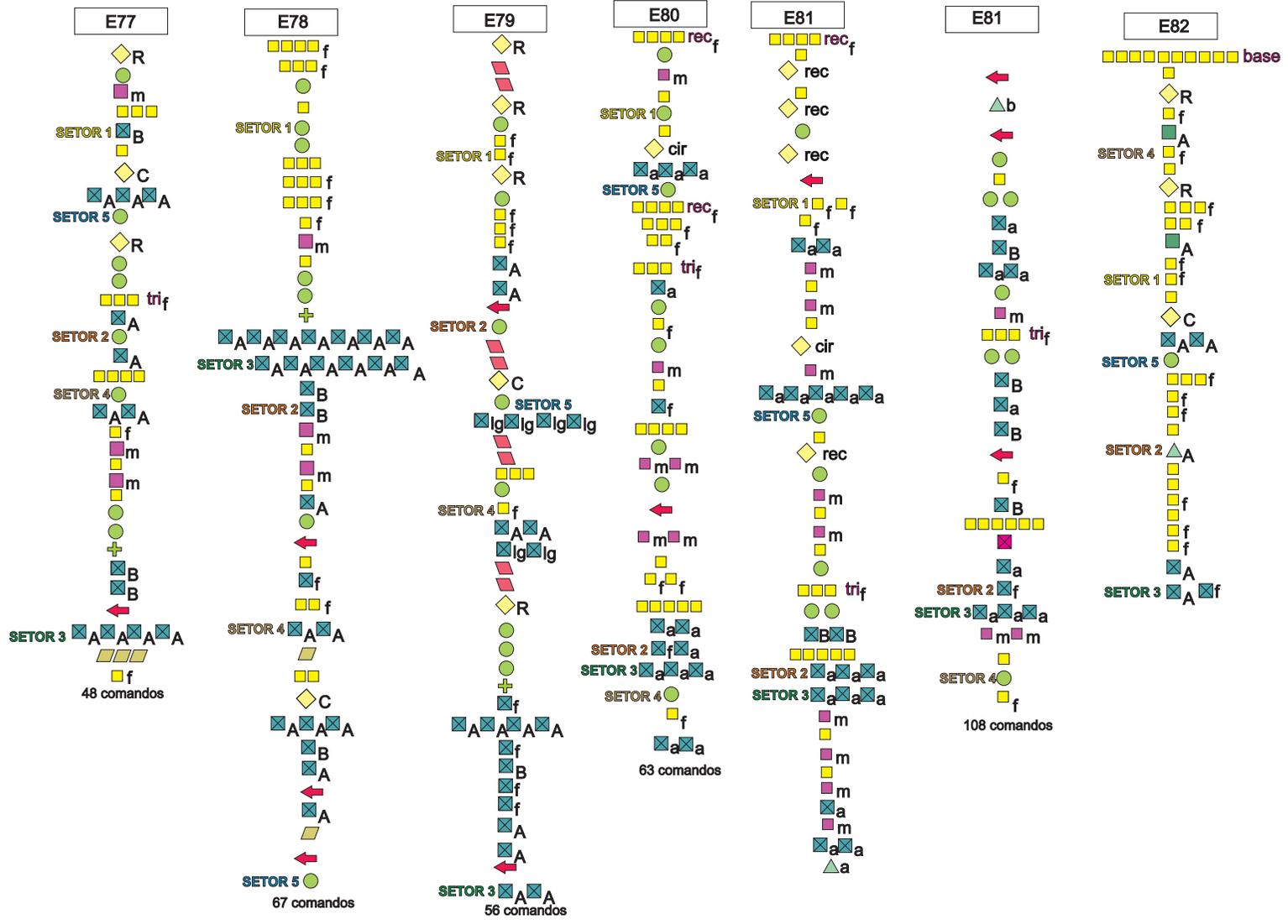
VOLUMETRIA 1



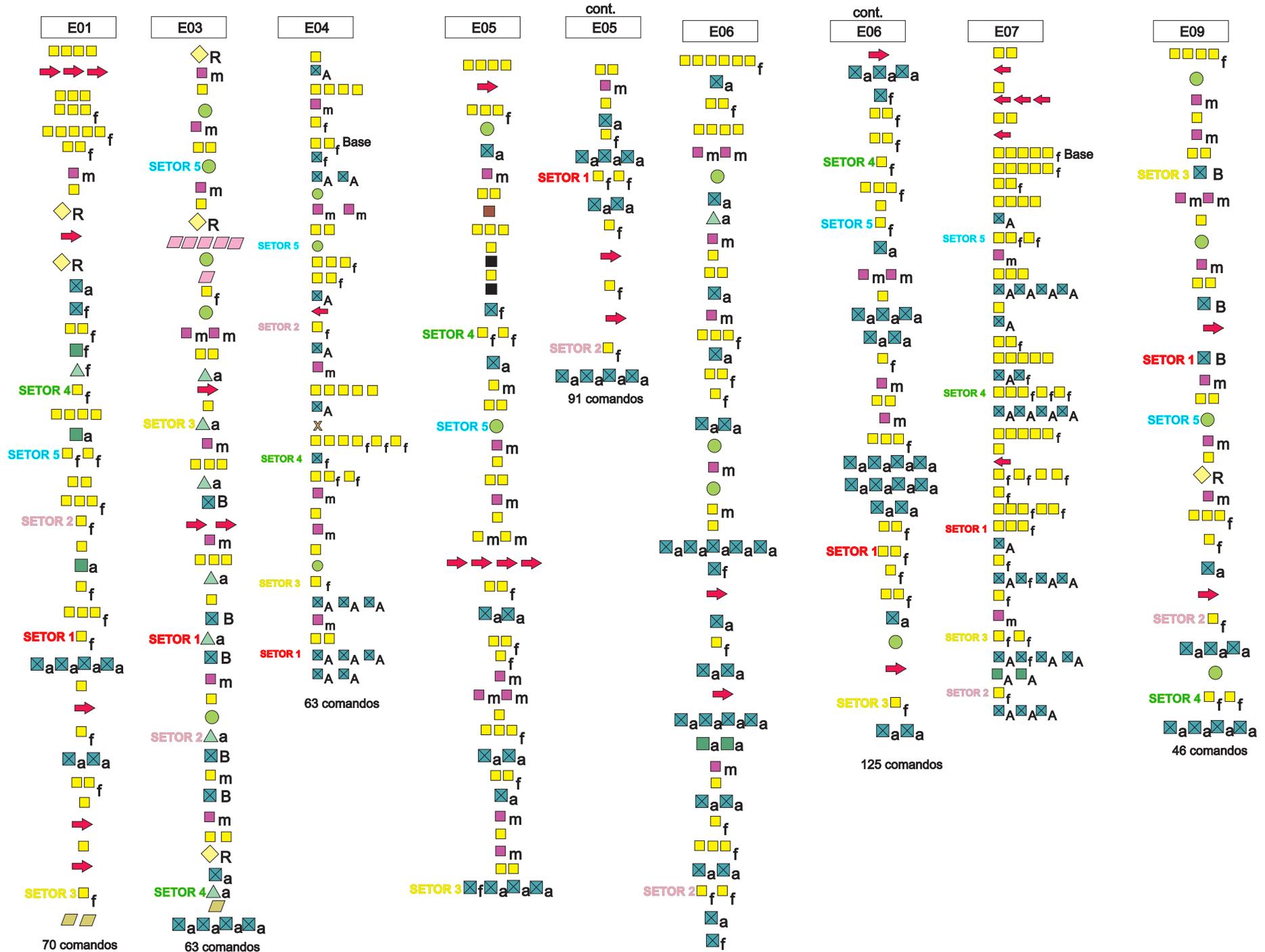
VOLUMETRIA 1



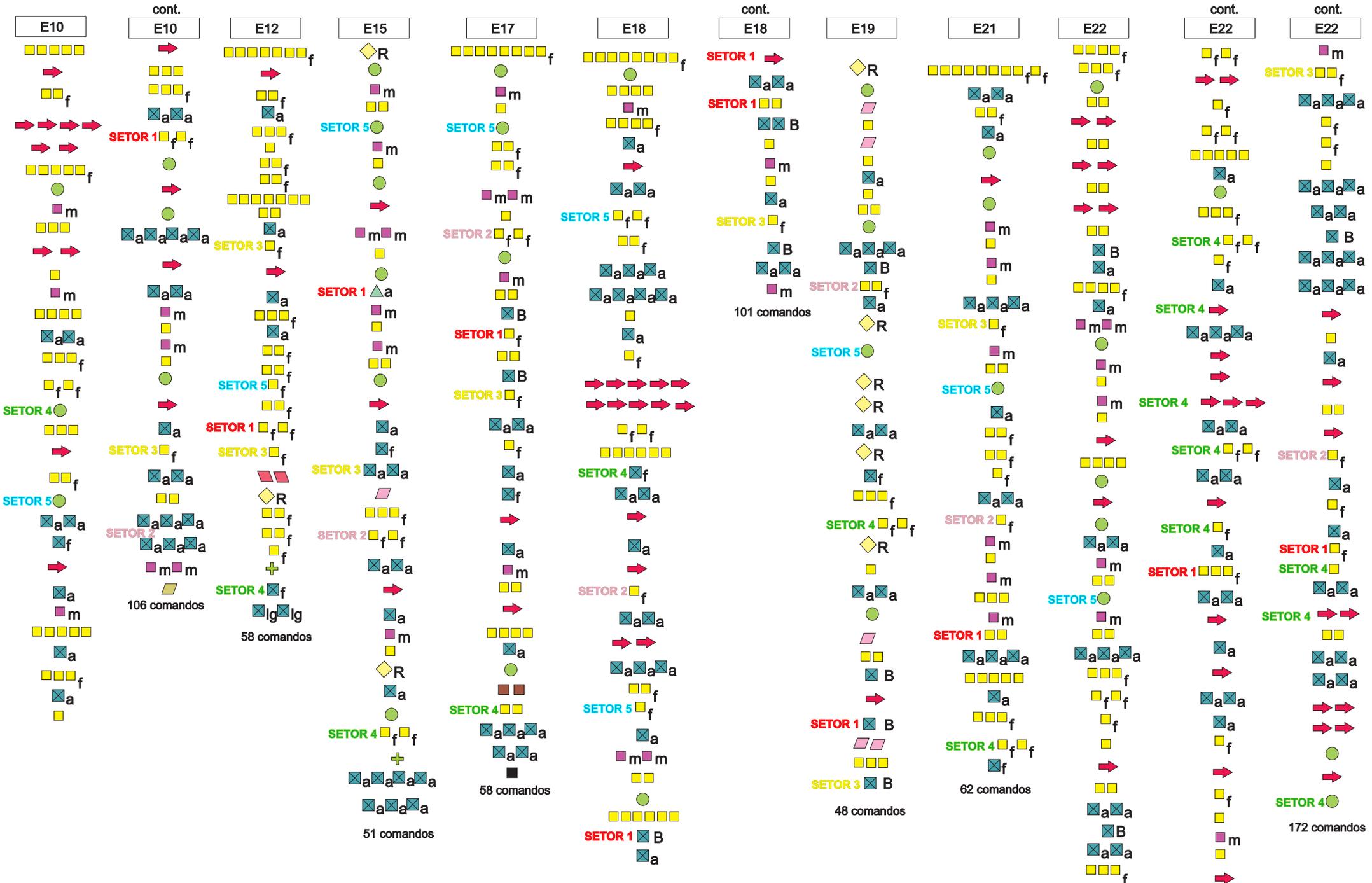
VOLUMETRIA 1



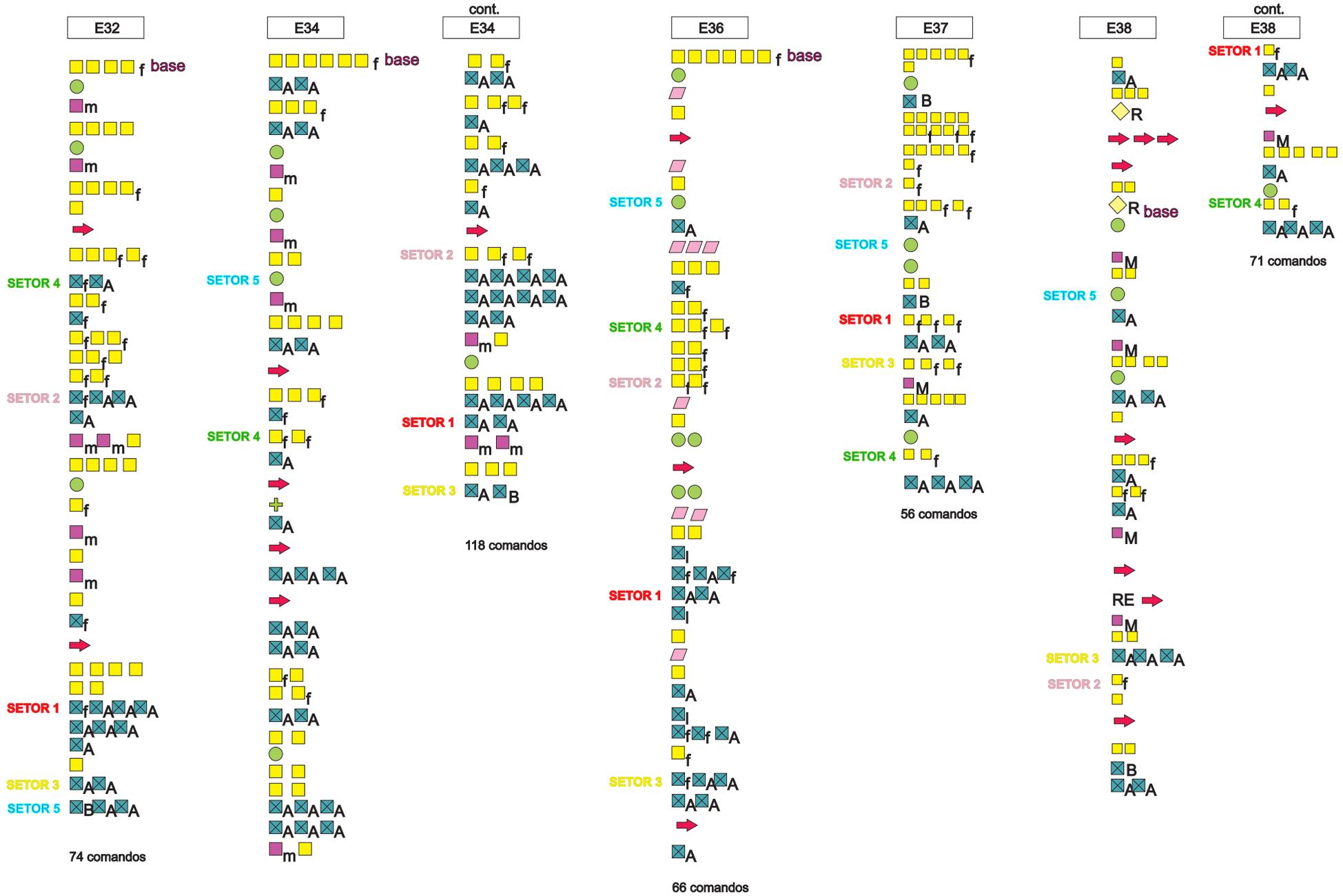
VOLUMETRIA 2



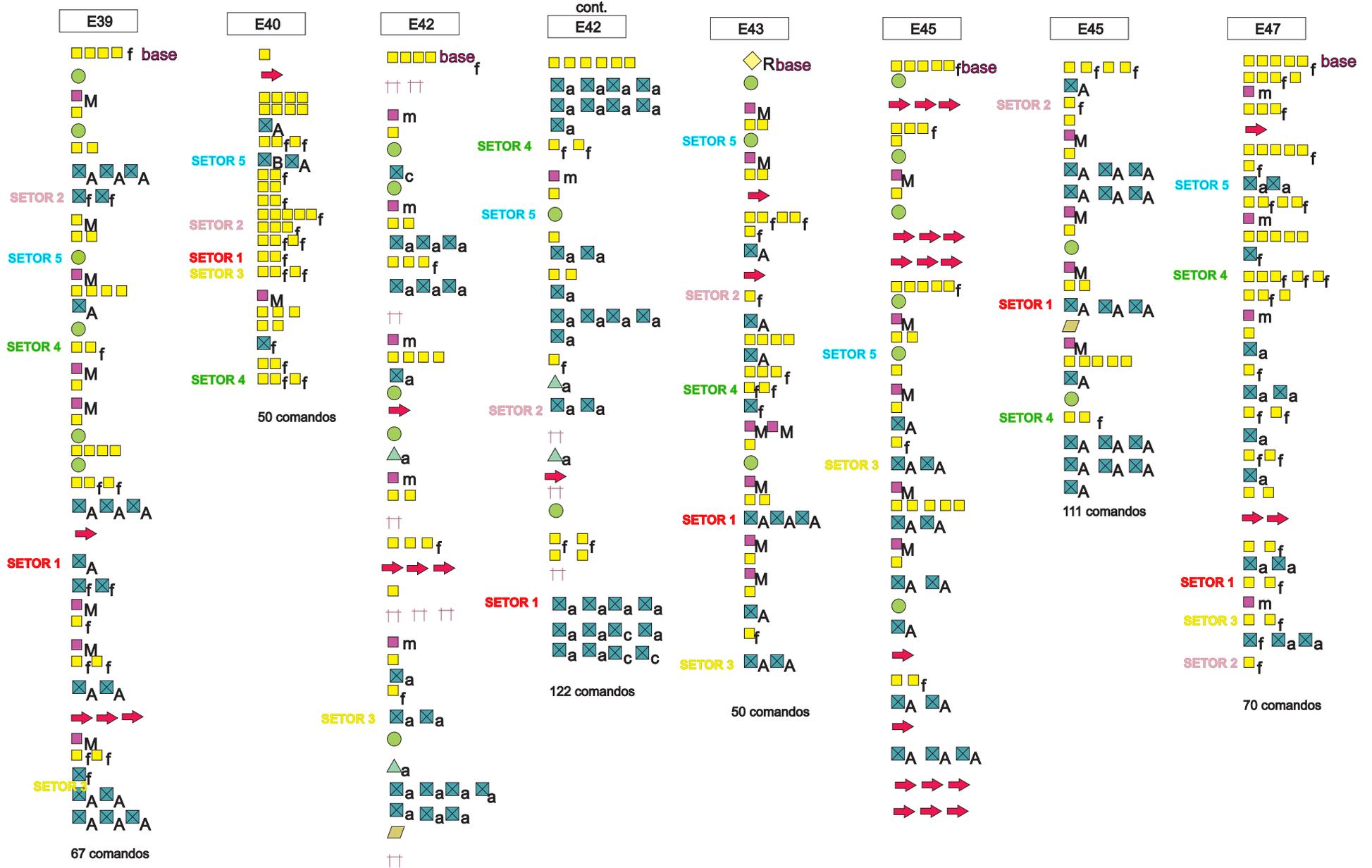
VOLUMETRIA 2



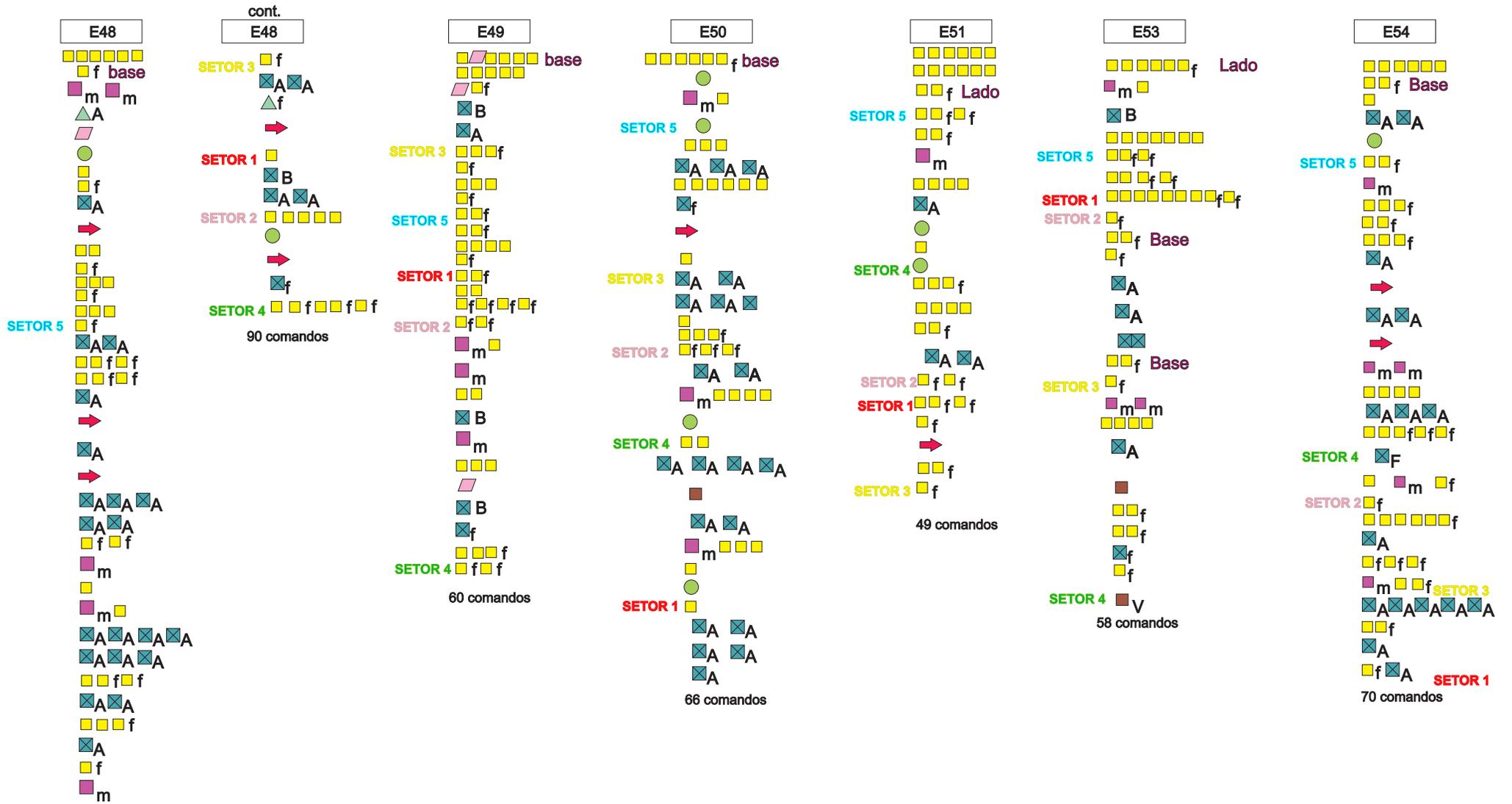
VOLUMETRIA 2



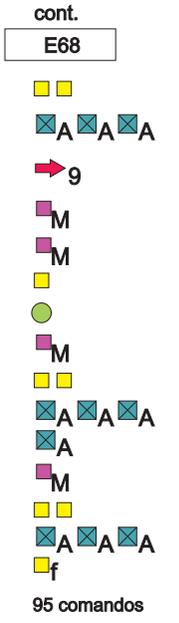
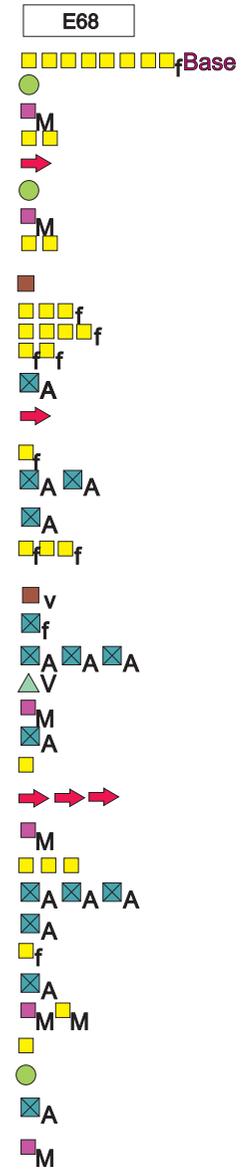
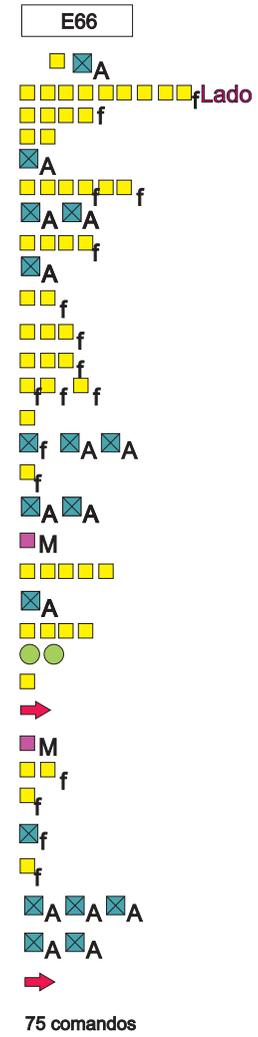
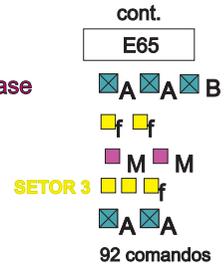
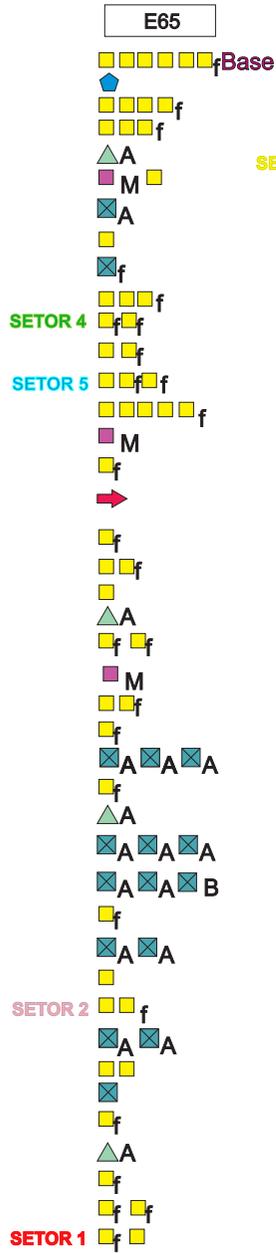
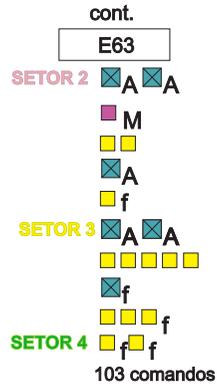
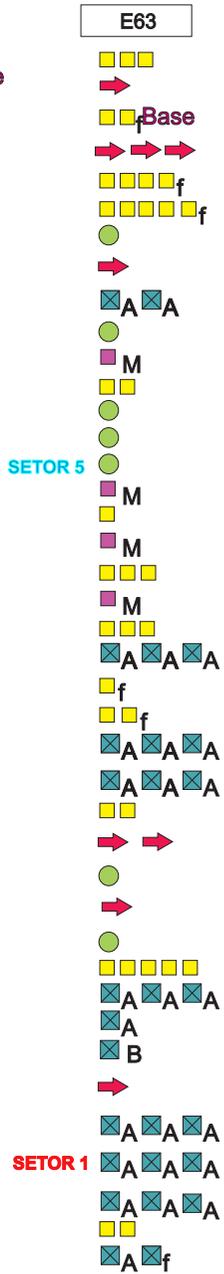
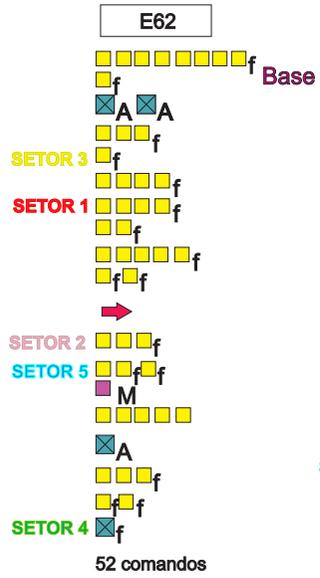
VOLUMETRIA 2



VOLUMETRIA 2

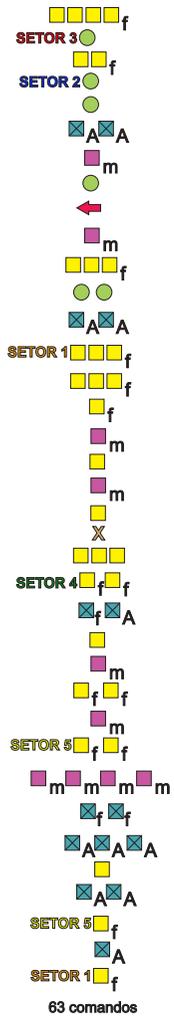


VOLUMETRIA 2

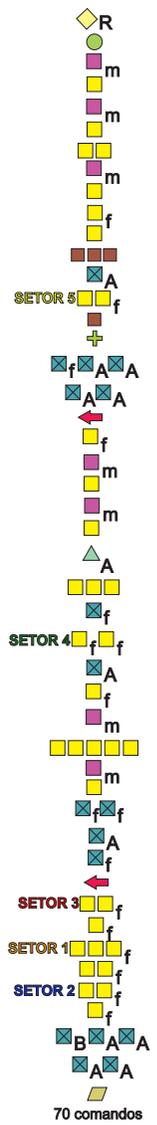


VOLUMETRIA 3

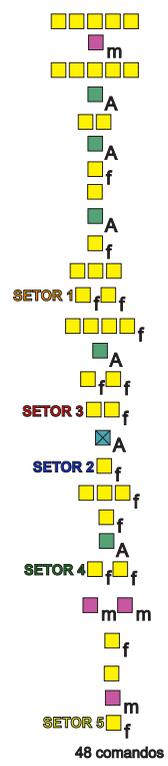
E25



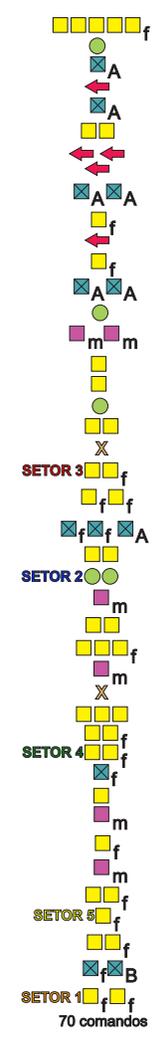
E26



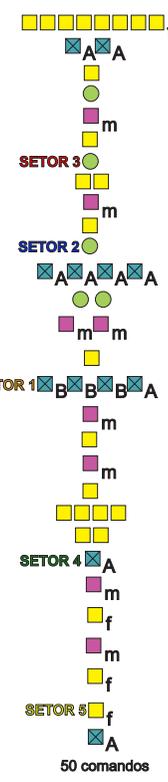
E31



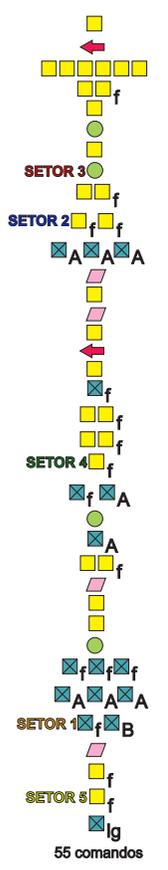
E32



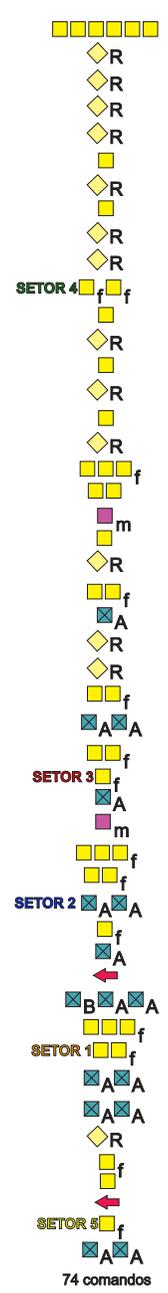
E34



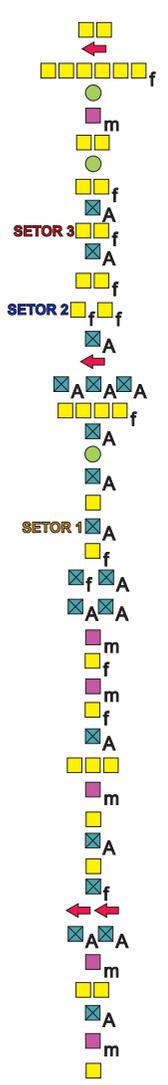
E36



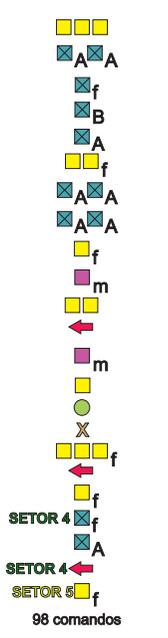
E38



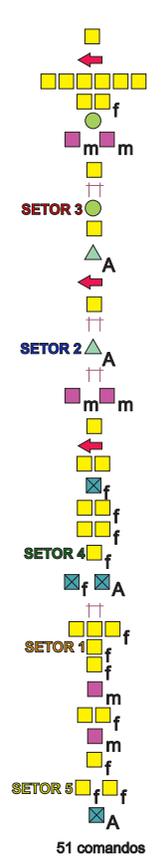
E39



cont. E39



E40



VOLUMETRIA 3

