



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

**SÉRGIO LEANDRO DOS SANTOS**

**INTERFACE INTERATIVA BIDIMENSIONAL EM UM**  
***SOFTWARE* PARA O ENSINO DE GEOMETRIA**  
**DESCRITIVA**

Porto Alegre,  
Dezembro de 2016.



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

**SÉRGIO LEANDRO DOS SANTOS**

**INTERFACE INTERATIVA BIDIMENSIONAL EM UM**  
***SOFTWARE* PARA O ENSINO DE GEOMETRIA**  
**DESCRITIVA**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre,  
Dezembro de 2016.

## CIP - Catalogação na Publicação

SANTOS, SÉRGIO LEANDRO DOS  
INTERFACE INTERATIVA BIDIMENSIONAL EM UM SOFTWARE  
PARA O ENSINO DE GEOMETRIA DESCRITIVA / SÉRGIO  
LEANDRO DOS SANTOS. 16/12/2016.  
251 f.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de  
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Geometria Descritiva. 2. Visualização. 3.  
Design de Interação. 4. Interface. I. Teixeira, Prof.  
Dr. Fábio Gonçalves , orient. II. Título.

Sérgio Leandro dos Santos

INTERFACE INTERATIVA BIDIMENSIONAL EM UM *SOFTWARE* PARA O  
ENSINO DE GEOMETRIA DESCRITIVA

Esta Tese foi Julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Design e  
aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Design da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

Porto Alegre, 20 de Dezembro de 2016.

---

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira  
Orientador Programa de Pós-Graduação em Design / UFRGS

---

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Design / UFRGS

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Tânia Luísa Koltermann da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Design / UFRGS

---

Prof. Dr. Vinicius Gadis Ribeiro  
Centro Universitário Ritter dos Reis – UniRitter Laureate International Universities

---

Prof. Dr. Marcelo Soares Pimenta  
Instituto de Informática /UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Departamento de Design e Expressão Gráfica da UFRGS – DEG pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira, pela orientação, apoio, amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos professores membros da banca, pelas importantes contribuições para a realização deste trabalho.

Aos Colegas do VID e do DEG, pelas sugestões e contribuições para o enriquecimento da pesquisa.

À Karina, pelo apoio, paciência, amor e compreensão nesta jornada que exigiu muita dedicação.

Aos colegas da UFRGS que apoiaram e contribuíram este trabalho.

## **Resumo**

A Geometria Descritiva (GD) tem por objetivo o estudo e a compreensão de objetos no espaço tridimensional (3D) a partir de suas representações bidimensionais (2D) em um ou mais planos, e vice-versa. No ensino tradicional da GD, os alunos têm dificuldade em transpor a barreira de ordem cognitiva criada no processo de abstração necessário para a compreensão da relação entre as representações bidimensionais e sua correspondência com o objeto tridimensional. A Computação Gráfica e o Design de Interação têm o potencial tecnológico de auxiliar na transposição desta barreira e contribuir para o estudo da Geometria Descritiva melhorando a compreensão espacial. Através do Design de Interação com foco na usabilidade, é possível projetar uma interface para um *software* de ensino de Geometria Descritiva que relacione as operações nos ambientes 2D e 3D de maneira biunívoca e interativa(em tempo real), compatível com o modo de trabalho gráfico da Geometria Descritiva e suas operações realizadas pelos alunos com o auxílio de instrumentos convencionais do desenho, utilizando para isto a Computação Gráfica. O Objetivo deste trabalho é desenvolver a interface bidimensional do *software* para o ensino da Geometria Descritiva HyperCAL<sup>3D</sup> de maneira a permitir a interatividade, mostrando em tempo real as operações descritivas que podem ser feitas tanto no modelo 3D como nas suas representações 2D, sendo visualizadas em ambos ambientes (3D e 2D) simultaneamente para contribuir para o estudo da Geometria Descritiva. Para o desenvolvimento da interface foram investigados os conceitos utilizados na disciplina e os requisitos dos usuários. Foram analisadas as operações realizadas no software, os softwares similares e os modelos conceituais utilizados nas interfaces. Após as intervenções feitas na estrutura de classes e a mudança nas funcionalidades existentes o software foi avaliado por especialistas e pelos usuários (experientes e novatos) em termos de usabilidade. Em uma das avaliações feitas, foi utilizada uma escala S.U.S., onde os usuários classificaram a nova interface como excelente, alcançando 85,41 pontos, bem acima dos 68 pontos de média da escala.

**Palavras-chave:** Geometria Descritiva, Visualização, Design de Interação, Interface.

## **Abstract**

Descriptive Geometry (GD) aims to study and understand objects in three-dimensional space (3D) from their two-dimensional representations (2D) in one or more planes, and vice versa. In traditional GD teaching, students have difficulty transposing the cognitive barrier created in the process of abstraction necessary for understanding the relationship between two-dimensional representations and their correspondence with the three-dimensional object. Computer Graphics and Interaction Design have the technological potential to help transpose this barrier and contribute to the study of Descriptive Geometry in order to improving spatial comprehension. Through Interaction Design with a focus on usability, it is possible to design an interface for Descriptive Geometry teaching software that relates operations in 2D and 3D environments in a biunivocal and interactive (real-time) way, compatible with the graphical work mode of Descriptive Geometry and its operations performed by the students with the aid of conventional instruments of drawing, using for this the Computer Graphics. The objective of this work is to develop the two-dimensional interface of the software HyperCAL3D for the teaching of Descriptive Geometry in order to allow interactivity, showing in real time the descriptive operations that can be done both in the 3D model and in its 2D representations, being visualized in both Environments (3D and 2D) simultaneously to contribute to the study of Descriptive Geometry. For the development of the interface we investigated the concepts used in the discipline and the requirements of the users. The operations performed in the software, the similar software and the conceptual models used in the interfaces were analyzed. After the interventions made in the class structure and the change in the existing functionalities the software was evaluated by experts and users (experienced and novice) in terms of usability. In one of the evaluations made, the S.U.S. scale was used, where users rated the new interface as excellent, reaching 85.41 points, well above the 68 average points of the scale.

**Keywords:** Descriptive Geometry, Visualization, Interaction Design, Interface.

## Lista de Figuras

Figura 1: Interface de um sistema CAD 2D, Draftsight da Dassault. ....	18
Figura 2: Um exercício de GD sendo resolvido no AutoCAD.....	18
Figura 3: O mesmo exercício parametrizado no AutoCAD. ....	19
Figura 4: Aula de Geometria Descritiva (Troy, NY).....	24
Figura 5: Representação em é pura do objeto no software Geogebra. ....	27
Figura 6: Interface do Programa DG. ....	28
Figura 7: Softwares mais utilizados em GD.....	29
Figura 8: Sólido 3D e sua representação em é pura (2D) no HyperCAL <sup>3D</sup> .....	30
Figura 9: HyperCAL <sup>GD</sup> .....	32
Figura 10: Interface original do HyperCAL <sup>3D</sup> , usando a tecnologia VRML. ....	36
Figura 11: Versão do Programa utilizando a biblioteca gráfica OpenGL. ....	37
Figura 12: Projeção de um filme. ....	47
Figura 13: Projeto da Villa Rotonda, por Andrea Palladio, publicado em 1715.....	49
Figura 14: (a) Retas projetantes formam 90° com o plano de projeção.....	50
Figura 15: Sistema de Dupla Projeção de Monge, É pura.....	51
Figura 16: Sólido a ser representado e suas listas de vértices e faces. ....	53
Figura 17: Marcação dos pontos e representação das faces do sólido.....	53
Figura 18: Linha de Terra paralela a projeção da reta para obtenção da VG. ....	54
Figura 19: Linha de Terra perpendicular à VG da reta.....	55
Figura 20: Duas MSR sucessivas para acumular uma reta oblíqua.....	56
Figura 21: MSR sucessivas para obter a VG do Plano.....	57
Figura 22: Perspectiva Axonométrica do objeto. ....	58
Figura 23: Corte do Sólido por um plano. ....	59
Figura 24: Atividades do processo de Design. ....	63
Figura 25: Metas de usabilidade e Metas Decorrentes da Experiência do Usuário. ....	65
Figura 26: Relação entre escalas. ....	72
Figura 27: Uma classificação das metodologias segundo suas ferramentas, métodos em uma linha da mais prescritiva para a mais adaptativa. ....	76
Figura 28: Ciclo iterativo do SCRUM.....	80
Figura 29: Exemplo de Quadro Kanban para desenvolvimento de Software. ....	82
Figura 30: Quadro Kanban. ....	83
Figura 31: Registro do trabalho realizado ao final de cada dia. ....	84
Figura 32: O Gráfico de Fluxo Cumulativo. ....	84
Figura 33: Desenho da Pesquisa.....	88
Figura 34: Interface do HyperCAL <sup>3D</sup> 2.0 com uma face selecionada. ....	94
Figura 35: HyperCAL <sup>3D</sup> 3.0 - projeções auxiliares consecutivas.....	95
Figura 36: Linhas ocultas representadas.....	95
Figura 37: Abas dos diferentes ambientes no HyperCAL <sup>3D</sup> .....	96
Figura 38: É pura com mudanças de planos consecutivas e linhas ocultas.....	96
Figura 39: Transformando planos auxiliares em planos principais.....	97
Figura 40: Página configurada para impressão da É pura. ....	98

Figura 41: Interseção do sólido com um plano definido por 3 pontos. ....	98
Figura 42: MSR para obtenção de VG de aresta Oblíqua. ....	102
Figura 43: A mesma aresta foi selecionada e isolada para visualização. ....	102
Figura 44: Determinação da VG da face acumulada. ....	104
Figura 45: Determinação da VG da face, isolada do sólido a que pertence. ....	104
Figura 46: Acumulação de um plano. ....	105
Figura 47: Duas mudanças sucessivas do Sistema de referencia. ....	107
Figura 48: Duas MSR sucessivas para acumular o VO e obter a perspectiva. ....	108
Figura 49: Vista a partir do Vetor de Observação. ....	109
Figura 50: Determinação das vistas principais de um objeto a partir das vistas axonométricas. ....	110
Figura 51: A) Plano de referência que intercepta o sólido. B) Cálculo da interseção. C) Sólido cortado pelo plano. D) Interseção mostrada em Épura. ....	111
Figura 52: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2. ....	113
Figura 53: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2. ....	113
Figura 54: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2. ....	113
Figura 55: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2. ....	114
Figura 56: Perspectiva Axonométrica a partir de K olhando na direção de L. ....	117
Figura 57: Obtenção das vistas principais do objeto. ....	118
Figura 58: Projeção dos pontos em um novo sistema local (Novo Plano). ....	119
Figura 59: No modelo 3D: 1) Definição do plano de referência. 2) Definição da linha de projeção. 3) Definição da posição do novo plano paralelo a linha escolhida. ....	122
Figura 60: Correspondente em épura: 1) Definição do plano de referência. 2) Definição da linha de projeção. 3) Definição da posição do novo plano paralelo a linha escolhida. ....	123
Figura 61: Exemplo mostrando as visibilidades das arestas. ....	125
Figura 62: Outro exemplo de visibilidade. ....	126
Figura 63: Determinação da visibilidade de arestas na projeção em épura. ....	126
Figura 64: Parametrização de um segmento de reta. ....	128
Figura 65: Interseção entre dois triângulos no espaço. ....	128
Figura 66: Classe Tponto, TArestaObj, TFaceObj e Tsolido. ....	130
Figura 67: TArestaProj e TPontoProj. ....	131
Figura 68: Tsis, TPlanoProj e Tsistema. ....	132
Figura 69: O Formulário principal e a Janela de visualização. ....	133
Figura 70: Representação das faces. ....	134
Figura 71: Dois objetos selecionados formando um grupo de seleção representado por sua Caixa envolvente. ....	141
Figura 72: Objetos selecionados nos programas CAD. ....	141
Figura 73: Janela de seleção. ....	141
Figura 74: Seleção de objetos sobrepostos. ....	142
Figura 75: Lista para escolha do objeto. ....	142

Figura 76: Clicar a arrastar para mover. ....	143
Figura 77: Réguas verticais e horizontais são comuns em programas gráficos. ....	144
Figura 78: Objeto sendo movido no Autocad®.....	144
Figura 79: Reconhecimento do alinhamento automático. ....	145
Figura 80: Alças de edição do objeto no CorelDraw®. ....	146
Figura 81: Estilo de interação do Illustrator®. ....	146
Figura 82: Rotacionando um objeto no Rhinoceros®. ....	147
Figura 83: Barra de ferramentas do CorelDraw®. ....	148
Figura 84: Classes TArestaProj, TPontoProj e TprojNomePonto Modificadas.....	157
Figura 85: UML da classes TEpura, Tsis e TPlanoProj modificadas.....	159
Figura 86: Nova Interface mostrando as duas janelas de trabalho. ....	160
Figura 87: Janela do modelo 3D maximizada. ....	161
Figura 88: Janela do Modelo 3D desligada. ....	161
Figura 89: Linhas de chamadas Verdes e Azuis.....	162
Figura 90: Menu de seleção de arestas. ....	163
Figura 91: Seleção de Faces pelo menu.....	164
Figura 92: Cores Vermelha, Verde e Azul nas setas da Épura.....	165
Figura 93: Aresta de referência realçada na cor laranja. ....	166
Figura 94: Linhas de Interseção vermelhas. ....	167
Figura 95: Zoom mantendo o foco abaixo do cursor.....	168
Figura 96: Margens de impressão.....	169
Figura 97: Andamento das tarefas ao longo do quadro Kanban.....	171
Figura 98: Registro dos tempos de cada tarefa no quadro Kanban. ....	171
Figura 99: Dados do andamento do trabalho diario. ....	172
Figura 100: Diagrama de fluxo Cumulativo.....	172
Figura 101: Respostas dos professores para o questionário. ....	176
Figura 102:Continuação Questionários dos Professores.....	177
Figura 103: Continuação das Respostas dos professores para o questionário.....	178
Figura 104: Continuação do Questionário.....	179
Figura 105: Gráfico de médias independentes. ....	181
Figura 106: Gráfico de médias Vinculadas. ....	181
Figura 107: Classificação em diferentes escalas. ....	182
Figura 108: Escala de usabilidade do Sistema (S.U.S.) da Nova Interface. ....	183
Figura 109: Questionário com as respostas dos alunos. ....	184
Figura 110: Continuação das respostas dos alunos. ....	185
Figura 111: Continuação Questionário.....	186
Figura 112: Relação entre questionários. ....	187
Figura 113: Texto Próximo ao Cursor.....	188
Figura 114: Diferentes Cursores.....	189
Figura 115: A opção de “Desfazer” aparece assim que se inicia um comando.....	189
Figura 116: Representação Biunívoca e Controles de Visualização. ....	198
Figura 117: Identificação das intervenções da Representação Biunívoca e Controles de Visualização.....	199

Figura 118: FeedBack Visual e Ajuda e Prevenção de Erros.....	200
Figura 119: Intervenções feitas com relação ao FeedBack Visual e Ajuda e Prevenção de Erros. ....	201

## Lista de Abreviaturas e Siglas

2D	- Bidimensional
3D	- Tridimensional
ABP	- Aprendizagem Baseada em Projetos
CAD	- <i>Computer-Aided Design</i>
CAE	- <i>Computer-Aided Engineering</i>
CAM	- <i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CG	- Computação Gráfica
GD	- Geometria Descritiva
IHC	- Interação Homem-computador
LSD	- <i>Lean Software Development</i>
MSR	- Mudança do Sistema de Referência
OpenGL	- <i>Open Graphics Library</i>
PF	- Projeção Frontal
PH	- Projeção Horizontal
PP	- Plano de Projeção
SRG	- Sistema de Referência Global
SRL	- Sistema de Referência Local
TI	- Tecnologia da Informação
VG	- Verdadeira Grandeza
VO	- Vetor de Observação
VRML	- <i>Virtual Reality Modeling Language</i>
WIP	- <i>Work In Progress</i>
XP	- <i>eXtreme Programming</i>

## Sumário

RESUMO .....	IV
ABSTRACT.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	X
SUMÁRIO.....	XI
<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 DESCRIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS OBJETIVAS .....	23
1.2 DEMARCAÇÃO DO NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO DO FENÔMENO.....	39
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	40
1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA .....	40
1.5 OBJETIVO GERAL .....	40
1.5.1 <i>Objetivos Específicos</i> .....	41
1.6 JUSTIFICATIVA .....	41
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>44</b>
2.1 A GEOMETRIA DESCRITIVA.....	44
2.1.1 <i>Histórico de Gaspard Monge e o Nascimento da Geometria Descritiva.</i>	44
2.1.2 <i>Princípios básicos</i> .....	47
2.1.3 <i>Principais conceitos abordados nos currículos da UFRGS</i> .....	52
2.2 DESIGN DE INTERAÇÃO .....	60
2.2.1 <i>Processo de Design de Interação</i> .....	61
2.2.2 <i>Metas do Design de Interação</i> .....	64
2.2.3 <i>Verificação e avaliação da Usabilidade</i> .....	66
2.2.4 <i>Design de Interfaces</i> .....	73
2.3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i> .....	75

2.3.1	<i>Metodologias Ágeis</i> .....	77
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>85</b>
3.1	DESENHO DA PESQUISA .....	88
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>92</b>
4.1	INVESTIGAÇÃO: O HYPERCAL <sup>3D</sup> .....	92
4.1.1	<i>Histórico</i> .....	93
4.1.2	<i>O Uso nas disciplinas de Geometria Descritiva da UFRGS</i> .....	99
4.1.3	<i>Metodologia de Desenvolvimento do HyperCAL<sup>3D</sup></i> .....	114
4.1.4	<i>Estrutura de classes do HyperCAL<sup>3D</sup></i> .....	129
4.2	INVESTIGAÇÃO: OS USUÁRIOS .....	135
4.3	ANÁLISE .....	136
4.3.1	<i>Estilo de Interação para GD</i> .....	136
4.3.2	<i>Estilos de Interação em softwares Vetoriais 2D</i> .....	139
4.3.3	<i>Adequação às Metas de Usabilidade</i> .....	149
4.3.4	<i>O modelo conceitual</i> .....	153
4.3.5	<i>O processo de Desenvolvimento do HyperCAL<sup>3D</sup></i> .....	154
4.4	INTERVENÇÃO: NOVA INTERFACE 2D .....	155
4.4.1	<i>UML das mudanças na estrutura</i> .....	157
4.4.2	<i>Mudanças nas funcionalidades existentes</i> .....	160
4.4.3	<i>Registro da intervenção (Kanban)</i> .....	169
4.5	AVALIAÇÃO DE USABILIDADE .....	173
4.5.1	<i>Inspeção de Usabilidade por Especialistas</i> .....	173
4.5.2	<i>Avaliação com Usuários Experientes: professores</i> .....	175
4.5.3	<i>Avaliação com Usuários Novatos: Alunos</i> .....	180
4.5.4	<i>Comparação dos Questionários entre as Avaliações dos Professores e dos Alunos.</i> 187	

4.6	NOVAS INTERVENÇÕES.....	187
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>191</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	203
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>205</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>214</b>
	APÊNDICE 1 - TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE OBRA AUTORAL.....	214
	APÊNDICE 2 - PROTOCOLO INSPEÇÃO DE USABILIDADE .....	215
	APÊNDICE 3 - RESULTADOS INSPEÇÃO DE USABILIDADE .....	226
	APÊNDICE 4 - PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM ESPECIALISTA .....	227
	APÊNDICE 5 – QUESTIONÁRIO COM ESPECIALISTA .....	228
	APÊNDICE 6 – <i>SYSTEM USABILITY SCALE (S.U.S.)</i> .....	231
<b>8</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>232</b>
	ANEXO 1 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA DA UFRGS.....	232
	ANEXO 2 - PLANO DE ENSINO ARQ03317 – GD IIA.....	237
	ANEXO 3 - PLANO DE ENSINO ARQ03320 – GD III .....	241
	ANEXO 4 - PLANO DE ENSINO ARQ03004 – GD APLIC. ARQ.....	244
	ANEXO 5 - PLANO DE ENSINO ARQ03065 – GD P/ DESIGNERS .....	248

## **APRESENTAÇÃO**

Esta Tese é parte de um trabalho que vem sendo realizado no Grupo de pesquisa VID – Virtual Design, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que desde 1996 dedica seus esforços na melhoria do ensino da Expressão Gráfica, em especial da disciplina de Geometria Descritiva.

Este autor, em 1996, participou como bolsista de iniciação científica na criação dos primeiros trabalhos do Grupo VID durante a graduação em Arquitetura. Já como aluno, vivenciou as dificuldades de aprendizado encontradas na disciplina. Em 2007 iniciou o curso de mestrado no PGDesign desenvolvendo uma Interface gráfica para um software CAD desenvolvido na pesquisa de Doutorado do seu Orientador, Prof. Fábio G. Teixeira. No mesmo ano começou a lecionar no Departamento de Design e Expressão Gráfica da UFRGS como professor de Computação Gráfica e Geometria Descritiva, cargo que exerce até hoje.

As motivações iniciais para a realização deste trabalho surgiram a partir desta experiência de quase dez anos como professor, presenciando em sala de aula as dificuldades encontradas pelos alunos de Geometria Descritiva (e tendo vivenciado as mesmas dificuldades como aluno), além disto, presenciando também os mesmos alunos compreendendo facilmente as relações entre as projeções e os objetos ao utilizar um software CAD no semestre seguinte na disciplina de Computação Gráfica. Muitas das afirmações feitas nas seções de Introdução e Justificativa nesta Tese são baseadas nesta experiência.

É neste contexto que se situa este trabalho, na interseção entre a Computação Gráfica e a Geometria Descritiva. A intenção é usar o potencial tecnológico de representação da Computação Gráfica para tentar resolver um problema identificado no ensino/aprendizagem da Geometria Descritiva.

## 1 INTRODUÇÃO

Todas as áreas do conhecimento que tratam de projetos envolvendo o espaço tridimensional, tais como, Arquitetura, Engenharias, Agronomia, Topografia, Design, entre outras, necessitam comunicar, interpretar e representar esses projetos através de desenhos técnicos. O Desenho Técnico é um ramo especializado do desenho, uma linguagem gráfica normatizada fortemente baseada nos conceitos estudados na Geometria Descritiva.

A Geometria Descritiva (GD) tem por objetivo o estudo e a compreensão de objetos<sup>1</sup> no espaço tridimensional (3D) a partir de suas representações bidimensionais (2D) em um ou mais planos. De acordo com Lacourt (1995, p. 3), a GD é o ramo da matemática aplicada que tem por objetivo apresentar figuras sobre um plano, de tal maneira que, com o auxílio da geometria, os problemas podem ser interpretados considerando-se as três dimensões espaciais.

Assim, a Geometria Descritiva é uma disciplina fundamental para o desenvolvimento do raciocínio espacial dos projetistas destas áreas. A GD foi criada no final do século XVIII pelo matemático e educador francês Gaspard Monge que sistematizou um método de correspondência entre as projeções ortogonais dos objetos, trazendo grandes avanços no desenvolvimento de máquinas e equipamentos com mecanismos de precisão, influenciando o pensamento matemático da época e alavancando a revolução industrial (BOYER, 1974; TEIXEIRA e SANTOS, 2014; SILVA, 2005).

Desde sua introdução no ensino Brasileiro, a GD, apesar de sua importância, vem perdendo cada vez mais espaço nos cursos de graduação (em termos de carga horária) e, em alguns casos, sendo eliminada dos seus currículos. Sucessivas mudanças no ensino fundamental e médio também suprimiram a GD e o Desenho Geométrico de suas grades curriculares. Segundo Ulbricht (1998 apud Silva, R. 2005), foi após a promulgação da Lei federal 5692/71 que se deu a redução de carga horária das disciplinas relacionadas ao Desenho, que é semelhante à atualidade.

Em função destas mudanças, os professores de GD no ensino superior percebem que seus alunos têm dificuldades para entender os conceitos geométricos envolvidos na disciplina

---

<sup>1</sup> Neste trabalho o termo “Objeto” será utilizado para designar o que se quer representar ou projetar.

devido à carência do desenvolvimento do raciocínio espacial nos conteúdos do ensino fundamental e médio.

Com o avanço da tecnologia, em especial da Computação Gráfica, os sistemas CAD (*Computer Aided Design*), CAE (*Computer Aided Engineering*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*) modificaram a maneira de projetar, criando novas possibilidades de visualização e representação dos objetos bem como novas metodologias de trabalho, tornando mais ágil o processo de projeto. A partir destas mudanças, há quem considere que o ensino da teoria dos processos gráficos se tornou desnecessário, uma vez que estes processos são realizados de forma automática pelos programas computacionais para resolver problemas relativos à forma, posição e dimensionamento de elementos geométricos<sup>2</sup>.

No entanto, o exercício criativo de projeto vai além de sua representação gráfica e os programas gráficos não podem criar os objetos para o projetista, podem apenas auxiliá-lo na representação, pois o projetista precisa ter a compreensão espacial tridimensional antes de poder operar estes sistemas, ou seja, ele precisa primeiro pensar sobre o que vai projetar e só depois pode usar um *software* para auxiliá-lo na representação. Um sistema CAD é uma valiosa ferramenta, mas sem um usuário capacitado, com conhecimento dos processos gráficos e raciocínio espacial apurado, pode ser de pouca utilidade (TEIXEIRA e SANTOS, 2014).

Não apenas o processo de projeto vem mudando ao longo dos anos, mas o comportamento dos alunos também mudou. As novas gerações já têm contato com a tecnologia desde a infância, através de *videogames*, *internet*, redes sociais, *tablets*, telefones celulares, computadores, etc.

Para Ulbricht (1992 apud Silva, T. 1999), “uma maior motivação por parte do aluno e maior facilidade de aprendizagem da disciplina de Desenho Técnico foram obtidas com a introdução do computador no ensino”.

Segundo Tapscott, enquanto os nascidos na Geração *Internet* (entre 1977 e 1997) assimilaram a tecnologia porque cresceram com ela, os mais velhos tiveram que se adaptar a ela. Há muitos motivos para acreditar que esta é uma geração que está crescendo com conexões cerebrais diferentes das conexões da geração anterior (TAPSCOTT, 2010, p. 29).

---

<sup>2</sup> Na GD, os objetos mais complexos como Superfícies e Sólidos são representados através de elementos geométricos mais simples como Retas (arestas), Planos (faces) e Pontos (vértices).

Tapscott escreve ainda sobre o abismo existente entre o ambiente digital em que os estudantes estão submersos no cotidiano e o sistema educacional antiquado projetado para era industrial, criticando os modelos padronizados e unidirecionais de ensino, que não mais atendem aos desafios contemporâneos, tais como as mudanças nas relações de trabalho, a horizontalidade das relações em redes sociais, um mercado de customização em massa, entre outros (TAPSCOTT, 2010, p. 150-156).

Assim, quando estes alunos se veem sentados em uma sala de aula de GD, assistindo a um professor fazer desenhos abstratos no quadro, com pouca ou nenhuma interação, com pouca ou nenhuma relação com seu cotidiano (segundo seu ponto de vista), eles não se identificam com a disciplina, julgam-na antiquada e desnecessária e se desinteressam com facilidade<sup>3</sup>.

Frente a estas mudanças tecnológicas e sociais, muitos educadores vêm tentando incorporar estas tecnologias ao ensino da GD, frequentemente através do uso de sistemas CAD ou *softwares* de Geometria Dinâmica (OLIVEIRA, 2005; SURYNKOVÁ, 2012). No “XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X *International Conference on Graphics for Arts and Design*” (GRAPHICA 2013), o uso do CAD para auxiliar o ensino de desenho ou GD foi defendido por alguns autores.

De acordo com Nunes, o aprendizado colaborativo através das redes sociais, em conjunto com a utilização do software AutoCAD® na disciplina de Desenho Básico para Design, estimula a motivação pela participação, que resultou em uma maior interação entre alunos e professor e melhor rendimento dos alunos, sugerindo que o computador seja uma eficiente ferramenta no auxílio do aprendizado, não apenas no que diz respeito à representação, mas como meio de comunicação e compartilhamento virtual dos entendimentos sobre os temas propostos (NUNES, CAMARGO, *et al.*, 2013).

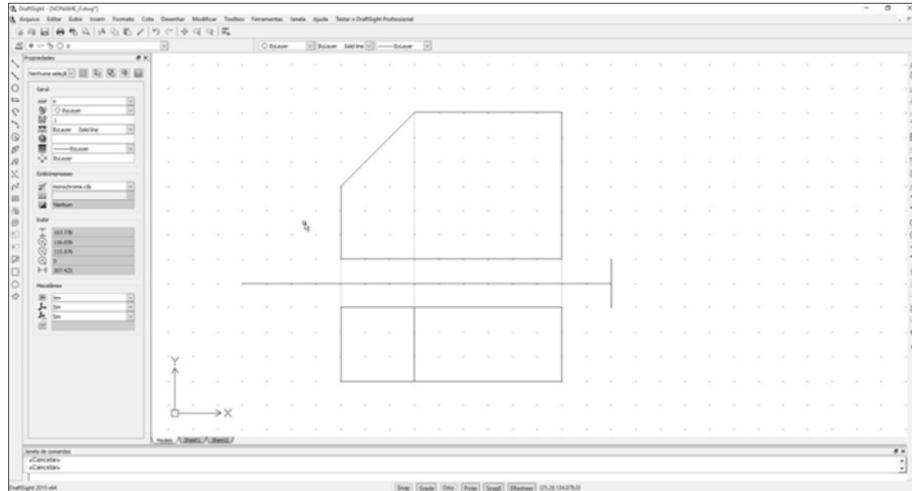
Para Eymar, a adoção de aulas expositivas e práticas, associadas ao uso de softwares como Cabri3D® e o Sketchup® além da representação técnica manual, facilita a visualização e a fixação da disciplina de Geometria Descritiva como canal interativo de participação entre o meio físico e sua representação (EYMAR, ROMCY, *et al.*, 2013).

---

<sup>3</sup> Observação direta do autor que é professor da disciplina há 9 anos.

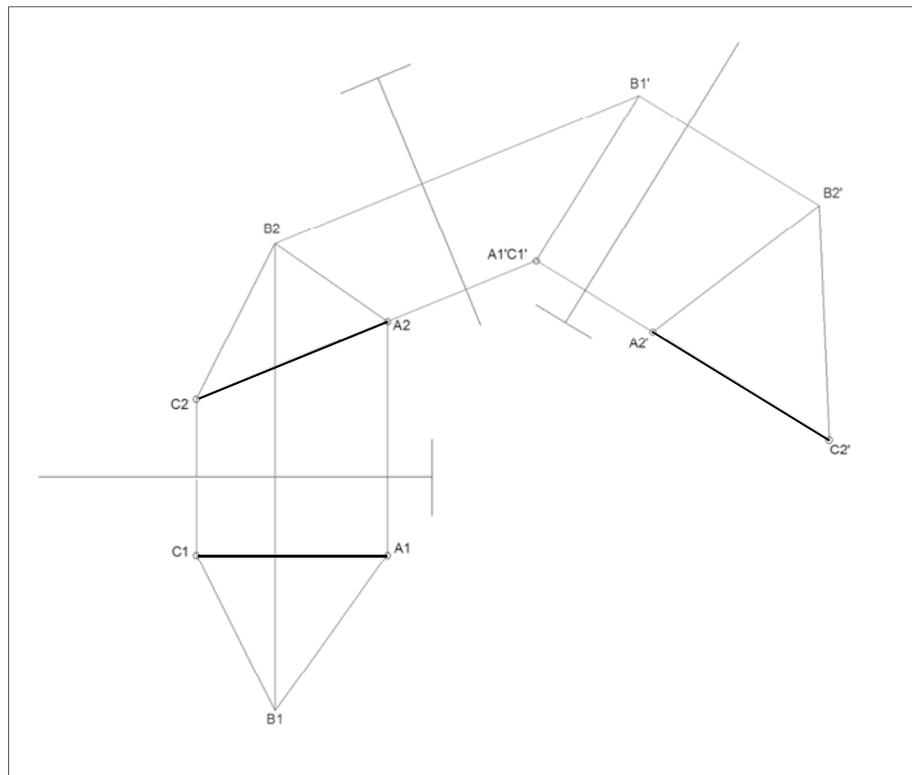
A Figura 1 apresenta a interface de um sistema CAD específico para desenhos 2D com um desenho típico introdutório da disciplina de GD representando as vistas de um sólido, com a vista frontal e vista superior alinhadas.

Figura 1: Interface de um sistema CAD 2D, Draftsight da Dassault.



Fonte: O Autor.

Figura 2: Um exercício de GD sendo resolvido no AutoCAD.



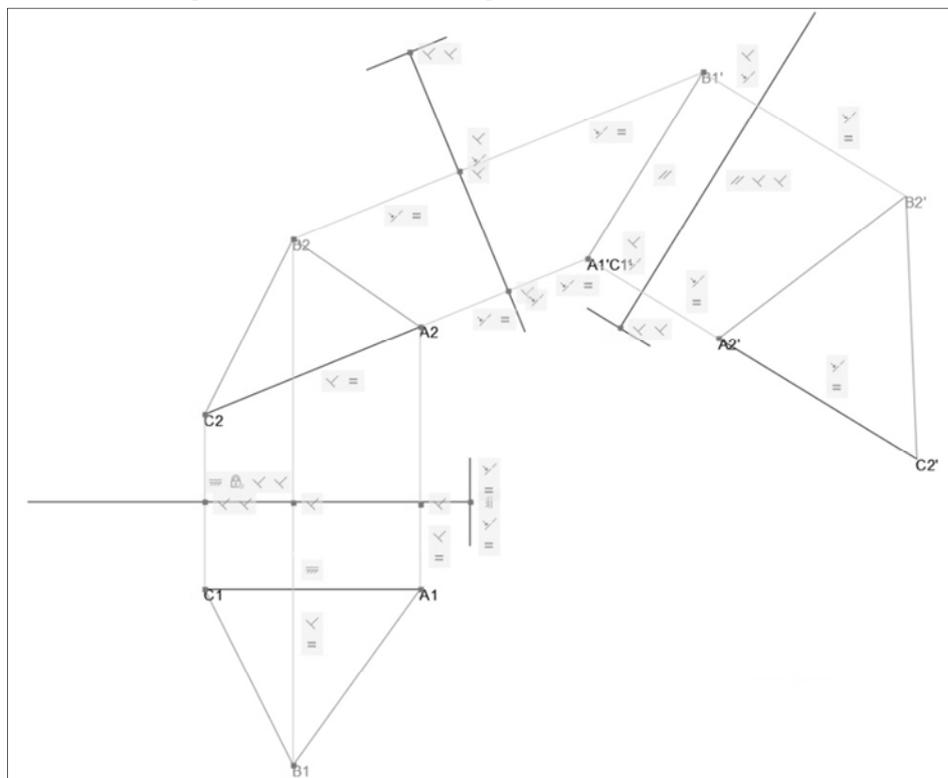
Fonte: O Autor.

A Figura 2 apresenta um exercício de obtenção da Verdadeira Grandeza (VG) de um plano desenhado no AutoCAD. Assim como na prancheta (papel), o desenho no CAD é estático e os elementos geométricos desenhados (linhas, pontos, distâncias) não estão inter-

relacionados. Em função disto, alguns autores vão além e propõem ainda o uso de *softwares* CAD paramétricos para tentar contornar estas limitações (CASTELAN e FRITZEN, 2013; PEREIRA e VAZ, 2013). Sistemas paramétricos permitem o controle e definição do desenho através de parâmetros estabelecidos, como dimensões e restrições geométricas. Diferente dos Sistemas CAD tradicionais onde as dimensões apenas informam um valor já desenhado, nos sistemas paramétricos elas definem o valor, modificando o desenho quando as dimensões são alteradas.

As versões mais recentes do AutoCAD permitem a parametrização, outros *softwares* como o Rhinoceros usam plug-ins para isto, neste caso o Grasshopper (DAVIDSON, 2014). A Figura 3 ilustra o mesmo exercício, parametrizado no AutoCAD, o que permite estabelecer relações de paralelismo e perpendicularismo entre as linhas desenhadas, relações de igualdade entre medidas e alinhamentos (colinearidade). Assim, mudanças em uma linha (a posição de uma de suas extremidades, por exemplo) influencia o comportamento de outras linhas relacionadas a ela (ângulos, comprimentos, alinhamentos, etc.).

Figura 3: O mesmo exercício parametrizado no AutoCAD.



Fonte: O Autor.

No entanto, na estrutura curricular dos cursos de graduação, a GD está normalmente posicionada nos semestres iniciais, em uma fase de iniciação criativa, técnica e cultural,

normalmente anterior ao uso de ferramentas CAD, que somente são introduzidas nos semestres seguintes, depois que conceitos básicos de desenho técnico já foram trabalhados. Os sistemas CAD são complexos e de difícil aprendizagem e sua introdução nas fases iniciais dos cursos pode trazer inúmeras barreiras aos usuários iniciantes, acrescentando problemas ao ensino de GD ao invés de auxiliá-lo. Conforme Piegler (2005), pode levar de seis meses a um ano para o usuário se tornar confortável e produtivo em um sistema CAD.

Esta modernização do ensino através da tecnologia tem o desafio ainda de vencer a barreira de abstração que existe no ensino da GD entre os desenhos técnicos bidimensionais e os objetos tridimensionais que eles representam. Uma das razões da GD estar posicionada nas fases iniciais dos cursos de graduação é para que ajude no desenvolvimento do raciocínio espacial necessário aos futuros projetistas.

A GD é uma disciplina teórico/prática, onde o aluno deve aplicar conceitos teóricos através do exercício de métodos e técnicas de desenho onde os resultados do desenho demonstram na prática os conceitos. Nesse sentido, o ensino da GD compartilha de um paradoxo geral que acompanha o ensino/aprendizagem de qualquer ideia nova: o aluno busca entender algo cuja importância e significado ele não pode entender de antemão. Nas palavras de Schön (SCHÖN, 2000): “Ao estudante, não se pode ensinar o que ele precisa saber, mas se pode instruir.” O professor pode instruir o aluno nos procedimentos e métodos utilizados para obter os resultados esperados, mas cabe ao aluno enxergar e construir um significado, por si próprio, das relações entre os meios e métodos empregados, os resultados obtidos e os conceitos que eles representam.

No caso específico da GD, o professor pode instruir o aluno como marcar os pontos em um sistema de desenhos alinhados que representam as vistas ortogonais do objeto em estudo (este sistema é chamado de “Épura”)<sup>4</sup>, pode dizer que estes pontos representam os vértices de um sólido, pode ainda instruir como ligar estes pontos (conectividades) através das linhas que representam as arestas deste sólido, mas é trabalho do aluno olhar para aquele desenho bidimensional e, a partir dele, conceber mentalmente o sólido tridimensional que ele representa. O professor não consegue fazer isto pelo aluno, este raciocínio deve ser construído pelo próprio aluno.

---

<sup>4</sup> Épura é um sistema de projeções obtidas a partir do método Mongeano, que assegura a univocidade da correspondência Objeto-Imagem (SILVA, 2005, p. 99).

Neste cenário de ensino/aprendizagem da GD existe uma barreira de ordem cognitiva (abstração) a ser ultrapassada pelo aluno, que é intransponível para muitos deles. A GD trabalha com desenhos 2D, usa métodos que manipulam os elementos 2D (pontos, retas e planos) desses desenhos para obter os resultados esperados, que também são representados por desenhos 2D. No entanto, todos estes elementos e desenhos 2D utilizados representam direções, posições, distâncias, arestas, faces e formas em 3D. O professor instrui os métodos supondo que os alunos conseguiram vencer a barreira de abstração entre 2D e 3D, com a esperança de que aqueles que ainda não venceram a barreira consigam fazê-lo através da repetição desses métodos de forma sistemática para obtenção dos resultados esperados<sup>5</sup>.

Segundo Silva, R. (2005, p. 18), as dificuldades constatadas pelos alunos no processo de ensino aprendizagem estão relacionadas à dinâmica dos processos psicológicos primários (percepção, imaginação e reflexão)<sup>6</sup> frente aos diferentes processos de produção do conhecimento (empírico, metafísico e científico) e a respectiva fundamentação adotada para explicar o processo lógico da GD. Essas dificuldades se referem tanto à passagem do objeto tridimensional para sua representação bidimensional, quanto na restituição do objeto a partir de sua representação bidimensional. Silva, R. (2005, p. 18) defende ainda que “essa deficiência apresentada pode ser decorrente da carência de tecnologia multimeios capaz de auxiliar os alunos na concepção dos objetos e na apreensão da forma correta. Pois, toda percepção é a forma de um objeto sobre um fundo. Cada perspectiva de projeção percebida tem seus respectivos significados. Uma das possibilidades desta tecnologia multimeios (animações, modelos em realidade virtual, etc.) é integrar todas as projeções das figuras geométricas”.

Assim, no ensino tradicional da GD, os alunos têm dificuldade em transpor a barreira de abstração criada entre as representações bidimensionais e sua correspondência com o objeto tridimensional, como fora investigado por Silva, R. (2005). A Computação Gráfica tem o potencial de vencer esta barreira ao possibilitar a interação com um modelo virtual 3D através de um dispositivo bidimensional (tela do computador, *tablet*, celular) bem como o de simular os processos gráficos bidimensionais feitos pelo aluno no papel, mostrando sua correspondência no modelo tridimensional.

---

<sup>5</sup> *Observação do autor em sala de aula.*

<sup>6</sup> *Percepção (objeto em percepção-materialidade), imaginação (objeto em imagem-consciência) e reflexão (objeto em conceito) (SILVA, 2005, p. 19;p.106).*

Conforme citado anteriormente, tentativas de inserção dos pacotes CAD profissionais no ensino da GD já foram feitas com algum sucesso, no entanto criando novos problemas. A curva de aprendizagem da uma ferramenta CAD é muito acentuada. Por ser uma ferramenta muito completa é também muito complexa e de difícil aprendizagem, o que a torna inapropriada para ser introduzida em uma aula de Geometria Descritiva (geralmente posicionada no início dos cursos). Para agravar esta situação, a GD já trabalha com uma carga horária reduzida para ministrar os conteúdos que lhe são próprios e acrescentar ainda complexidades alheias à disciplina não contribui no processo de ensino/aprendizagem.

Por outro lado, os alunos estão habituados à inserção da Tecnologia da Informação (TI) em muitos aspectos da sua vida cotidiana, como redes sociais, aplicativos para celulares, *tablets*, jogos eletrônicos, pesquisas escolares na internet, computadores, entre outros. Em função disto, como já demonstrado nas pesquisas mencionadas (NUNES, CAMARGO, *et al.*, 2013), o uso da TI pode auxiliar no processo de ensino/aprendizagem e tornar o conteúdo de GD mais interessante e dinâmico, da mesma forma, mais alinhado com as práticas de projeto atuais e com a futura vivência profissional dos alunos, que utilizam estas tecnologias diariamente.

Assim, é necessário que se utilize a Computação Gráfica como ferramenta de auxílio sem acrescentar complexidade para a aprendizagem da ferramenta utilizada, ou seja, que o *software* seja de fácil aprendizado e fácil utilização, voltado às necessidades específicas da GD. Neste sentido, o estudo do Design de Interação com foco na Usabilidade do *software* se torna uma questão fundamental para o sucesso deste processo de ensino/Aprendizagem auxiliado pela tecnologia.

O uso de um *software* interativo que permita não somente a visualização do objeto 3D (o que facilita para o aluno fazer a correspondência entre as vistas do sólido e sua volumetria), mas também permita a edição desse objeto, tanto no volume quanto nas respectivas vistas bidimensionais, faz com que o usuário tenha uma resposta imediata a sua ação, permitindo assim a reflexão na ação. Em conformidade com Schön (2000), a reflexão atua como um instrumento de desenvolvimento do pensamento, da ação e de desenvolvimento profissional. O conhecimento esperado, a relação de reciprocidade nas representações 2D e 3D e o processo de transposição, pode emergir neste ciclo de modo espontâneo, sem que seja necessariamente explicado pelo professor.

Estes fatores, quando analisados em conjunto, indicam o potencial do uso da computação gráfica para a criação de ferramentas que auxiliem o ensino da Geometria Descritiva e permitam a interação do usuário com o sistema de forma simples. Ferramentas que simulem os processos gráficos utilizados na GD e explicitem as relações entre as projeções bidimensionais do objeto e sua forma tridimensional, aproximando, assim, o conteúdo da disciplina ao universo digital vivido pelos alunos no seu cotidiano e aumentando as possibilidades de aprendizado da Disciplina.

### **1.1 DESCRIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS OBJETIVAS**

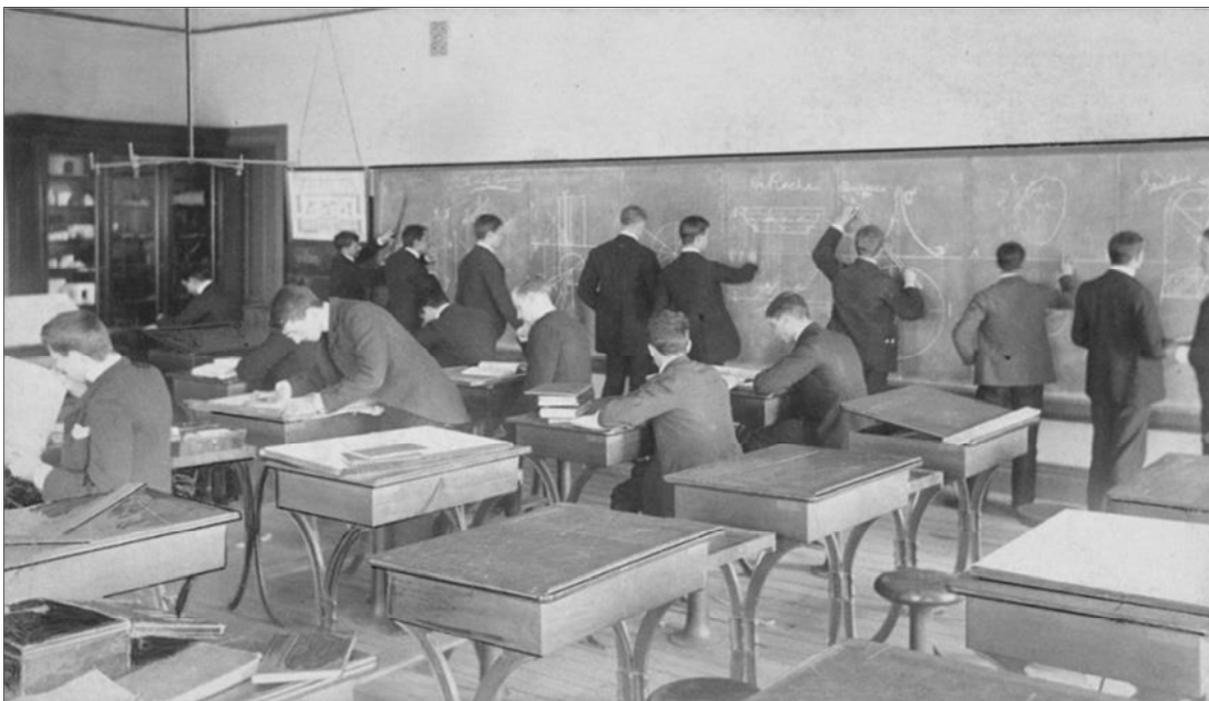
Desde sua criação, há mais de dois séculos, o ensino da GD pouco mudou. Conforme Hawk (1962), o ensino de Geometria Descritiva é tradicionalmente feito através de aulas presenciais expositivas, com uso de quadro negro, complementadas com o estudo de exercícios resolvidos.

Este método tradicional apresenta muitas falhas, entre elas:

- O uso de gabaritos prontos, onde, frequentemente, o raciocínio lógico envolvido na obtenção do resultado final e os respectivos passos necessários (as decisões sobre posicionamento do sistema de referência) para a resolução do problema são omitidos, apresentando apenas a resposta final.
- Os professores têm que fazer os desenhos no quadro negro, utilizando barras de giz que variam em qualidade e instrumentos de madeira com grandes dimensões e difícil manipulação, ocasionando imprecisões.
- Os desenhos bidimensionais estudados representam objetos e relações espaciais tridimensionais, apresentando uma barreira de abstração que é, muitas vezes, intransponível para alunos.
- Os métodos de resolução dos problemas utilizados na GD são complexos e demandam tempo considerável do período de aula, fazendo com que o aluno tenha poucas oportunidades de exercitar. Assim, o número de iterações no exercício é reduzido. Como consequência disso o professor também tem pouco a contribuir, no caso de algo errado na solução proposta pelo aluno, ele pode apontar o erro, e sugerir o caminho correto, mas o aluno não terá tempo hábil de refazer todo o exercício em aula.

A Figura 4 ilustra o ensino da Geometria Descritiva em sala de aula no início do século XX. Estas mesmas ocorrências citadas acima ainda são verificadas nas salas de aula em pleno século XXI.

*Figura 4: Aula de Geometria Descritiva (Troy, NY).*



Fonte: <http://archives-2.lib.rpi.edu/inmagicgenie/documentfolder/4237.jpg>

O uso de exercícios prontos com os respectivos gabaritos é uma maneira de tentar contornar o problema da redução de carga horária sofrida pela disciplina ao longo dos anos, uma vez que a resolução dos problemas geométricos apresentados na disciplina de Geometria Descritiva através dos métodos gráficos descritivos requer uma sequência lógica na execução dos traçados, que deve ser planejada e que é diferente para cada problema, e, portanto, demanda um tempo considerável. A intenção é louvável ao tentar mostrar para o aluno onde ele deve chegar, qual o resultado final a ser obtido. No entanto, o aluno ao ver o resultado final mostrado no gabarito, não passa pelo processo construtivo da solução, pelo desenvolvimento do raciocínio necessário para chegar àquela resposta, tornando-a ininteligível para ele. Mesmo para os que entendem o resultado final apresentado (a representação do objeto), por não terem a experiência de construir o exercício, não passaram pelo raciocínio espacial necessário para chegar àquela solução, e, quando expostos a situações

semelhantes em exercícios seguintes (ou mesmo novas situações), não têm os subsídios necessários para as tomadas de decisão implícitas neste raciocínio<sup>7</sup>.

Segundo Polya (1977), “há sempre uma pitada de descoberta na resolução de qualquer problema”. Se o problema desafiar a curiosidade e por em jogo as faculdades inventivas, quem o resolve por seus próprios meios experimentará a tensão e vivenciará o triunfo da descoberta. Na GD, assim como na Matemática, os alunos aprendem através da resolução de problemas (KRULIK, 1998), mas só aprendem ao resolverem (eles mesmos) os exercícios e não apenas observando o exercício sendo resolvido pelo professor e tentando acompanhar seu raciocínio, como frequentemente acontece.

Da mesma forma, com base na experiência didática do autor em sala de aula, os problemas são normalmente resolvidos no quadro pelos professores, através de desenhos utilizando giz, esquadros, réguas de madeira e compasso de grandes proporções. Diferente do aluno que utiliza instrumentos de desenho apoiados sobre a mesa (uma superfície horizontal), os professores têm que utiliza-los no quadro (uma superfície vertical), lutando constantemente contra a gravidade ao tentar segurar com uma das mãos até dois instrumentos, enquanto traça as linhas com giz utilizando a outra mão. Esta situação compromete a precisão do desenho, fazendo com que o professor tenha que adaptar a técnica e, muitas vezes, “forçar a solução” apesar da imprecisão do desenho. Sempre que possível, a apresentação dos exercícios utilizando o projetor multimídia e um computador pode facilitar o desenvolvimento do exercício pelo professor, que pode reforçar com giz as linhas já projetadas conforme explica o raciocínio necessário para resolver o exercício. Esta técnica (redesenho sobre as linhas projetadas) permite que parte do exercício seja refeito, tanto quanto necessário, para melhor explicar um determinado processo, o que é difícil de fazer com o desenho construído diretamente no quadro.

Nas disciplinas de GD ministradas na UFRGS são utilizadas duas (ou mais) projeções bidimensionais dos objetos relacionadas entre si, frequentemente fazendo operações que resultam em mudanças tridimensionais nestes objetos, por exemplo, a interseção de um plano com um sólido gera uma poligonal na superfície do sólido (a linha de corte), o que permite separar o sólido em dois volumes distintos. Eliminar um destes volumes pode significar eliminar vértices existentes, arestas e alterar a visibilidade do volume resultante. É necessário

---

<sup>7</sup> *Observação do autor em sala de aula.*

um elevado grau de abstração para entender estas relações entre 2D e 3D, não apenas para visualizar (imaginar) o sólido 3D sendo representado pelas suas projeções 2D, mas tanto mais para manipular as projeções 2D buscando alterações (ou até criações) volumétricas no sólido. Para o professor (que já entende o processo), é muito difícil mostrar estas relações para os alunos (que estão tentando entender aquela linguagem), em especial, é muito difícil evidenciar as consequências no sólido das alterações feitas no desenho 2D<sup>8</sup>.

Esta situação se relaciona com o paradoxo do ensino de projeto explicado por Schön (2000, p. 79) onde sustenta que um estudante não pode inicialmente entender o que precisa aprender, ele pode aprendê-lo somente educando a si mesmo e só pode educar-se começando a fazer o que ainda não entende. Na mesma página, este autor descreve ainda a fala de um professor de projeto ao seu aluno ilustrando este paradoxo:

*“- posso dizer-lhe que há algo que você precisa aprender e com minha ajuda você será capaz de aprendê-lo. Mas não posso dizer o que é de forma que você possa entendê-lo agora. Posso apenas arranjar para que você tenha o tipo certo de experiência por conta própria.” (SCHÖN, 2000)*

A computação gráfica tem o potencial de diminuir esta dificuldade de transposição entre a representação bidimensional e o objeto tridimensional, o que pode facilitar o entendimento das relações entre 2D e 3D e permitir não só a visualização do objeto 3D (virtualmente), mas também a simulação dos processos gráficos feitos pelos alunos no papel, mostrando interativamente as suas consequências no modelo tridimensional.

Este potencial de visualização 3D pelo uso da computação gráfica tem sido explorado há bastante tempo pelos professores. No entanto, o que ocorre com frequência é a adaptação de *softwares* gráficos de outras áreas para uso na disciplina de GD. A utilização de *softwares* adaptados de outras disciplinas da matemática (geometria dinâmica) ou de uso profissional (os sistemas CAD), não é adequada ao trabalho que deve ser executado pelos alunos de Geometria Descritiva em sala de aula e podem se tornar um obstáculo no aprendizado por serem muito complexos ou por introduzirem outras variáveis que não pertencem à disciplina. Podem ser citados como exemplos de *softwares* de geometria dinâmica o Cabri 3d® (CABRILOG SAS, 2015) e o Geogebra (GEOGEBRA INSTITUTE, 2015), que permitem que se estabeleçam parâmetros e relações entre os entes geométricos de maneira que se atualizem na medida em que as condições iniciais mudem (ângulos, alinhamentos, etc.).

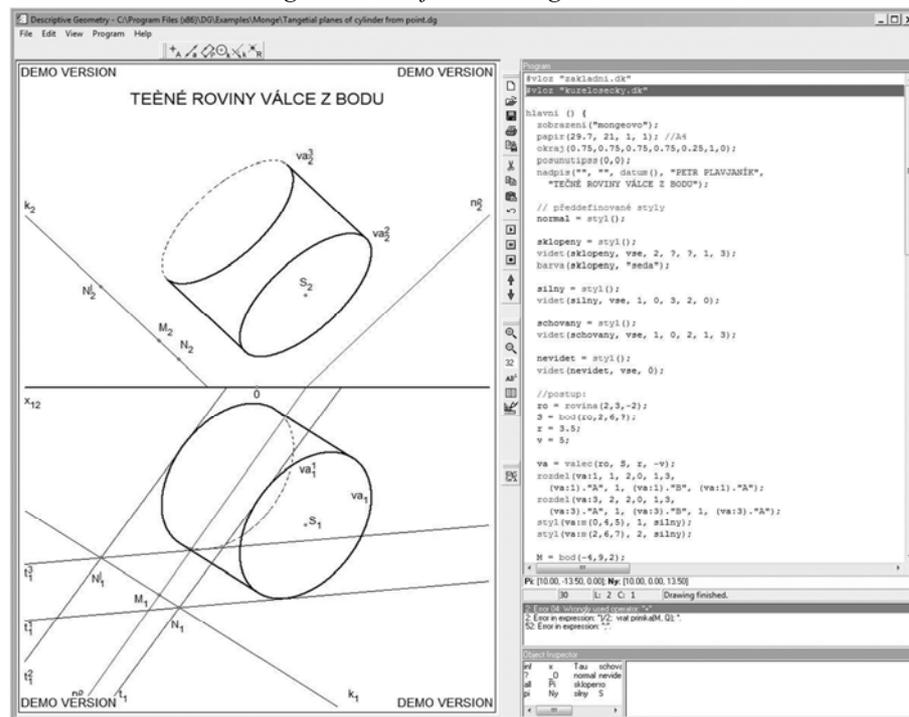
---

<sup>8</sup> Observação a partir da experiência didática do autor.



também sua representação em épora a partir das coordenadas dos pontos fornecidos, mas não fazem a relação necessária entre o desenho 2D e o objeto 3D, onde modificações no desenho tem efeito no modelo tridimensional e vice-versa, que é o fundamento de todo sistema de representação Mongeano abordado na GD. A Figura 6 mostra a interface do programa DG, onde os dados do problema são organizados em forma de código de programação, e o resultado é mostrado ao lado na épora correspondente.

Figura 6: Interface do Programa DG.



Fonte: O Autor.

O *software* DG (KONSULTA, 2006) trabalha com a relação entre os dados do problema na forma de linguagem orientada para gerar a sua representação em épora. O usuário escreve uma rotina (algoritmo) de desenho e o programa cria os desenhos guiado por esta rotina. Esse algoritmo deve ser escrito em uma linguagem de programação derivada da Linguagem “C” (*DG-language*) que foi modificada para solucionar os problemas e atender as necessidades específicas da Geometria Descritiva. Segundo os autores do *software*, existem muitas vantagens ao se utilizar o programa quando comparado com os desenhos a mão livre, entre elas a rapidez de execução dos desenhos (pelo *software*, não levando em conta o tempo para escrever a rotina), a precisão e a flexibilidade para mudanças. No entanto, os autores não consideram a complexidade da introdução de uma linguagem de programação no contexto da disciplina. A Figura 7 apresenta as principais características que os softwares citados e utilizados no ensino da Geometria Descritiva têm (V) ou não têm (X). Nesta imagem é

importante destacar as colunas da **Relação 2D/3D** e a sua **Complexidade** para ser utilizado em uma disciplina introdutória.

Figura 7: Softwares mais utilizados em GD.

	2D	3D	Relação 2D/3D	Baixa Complexidade	Especif. GD
Cabri 3D	V	V	X	V	X
Geogebra	V	X	X	V	X
AutoCAD	V	V	X	X	X
Sketchup	V	V	X	V	X
Rhinoceros	V	V	X	X	X
SolidWorks	V	V	V	X	X
DG	V	X	V	X	V
HyperCAL 3D	V	V	V	V	V

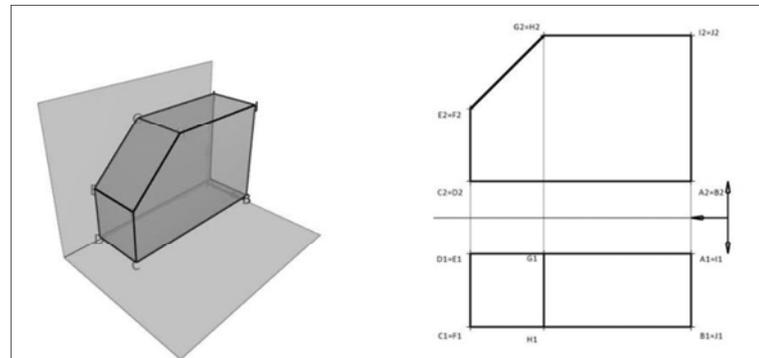
Fonte: O Autor.

Dentro desta linha de *softwares* específicos para GD, o HyperCAL<sup>3D</sup>, desenvolvido na UFRGS pelo prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira, é um dos mais significativos e por isto é objeto da intervenção desta pesquisa. Este *software* será melhor detalhado no item 4.1. O HyperCAL<sup>3D</sup> relaciona um sólido tridimensional virtual às suas respectivas vistas bidimensionais. O sólido é criado a partir de uma lista de coordenadas cartesianas dos vértices (X,Y e Z) e de uma lista de conectividades das faces indicando quais vértices pertencem a uma determinada face e qual a sequência de conexão entre eles. O programa é fácil de usar e não requer nenhum outro conhecimento prévio além do uso básico de um computador e seus periféricos (mouse e teclado). A Figura 8 exibe um sólido simples e suas respectivas vistas ortogonais alinhadas segundo os eixos de referência perpendiculares entre si, resultantes da interseção entre os planos de projeção que correspondem ao sistema projetivo. São os eixos X (horizontal para esquerda), Y (vertical para baixo) e Z (vertical para cima), chamada de Épura, onde o desenho bidimensional representa um sólido tridimensional.

Mesmo com os esforços empregados no desenvolvimento de *softwares* para GD, os programas ainda não conseguiram transpor para o meio digital as operações realizadas na GD no meio físico de forma a auxiliar no ensino da disciplina efetivamente. Além da simples representação, para que o objetivo da disciplina possa ser alcançado, é fundamental uma relação biunívoca entre a projeção bidimensional e a volumetria tridimensional, permitindo a interação em ambas as representações, mostrando (a cada ação) os respectivos resultados destas interações. Esta relação biunívoca entre o ambiente bidimensional e o ambiente

tridimensional de forma que possam ser manipulados interativamente e em tempo real ainda é inédita em softwares para GD e é uma ferramenta fundamental para transpor a barreira de abstração encontrada no ensino da GD.

Figura 8: Sólido 3D e sua representação em é pura (2D) no HyperCAL<sup>3D</sup>.



Fonte: O Autor.

Assim, o modelo tradicional de ensino da GD, utilizando apenas desenhos bidimensionais, estudando suas relações, obtendo e manipulando informações e elementos bidimensionais que representam as ações sobre um objeto tridimensional (que o aluno não está vendo) cria uma barreira de abstração frequentemente intransponível para muitos alunos, pois o processo de “ação x reflexão” baseado apenas no desenho em papel permite um número pequeno de interações em função do tempo que o aluno leva na construção do desenho. Quanto mais vezes o aluno executar uma ação, obter um resultado e refletir sobre a relação entre ação e resultado, mais rapidamente ele vai construir o raciocínio espacial esperado na GD.

Além disto, o aluno pode desenhar duas vistas de um sólido no papel, que quando analisadas separadamente, parecem certas, mas quando relacionadas uma com a outra, podem conter erros conceituais que inviabilizam a existência do sólido tridimensional sendo representado. No entanto, é muito difícil para o aluno, por conta própria, refletir sobre este erro, porque o erro não fica explícito ao aluno, uma vez que ele trabalha apenas com as vistas 2D dos objetos. Na melhor das hipóteses, o professor tenta “mostrar” ao aluno (também através de desenhos) as consequências daquele projeto equivocado, mas cabe ao aluno “visualizar” (imaginar) o sólido tridimensional ou, o que ocorre com maior frequência, simplesmente seguir as instruções do professor e mudar o desenho (sem saber exatamente porque).

Estes problemas são recorrentes na prática de ensino em sala de aula das diferentes disciplinas que ensinam GD na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A

busca de soluções para estes problemas já vem acontecendo há bastante tempo dentro da Instituição com contribuições significativas para área. É importante destacar o trabalho de Borges, Barreto & Martins que publicaram uma obra que é referência para a disciplina e para a área de Desenho Técnico, “Noções de Geometria Descritiva: teoria e exercícios” (BORGES, BARRETO e MARTINS, 1990).

A partir do início do projeto “Reengenharia do Ensino de Engenharia” (REENGE) em 1997 na Escola de Engenharia da UFRGS, um projeto que buscava reestruturar os processos de ensino-aprendizagem dos cursos de Engenharia com a utilização de recursos computacionais e Tecnologias de Comunicação e Informação (TICs), o Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG) intensificou os estudos na melhoria do ensino da Expressão Gráfica.

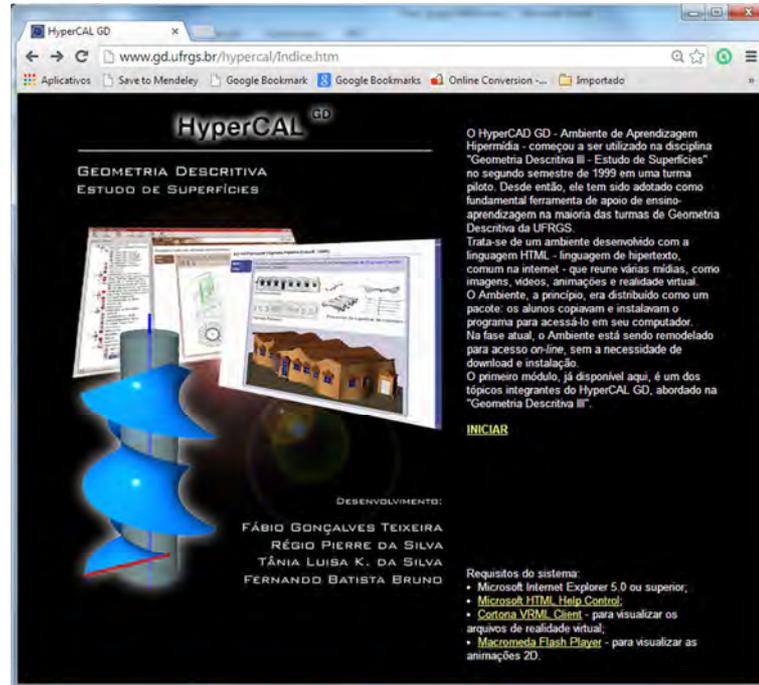
A dissertação de mestrado de Silva, T. (1999) se destaca neste período. O Trabalho investigou os diferentes estilos de aprendizagem dos alunos de engenharia utilizando uma pesquisa exploratória junto aos alunos da disciplina ARQ-03317 – Geometria Descritiva II do primeiro semestre de 1999. A pesquisa revelou que, apesar de certa homogeneidade, havia uma diversidade de tipos psicológicos e estilos de aprendizagem e considerou que um ambiente computacional utilizado para o ensino deveria contemplar os diferentes estilos de aprendizagem dos alunos.

Com a popularização da computação gráfica, em meados dos anos 90, onde computadores pessoais se tornaram capazes de produzir conteúdo virtual 3D (o que antes só era possível com estações gráficas), e com a implantação de um laboratório Informatizado para o ensino das disciplinas de Expressão Gráfica (viabilizado pelo projeto REENGE) se percebeu a potencialidade desta tecnologia no auxílio do ensino da GD. Motivados pelas possibilidades oferecidas pelo projeto, alguns professores do Departamento de Design e Expressão gráfica da UFRGS iniciaram um trabalho chamado HyperCAL<sup>GD</sup> (TEIXEIRA, SILVA e SILVA, 1999) (ainda utilizado), um ambiente virtual que, ao invés de usar desenhos para ilustrar uma situação tridimensional, passou a utilizar modelos virtuais tridimensionais permitindo que o aluno interagisse com o modelo, facilitando a visualização.

Estes modelos são acompanhados de animações bidimensionais, mostrando alguns dos processos de obtenção das respectivas épuras. Os modelos 3D foram codificados em VRML (Virtual Reality Modeling Language) e as animações foram feitas em Flash® (Adobe®). A

Figura 9 exibe a página inicial do ambiente de Aprendizagem Hipermídia – HyperCAL<sup>GD</sup> utilizado no estudo de superfícies na GD.

Figura 9: HyperCAL<sup>GD</sup>.



Fonte: Grupo de Pesquisa ViD-Virtual Design.

Os modelos 3D ilustram algumas das situações representadas na GD, como por exemplo, a interseção de planos com superfícies cilíndricas ou cônicas, mostrando as animações em 3D dos planos movendo-se através dos prismas, cilindros ou cones, realçando as linhas de interseção obtidas. Estes modelos em 3D, bem como suas animações, foram criados pelo autor desta pesquisa, na época como bolsista do projeto, ainda durante a graduação no curso de Arquitetura e Urbanismo. Em paralelo a estas animações em 3D, também são apresentadas animações em 2D, dos processos de obtenção em épura destas linhas de interseção.

A elaboração deste ambiente teve início em 1999, enfocando o Estudo de Superfícies Cinemáticas (TEIXEIRA, SILVA e SILVA, 1999), seguida em 2001 pela abordagem dos conceitos de Geometria Descritiva Básica no estudo do Ponto, da Reta e do Plano (JACQUES, AZEVEDO, *et al.*, 2001). Em 2003 os objetivos deste ambiente de aprendizagem estenderam-se além do ensino presencial, configurando-se também como ferramenta de Educação a Distância. O HyperCAL<sup>GD</sup> foi desenvolvido com a tecnologia *Html Help* utilizando o *software* de desenvolvimento com *Microsoft Html Help Workshop*® (WEXLER e FOSTER, 1998), que permite a navegação não linear, garantida pelo hipertexto e pela barra de navegação, apresenta todos os tópicos disponíveis de forma hierárquica, proporciona a cada

aluno, ou usuário, uma maneira própria, individualizada de acessar os dados contidos no documento eletrônico (SILVA, R. 2005).

De acordo com Teixeira *et al.* (2015), o HyperCAL<sup>GD</sup>, além de ferramenta de ensino-aprendizagem, foi utilizado como plataforma para pesquisas relacionadas ao ensino de Geometria Descritiva, incluindo uma dissertação de mestrado (SILVA, T. 1999) e uma tese de doutorado (SILVA, R. 2005).

Na referida Tese de Doutorado, R. Silva avaliou a metodologia de ensino da Geometria Descritiva segundo uma abordagem cognitivista a partir da utilização do ambiente hipermídia HyperCAL<sup>GD</sup>. A metodologia foi fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a qual considera como fator mais importante para a aprendizagem o conhecimento prévio do aluno. Além da reorganização do conteúdo programático, alteração dos procedimentos de ensino e seleção dos recursos didáticos da disciplina necessários a implementação da metodologia escolhida, foi realizado o experimento em um grupo da disciplina ARQ-03320 - Geometria Descritiva III e mantido o ensino tradicional em outro grupo de controle. Uma avaliação geral do experimento mostrou que a metodologia de ensino cognitivista fundamentada na teoria da aprendizagem significativa traz bons resultados, principalmente com relação à diferenciação de conceitos (SILVA, R. 2005).

As pesquisas continuaram e, entre 2002 e 2005, foi desenvolvido o HyperCAL on line, uma plataforma para educação a distância (EaD) que utilizava o conceito dos objetos de aprendizagem para a distribuição de conteúdo de forma flexível para atender aos diferentes estilos cognitivos dos usuários. Este trabalho foi desenvolvido em uma Tese de Doutorado (SILVA, T. 2005) e implementado no HyperCAL on line como um experimento da Tese gerando desde então outros quatro trabalhos de mestrado. (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2015).

Nesta Tese, T. Silva investigou como produzir materiais educacionais de forma dinâmica, oferecendo flexibilidade para se adaptar às características dos diferentes tipos de alunos e que pudesse ser utilizado tanto no ensino presencial quanto à distância. A implementação do protótipo de objetos de aprendizagem para a GD demonstrou bons resultados com relação à metodologia desenvolvida, comprovando sua exequibilidade (SILVA, T. 2005).

A partir destas experiências, foi desenvolvida uma nova abordagem para o ensino de Geometria Descritiva, a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) (TEIXEIRA, SILVA, *et*

*al.*, 2006). É uma abordagem centrada no aluno, procurando desenvolver a sua criatividade e a capacidade de resolver problemas a partir dos conceitos de Geometria Descritiva.

Diferente da abordagem tradicional, que trabalha apenas elementos geométricos simples como pontos, retas e planos, normalmente isolados de um contexto espacial, na nova abordagem todos os conceitos e projetos desenvolvidos envolvem o trabalho com sólidos (objetos mais complexos) e estes elementos simples são identificados nos sólidos como vértices, arestas e faces, assim as relações espaciais entre estes elementos se torna explícita, pela própria forma do sólido.

Esta mudança de abordagem implica o aumento da experiência concreta, reduzindo/eliminando a barreira de abstração, necessária para a aprendizagem de conceitos fundamentais e ao processo de reflexão. Ao trabalhar com sólidos, esta abordagem utiliza a memória visual do aluno, sua própria vivência em um mundo tridimensional e relaciona o conteúdo da disciplina com a futura prática de projeto (edifícios, objetos, estruturas, etc.). A metodologia proposta vem sendo utilizada em todas as turmas de Arquitetura, de Design e na maioria das turmas dos cursos de Engenharia da UFRGS com grande sucesso (TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R.P., 2006).

A metodologia ABP, criada propõe um ciclo de aprendizagem onde o aluno passa por varias etapas (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2007):

- Projeto do sólido – a geometria da peça é criada a partir de restrições iniciais de projeto (dimensões máximas ou mínimas, tipos de planos, tipos de retas, número máximo ou mínimo de vértices, temática, uso de blocos básicos de construção, etc.) que pode ser criado por meio de esboços.
- Representação em *épura* do modelo - a partir das coordenadas do modelo obtidas na fase de projeto, os alunos representam a peça no papel a partir de suas vistas.
- Modelo virtual (Realidade Virtual)– a partir das coordenadas do modelo obtidas na fase de projeto, o aluno pode criar e visualizar o modelo em 3D e suas vistas em 2D, com um programa específico para a GD, corrigindo o desenho em *épura* ou as coordenadas do modelo, se necessário.
- Modificação do modelo - utilizando-se as ferramentas de GD como MSR (Mudança do Sistema de Referência é um processo gráfico), interseções, distância, etc. o aluno

pode alterar a forma inicial do sólido, mudando conseqüentemente a éþura e o modelo virtual.

- Perspectivas da peça - usando as mesmas ferramentas, podem-se obter, em éþura, perspectivas axonométricas, que podem ser também comparadas com as perspectivas obtidas no modelo virtual.

Este processo cíclico reforça a relação entre representação, modelo 3D, e suas respectivas alterações, permitindo que aluno possa reiteradamente recorrer ao modelo virtual para comparar os resultados obtidos no desenho bidimensional.

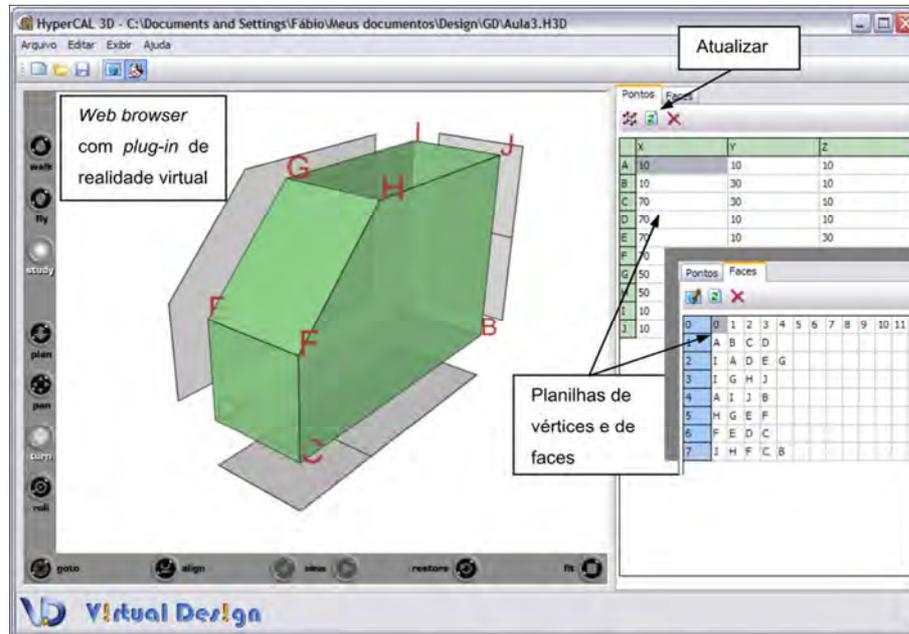
Para viabilizar essa abordagem, foi desenvolvido o *software* HyperCAL<sup>3D</sup>, que utiliza a tecnologia da realidade virtual para visualizar modelos tridimensionais (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2007). O HyperCAL<sup>3D</sup> foi criado inicialmente utilizando a tecnologia VRML (AMES, NADEAU e MORELAND, 1997), essencialmente para permitir a visualização dos modelos criados pelos alunos em um ambiente virtual tridimensional.

Como a Geometria Descritiva frequentemente está posicionada nos primeiros semestres dos cursos de graduação da UFRGS, foi necessária a criação de um programa que trabalhasse com a modelagem virtual tridimensional, já introduzindo a computação gráfica que seria trabalhada nas disciplinas técnicas ao longo dos cursos (desenho técnico, computação gráfica com sistemas CAD, CAE, CAM, entre outras), mas sem acrescentar a complexidade associada a estes sistemas. É um programa simples, de fácil utilização e fácil aprendizagem, com foco nas necessidades específicas da GD sem a adição de funcionalidades desnecessárias à disciplina.

Essa primeira versão do programa permitia que os alunos entrassem com as coordenadas cartesianas dos pontos (x,y e z) e inserissem as informações de conectividades das faces (quais vértices pertencem a cada face); a partir destas informações, os alunos podiam visualizar o modelo virtual em 3D, permitindo o movimento de câmara, efeitos de zoom, visualização dos pontos, arestas e faces, facilitando o entendimento do modelo 3D sendo estudado. A tecnologia VRML, embora inovadora para a época, permitia uma interação limitada com o modelo sem a possibilidade de seleção dos elementos (como faces e arestas do sólido), era mais focada na visualização 3D.

A Figura 10 mostra a interface original do HyperCAL<sup>3D</sup>, ainda utilizando a tecnologia VRML, a qual permitia uma boa visualização do modelo, mas era limitada quanto a interação com os elementos do sólido 3D (faces, arestas e vértices).

Figura 10: Interface original do HyperCAL<sup>3D</sup>, usando a tecnologia VRML.



Fonte: (TEIXEIRA, SILVA, et al., 2007).

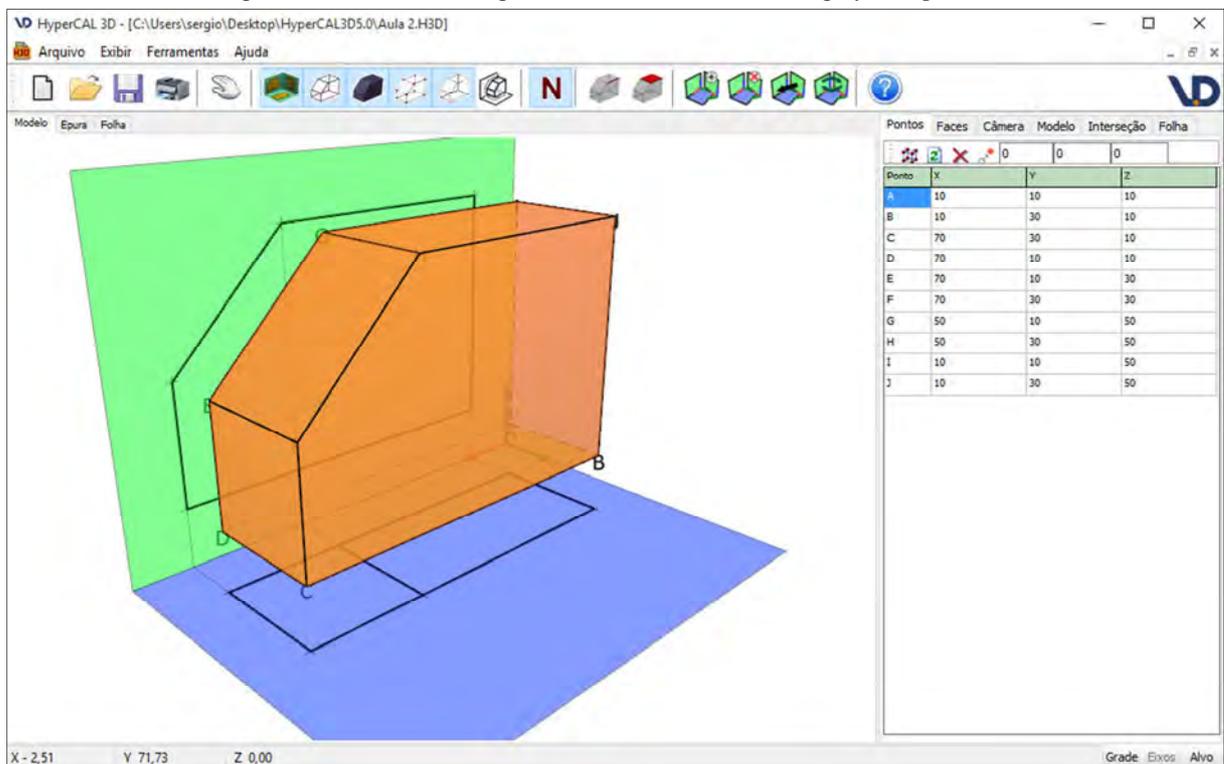
Foi a partir da utilização da biblioteca gráfica OpenGL (G., RICHARD S. WRIGHT e HAEMEL, 2013) que o desenvolvimento do HyperCAL<sup>3D</sup> ganhou novas possibilidades (TEIXEIRA, 2010). A utilização desta biblioteca gráfica fez com que o programa fosse reestruturado internamente e uma nova versão foi desenvolvida para utilizar todo o potencial desta ferramenta. A nova versão do programa permitiu a modelagem e manipulação dos sólidos que foi além da simples visualização do modelo, possibilitando também a seleção de elementos, aumentando as possibilidades de interação e, conseqüentemente, o escopo de utilização do programa.

Logo nas primeiras versões do programa com a biblioteca OpenGL, o HyperCAL<sup>3D</sup> já passou a permitir que arestas e faces fossem selecionadas pelo usuário destacando-as no modelo através do uso de cores diferentes (TEIXEIRA, 2010). A próxima etapa foi permitir que estes objetos fossem totalmente isolados, desligando a visualização de todo o resto do modelo. Ao longo do seu desenvolvimento foram sendo implementadas novas funções, considerando as sugestões dos professores e alunos na medida em que vinha sendo utilizado nas turmas, tais como:

- Os planos de projeção principais (horizontal e frontal) foram representados com suas respectivas projeções;
- A criação (e eliminação) de planos auxiliares de projeção a partir dos planos já existentes;
- A representação de linhas visíveis e invisíveis, tanto no modelo 3D quanto nas projeções;
- A representação em épura do modelo através do rebatimento dos planos de projeção;
- A representação dos nomes dos pontos tanto no modelo quanto na épura (com os respectivos índices);
- Identificação da interseção de planos com o sólido, entre outros.

A Figura 11 mostra a interface do programa implementada com a biblioteca gráfica OpenGL, já com diversas outras ferramentas criadas em comparação a imagem anterior (Figura 10). Todas estas ferramentas se tornaram mais fáceis de serem implementadas graças a esta tecnologia.

Figura 11: Versão do Programa utilizando a biblioteca gráfica OpenGL.



Fonte: O Autor.

No contexto da metodologia de Aprendizagem baseada em projetos, onde o aluno trabalha os conceitos da disciplina em diferentes etapas cíclicas, desde a criação do modelo, passando pela representação (2D e 3D) e posteriores modificações do modelo, o HyperCAL<sup>3D</sup> passou a ter um papel mais importante neste processo do que o da simples visualização 3D, propósito inicial do programa (TEIXEIRA e SANTOS, 2013).

Para que o aluno possa usufruir plenamente do potencial da metodologia de Aprendizagem baseada em projetos, é fundamental que ele possa interagir com os objetos de estudo de maneira dinâmica. Esta possibilidade de interação já é contemplada pelo programa no modelo 3D virtual, através da seleção de elementos, mas para que o ciclo seja completo, esta possibilidade deve acontecer também nas projeções do modelo, com reciprocidade total entre 2D e 3D.

Com o auxílio de um *software* que ofereça um ambiente bidimensional interativo (tanto quanto o ambiente 3D), o aluno pode executar ações, observar os resultados obtidos a partir delas e, por fim, refletir e estabelecer as relações espaciais entre o objeto e suas representações, participando efetivamente da construção do seu conhecimento.

Para que o programa possa atingir este potencial de representação biunívoca do modelo é necessária uma expansão da estrutura de classes do programa. Internamente, a representação dos objetos (pontos, linhas, faces, sólidos, planos de projeção, linhas projetantes, etc.) deve contemplar o modelo tridimensional e suas projeções, de um modo em que estejam relacionados em ambos os sentidos, ou seja, selecionando um aresta projetada, seja possível reconhecer no modelo 3D a aresta selecionada e selecionando no modelo 3D uma face, seja possível reconhecer suas respectivas representações nos diversos planos de projeção. Atualmente, a estrutura de classes já contempla esta conexão entre os elementos 3D e suas representações 2D, no entanto a interação com os elementos do modelo só é possível na interface 3D. Na interface 2D, apenas é possível visualizar os resultados, mas ainda não é possível interagir com os objetos.

Tão importante quanto uma estrutura de classes que permita estas diferentes representações, também é importante uma interface que permita a interação com os elementos geométricos de maneira a viabilizar o uso do programa na GD, considerando, portanto, as necessidades e métodos utilizados pelos alunos e professores com relação à prática da Geometria Descritiva. Deve-se investigar o processo de interação necessário para que o

*software* possa fazer parte desta prática proporcionando ao aluno uma experiência educacional construtiva e produtiva.

Considerando o conhecimento prévio dos alunos na utilização da Tecnologia da Informação, a posição da disciplina nos semestres iniciais dos cursos e a necessidade de uma interação simples, sem a adição de complexidades ou conteúdos externos à GD, o Design de Interação é fundamental para que a boa usabilidade do programa seja assegurada e auxilie o processo de Ensino/Aprendizagem.

Assim, os problemas encontrados em sala de aula, apontados anteriormente, já foram parcialmente trabalhados por sucessivas iniciativas, como o uso de ilustrações dinâmicas (realidade virtual), mudança de metodologia (abordagem baseada em projeto) e uso de um programa que permite a modelagem do objeto em 3D sem a complexidade de um sistema CAD.

No entanto, novos desafios ainda pedem uma ação: um programa que permita a relação biunívoca entre as diversas representações bidimensionais do modelo e sua forma tridimensional, permitindo que qualquer interação (ou mesmo alteração) em 2D tenha uma correspondência no modelo em 3D em tempo real e vice-versa para auxiliar na representação e compreensão espacial tridimensional.

Para o desenvolvimento de um programa que permita esta interação, é necessário que a estrutura de dados dos elementos geométricos trabalhados seja robusta o bastante para gerenciar as mudanças e detectar inconsistências. Além disto, a interatividade do sistema é fundamental para que o usuário possa analisar suas ações e as consequências delas enquanto as realiza, redefinindo-as (se necessário) ou confirmando-as conforme os resultados mostrados em tempo real.

## **1.2 DEMARCAÇÃO DO NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO DO FENÔMENO**

Considerado o contexto do ensino de Geometria Descritiva na UFRGS e a metodologia de ensino utilizada (Aprendizagem Baseada em Projetos) que usa o programa HyperCAL<sup>3D</sup> como ferramenta de ensino/aprendizagem, a intervenção na pesquisa a que este trabalho se propõe fica delimitada em níveis relacionados entre si:

- A estrutura de classes do programa HyperCAL<sup>3D</sup> que permita a representação de objetos geométricos em 3D e 2D (vértices, arestas, faces, sólidos, etc.), estabelecendo uma relação biunívoca entre as diferentes representações;
- A Interface deste *software* que permita a interação sobre as diferentes representações dos objetos considerando a usabilidade para uso no ensino de geometria descritiva;
- O Grau de intervenção nesta interface com foco nas operações Descritivas (mudança do sistema de referencia) e seleção de objetos.

No HyperCAL<sup>3D</sup>, a criação de objetos (pontos, arestas e faces) é realizada fora do ambiente gráfico, através da inserção de coordenadas e conectividades nas respectivas tabelas e não faz parte das ferramentas a serem implementadas no programa.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Como o Design de Interação, através do projeto de uma interface de um *software* educacional, pode contribuir para o estudo da Geometria Descritiva, explicitando suas operações gráficas em tempo real?

### 1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA

Através do Design de Interação com foco na usabilidade, é possível projetar uma interface para um *software* de ensino de Geometria Descritiva que relacione as operações gráficas nos ambientes 2D e 3D de maneira biunívoca e interativa (em tempo real), compatível com o modo de trabalho gráfico da Geometria Descritiva e seus métodos descritivos realizados pelos alunos utilizando instrumentos convencionais de desenho.

### 1.5 OBJETIVO GERAL

Desenvolver a interface bidimensional do *software* para o ensino da Geometria Descritiva HyperCAL<sup>3D</sup> fazendo com que os ambientes 2D e 3D estejam relacionados de maneira biunívoca permitindo a interatividade e exibindo em tempo real as operações gráficas feitas tanto no modelo 3D como nas suas representações 2D para contribuir para o estudo da Geometria Descritiva.

### 1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender a Estrutura de classes já implementada no programa, planejar e executar as mudanças necessárias para a representação biunívoca dos objetos ( $3D \Leftrightarrow 2D$ );
- Estudar os modelos existentes de interação homem-computador no contexto do desenho para identificar o mais adequado às necessidades da GD;
- Analisar os requisitos de usabilidade pertinentes à interface para o caso específico de um *software* para GD.
- Desenvolver e avaliar a interface bidimensional voltada à usabilidade e interatividade.

### 1.6 JUSTIFICATIVA

O estudo da Geometria Descritiva requer um pensamento lógico e desenhos complexos aplicados à resolução de problemas espaciais através de operações gráficas simples. O aluno deve planejar uma sequência de traçados (operações gráficas) em uma ordem adequada à obtenção da solução. Para chegar onde se quer é necessário analisar o problema, traçar um plano de ação e representá-lo graficamente, em outras palavras, é necessário projetar. Este trabalho exige, além do pensamento abstrato, muita atenção e concentração. A associação do “pensar” antes do “fazer” e a obtenção de um resultado concreto (a solução gráfica do problema), além de estimular o aluno a dar passos mais ousados e complexos é uma competência fundamental na educação de futuros Arquitetos, Engenheiros e Designers.

A GD habilita o aluno a interpretar uma figura geométrica como a representação de um objeto tridimensional, este é um pensamento abstrato de alta complexidade que o torna capaz de projetar e entender projetos produzidos por outros profissionais. Também é através dela que se consegue imaginar um objeto, representa-lo, pensar em alterações que melhorem a sua forma ou a relação entre os seus elementos.

Desde a criação da GD até os dias de hoje, o principal meio de representação dos objetos gráficos era o desenho no papel com o uso de instrumentos de precisão: lápis, régua, esquadros, compasso, entre outros. O desenvolvimento tecnológico do último século, mais especificamente das últimas décadas, tem impulsionado mudanças significativas na sociedade em todos os níveis, é a era Digital.

A geração atual dos alunos de graduação já nasceu e cresceu em meio à tecnologia, a chamada Geração Digital. Computadores, telefones celulares (*smartphones*), câmeras digitais, *Tablets*, *videogames*, eletrodomésticos digitais fazem parte do nosso dia-a-dia. O próprio ensino já vem constantemente se adaptando através o uso de plataformas de ensino à distância, projeto auxiliado por Computador (CAD), apresentações multimídia, blogs de disciplinas, grupos de estudos em redes sociais, materiais em mídias digitais (PDF), entre outros.

A Tecnologia da Informação (TI) permitiu que as pessoas se transformassem de meros expectadores em criadores de conteúdos. Esta mudança aparece na sociedade nos mais diversos níveis: no entretenimento, no trabalho, nas relações sociais e também no ensino.

O método tradicional de ensino da Geometria Descritiva (transmissão do conhecimento) é anterior às teorias vigentes de ensino (construção do conhecimento: Construtivismo, Construcionismo, *Problem Based Learning* ou Aprendizagem Baseada em Problemas) e precisa ser revisado. De acordo com Freire (1999) o professor deve saber que “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção”.

O método Mongeano da GD relaciona duas ou mais projeções bidimensionais (XY e XZ) para representar objetos em um espaço tridimensional (X,Y e Z). No ensino tradicional da GD, o aluno e o professor trabalham apenas com os desenhos 2D, estudando a relação entre objetos em um espaço tridimensional. Este método exige, naturalmente, um grau de abstração muito grande para a compreensão e conseqüente manipulação destes objetos no espaço. Este grau de abstração é frequentemente inalcançável pra muitos alunos, tanto pelo tempo exíguo em que a disciplina pode ser trabalhada como pela imaterialidade dos objetos e conceitos envolvidos.

Neste contexto, o uso da TI em sala de aula pode tornar o aprendizado de GD mais interessante para esta geração digital, permitindo que o aluno participe do processo, construindo modelos virtuais, representando estes modelos no papel e estabelecendo as relações entre eles de maneira dinâmica. Os desenhos utilizados em GD são complexos e demandam muito tempo para sua execução. Desta forma o aluno pode, durante uma aula, resolver apenas um ou dois exercícios que ilustram um determinado conceito. Quanto mais ele puder exercitar aquele conceito, mais fácil será seu aprendizado. O uso de um *software* e arquivos digitais também facilita a troca de informações entre alunos e entre esses e os professores, fora do âmbito da sala-de-aula, para reforçar o aprendizado.

Há que se considerar ainda que a GD é base da representação do projeto e que, nos currículos aos quais pertence, normalmente está posicionada nos semestres iniciais dos cursos de graduação. Um *software* desenvolvido para a GD tem também a função de fazer a transição entre o projeto bidimensional no papel (importante nas fases iniciais dos cursos – iniciação criativa, técnica e cultural) e o projeto Virtual em *softwares* CAD (importante para todo o curso e prática profissional), podendo assim, introduzir o uso do computador no projeto, auxiliando a visualização e a compreensão do objeto em estudo, sem a complexidade dos sistemas CAD que demandam um raciocínio espacial bem estruturado, um domínio dos processos de criação volumétricos utilizados em Computação Gráfica e tem uma curva de aprendizado muito íngreme.

A implementação do método mongeano em um *software* interativo pode aumentar o número de iterações nas ações dos alunos, e das reflexões feitas por eles sobre os resultados obtidos, facilitando a compreensão das regras do método a partir da observação do comportamento dos objetos virtuais quando modificados interativamente, sem a complexidade imposta pelos sistemas CAD utilizados posteriormente nos cursos. A TI tem o potencial de atender plenamente a necessidade de diminuir a barreira da abstração da disciplina entre a aplicação do método e visualização dos resultados.

Desta forma existe um hiato (*Gap*) a ser preenchido no processo de transposição da Geometria Descritiva de forma a aproximar a disciplina da realidade dos alunos da era Digital, o que torna este trabalho relevante na pesquisa na área da educação do Design. Do ponto de vista científico, o trabalho aborda questões (representação biunívoca de objetos e interatividade) que ainda não foram estudados em *softwares* de ensino de Geometria Descritiva, ressaltando sua importância científica e seu caráter inovador.

Ressalta-se ainda sua importância para os cursos que trabalham com projeto (Design, Arquitetura e Engenharias) onde a própria metodologia de ensino e suas ferramentas (*software* e métodos descritivos) introduzem e refletem a prática de projeto em sala de aula já nas disciplinas introdutórias dos cursos, como a Geometria Descritiva.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento deste trabalho, é necessária uma concisa revisão histórica da **Geometria Descritiva**, bem como seus princípios básicos e principais conceitos a serem aprendidos pelos alunos. Considerando a interatividade necessária ao sucesso da interface bidimensional proposta, é importante que se revise o **Design de Interação**, seus princípios e os métodos pertinentes à solução do problema em estudo, especialmente no que se refere a **Usabilidade**, elemento fundamental do Design de interação.

É necessário também um estudo dos métodos utilizados no **Processo de desenvolvimento de Software**, com suas características e aplicações, especialmente os métodos ágeis que se adequam melhor as necessidades deste projeto e, assim aplicá-los.

### 2.1 A GEOMETRIA DESCRITIVA

O desenho técnico moderno, arquitetônico, mecânico e topográfico tem por base os conceitos da Geometria Descritiva. Neste item, é apresentado um sucinto **Histórico** da Geometria Descritiva contextualizando seu surgimento em termos geográficos e temporais. Serão abordadas as **Características Principais** do Método Mongeano e quais **Conceitos são ensinados atualmente no currículo** da graduação na UFRGS.

#### 2.1.1 HISTÓRICO DE GASPARD MONGE E O NASCIMENTO DA GEOMETRIA DESCRITIVA

A representação do objeto a ser construído por meio de projeto já era um conceito abordado intuitivamente desde a antiguidade. No entanto, foi através da Geometria Descritiva que esta representação adotou um caráter científico, baseada no método e no raciocínio lógico. O surgimento da Geometria Descritiva (GD) está situado em um contexto histórico do final Iluminismo e início da Revolução Industrial, em plena Revolução Francesa. A GD foi concebida pelo Matemático Francês Gaspard Monge (1746-1818) quando este era desenhista e, posteriormente professor na “École Militaire de Mézieres” entre 1765 e 1789 (STRUICK, 1992 *apud* SILVA, R. 2005, p.81).

Em Beaune, França, no dia 10 de maio de 1746 nasceu Gaspard Monge. Filho de um afiador ambulante que valorizava a educação. Ele foi enviado com seus dois irmãos para a escola local de ordem Religiosa. Todos foram ótimos estudantes, mas Gaspard Monge se destacou como um prodígio em todas as disciplinas alcançando a máxima distinção, a ponto

de ver depois de seu nome a qualificação “*peur aureus*”, do latim “Menino de Ouro” (BELL, 1948).

Aos 14 anos construiu um equipamento de bombeiros que deixou admirados professores e colegas. Era um geômetra e engenheiro inato, com um dom para representar mentalmente as relações espaciais. Os professores de Monge o recomendaram para ensinar Física no Colégio de Lyon (pertencente a mesma ordem religiosa), onde foi nomeado aos 16 anos (BELL, 1948).

De volta a sua cidade Natal, já aos 16 anos, fez por iniciativa própria um mapa da cidade, construindo ele mesmo os instrumentos necessários para este fim. Esse trabalho foi examinado por um Engenheiro Militar que o recomendou para trabalhar como desenhista na Escola Militar de Méziers. Monge aceitou prontamente e viajou para Méziers. Uma parte importante do curso de formação de oficiais engenheiros se referia a Teoria das fortificações, e um dos problemas a serem resolvidos era como organizar o canteiro de obras de forma a não deixar os trabalhos expostos ao fogo inimigo. Os cálculos usuais exigiam operações aritméticas intermináveis (BELL, 1948).

Em 1763, Monge apresentou a solução a um problema deste tipo e entregou ao seu oficial superior para que comprovasse a sua abordagem (BELL, 1985). O oficial, inicialmente, se recusou a examiná-la alegando que seria impossível solucionar o problema em tão pouco tempo. Monge insistiu para que sua abordagem fosse examinada, pois não havia utilizado a Aritmética para resolver o problema. Sua tenacidade venceu e a solução foi comprovada como correta.

Foi o nascimento da Geometria Descritiva. Seu método de Dupla Projeção Ortogonal revolucionara a solução de problemas espaciais e foi guardado como segredo Militar por cerca de trinta anos, ensinado apenas aos oficiais da escola Militar. Depois disto, Monge foi convidado a ser professor de Matemática desta Escola e, posteriormente, acumulou o cargo de professor de Física. Apenas em 1794, quando a *École Polytechnique* foi fundada (depois da revolução Francesa) é que Monge pode ensinar seu método abertamente. No ano seguinte, o curso também foi ministrado na *École Normale*. Ao assistir a demonstração do método na *École Normale*, Joseph Louis Lagrange, seu colega professor em ambas as escolas disse: - “Antes de ouvi-lo, eu não imaginava que já soubesse Geometria Descritiva” (BELL, 1948).

Foi somente em 1798 que Monge publicou sua teoria de representação, compilada a partir de seus cursos, no livro “Géométrie Descriptive” (MONGE, 1798). A GD era de extrema importância para o país (França) naquele momento, conforme o próprio autor enfatiza já no primeiro parágrafo do seu programa:

*“Para tirar a nação francesa da dependência da indústria estrangeira em que esteve até agora, devemos primeiro direcionar a educação nacional, para o conhecimento de objetos que exigem a precisão, totalmente negligenciado até à data, e habituar as mãos dos nossos artistas na utilização de instrumentos de todos os tipos que são usados para levar a precisão ao trabalho [...]” (Tradução Livre)<sup>9</sup>.*

Gaspard Monge influenciou os matemáticos, físicos e químicos de sua época. Na Matemática, fez contribuições significativas no desenvolvimento das Equações Diferenciais e na Geometria Analítica espacial (BOYER, 1974). No entanto, a GD estava tão bem resolvida que não despertou o interesse dos matemáticos, sua verdadeira importância era tecnológica. Sem o método criado por Monge, a engenharia do século 19 teria se desenvolvido muito mais lentamente (BELL, 1992).

A simplicidade do esquema de representação de Monge facilitou a visualização das relações espaciais e proporcionou uma linguagem gráfica uniforme para resolver problemas complexos, como a curva de interseção entre duas ou mais superfícies (BELL, 1992).

O método Mongeano ensinado inicialmente tinha um alcance mais amplo, tanto no lado puro quanto aplicado, do que é usual atualmente. O curso incluía o estudo das sombras, perspectiva e topografia, estudava as propriedades das superfícies incluindo retas normais e planos tangentes e abordava também a teoria das máquinas. Entre os problemas propostos por Monge, por exemplo, estava a determinação da interseção entre superfícies curvas e a determinação de um ponto no espaço equidistante de quatro retas (BOYER, 1974). Os princípios do método de Gaspard Monge e os conceitos utilizados nos currículos atuais são apresentados a seguir.

---

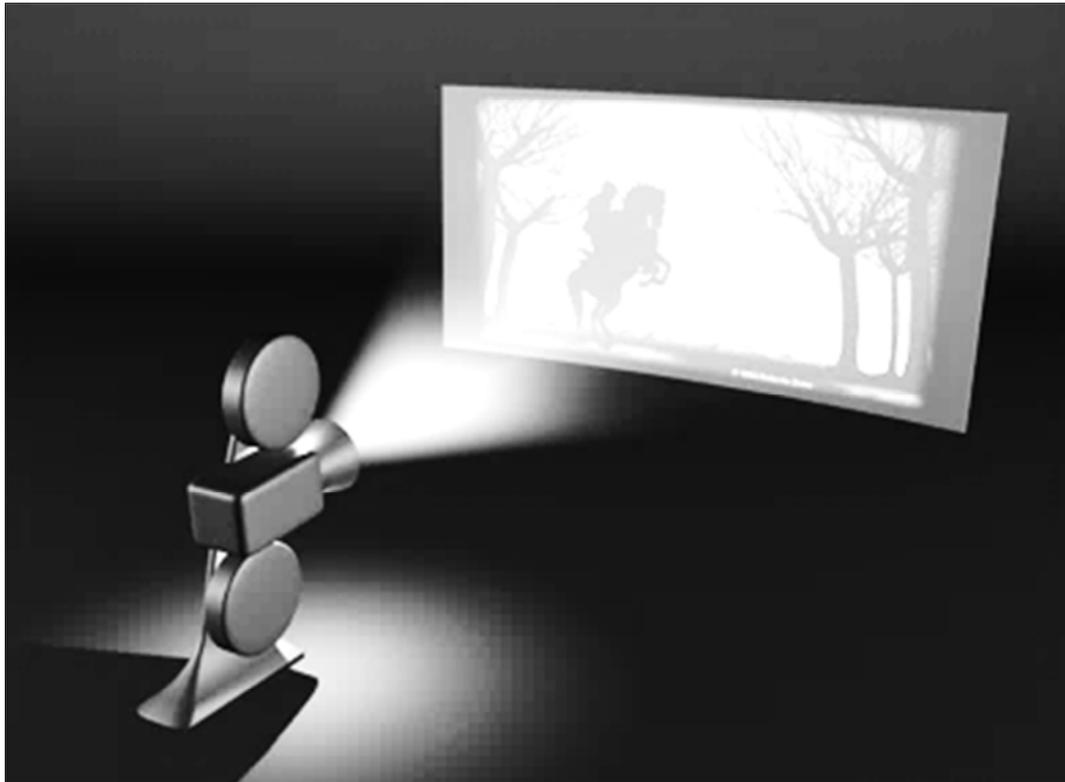
<sup>9</sup> *Pour tirer la nation française de la dépendance où elle a été jusqu'à présent de l'industrie étrangère, il faut, premièrement, diriger l'éducation nationale vers la connaissance des objets qui exigent de l'exactitude ce qui a été totalement négligé jusqu'à ce jour, et accoutumer les mains de nos artistes au maniement des instrumens de tous les genres, qui servent à porter la précision dans les travaux [...]*

### 2.1.2 PRINCÍPIOS BÁSICOS

A Geometria Descritiva pode representar e descrever a volumetria de peças, produtos e edificações para permitir seu estudo e projeto, bem como permitir a comunicação inequívoca das intenções formais de projeto entre os diversos profissionais envolvidos em sua construção/produção.

A representação do mundo tridimensional através de projeções em superfícies é um processo natural ao ser humano, um exemplo disto é o próprio olho humano, onde a luz refletida de um objeto é projetada sobre a retina formando uma imagem; outro exemplo são as primeiras pinturas rupestres onde o homem pintava o contorno da própria mão (TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R.P., 2006).

Figura 12: Projeção de *um filme*.



Fonte: <http://help.autodesk.com/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/images/GUID-B549375C-980C-405A-9223-7B228F74BE4B.png>

Mais recentemente, câmeras fotográficas e projetores em geral são exemplos que utilizam os mesmos princípios de projeção. Analisando-se os sistemas projetivos, podem ser identificados os elementos que o compõem. Na .

*Figura 12* os seguintes elementos são destacados:

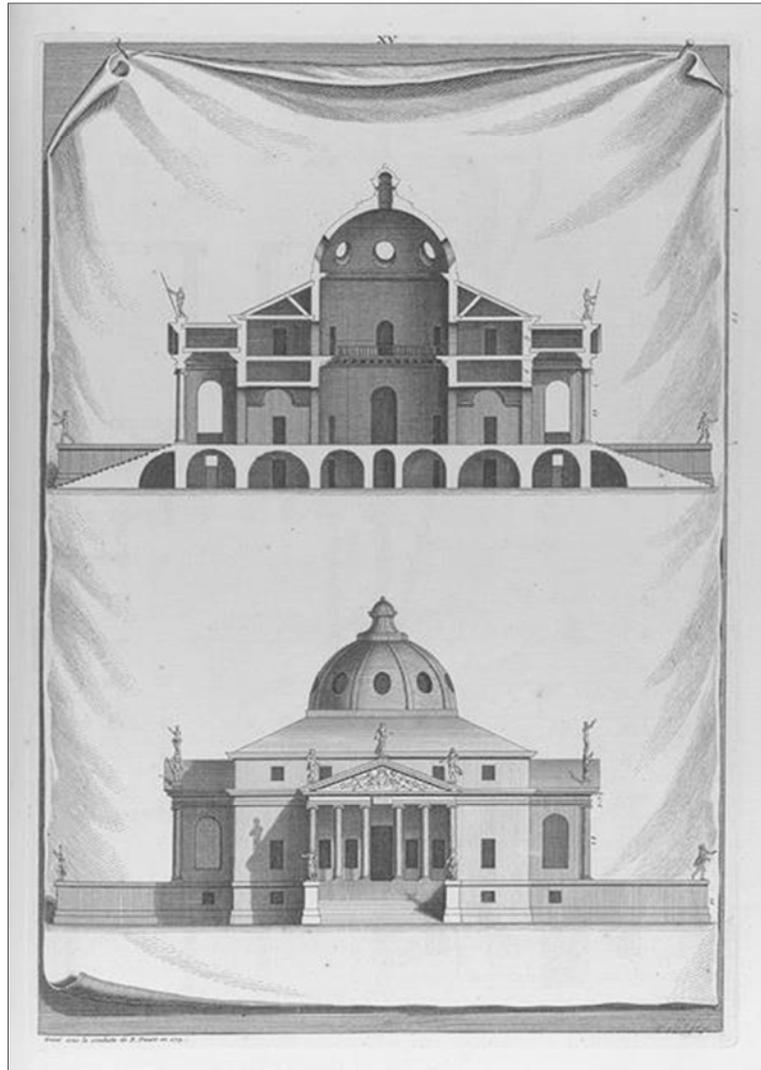
- A lâmpada do projetor é o **centro de projeção**, ponto do qual parte um feixe de luz que formará a imagem;
- Os raios de luz que formam este feixe são as **retas projetantes**, que formam, neste caso, um cone de projeção (existe um ângulo entre as retas);
- A imagem gravada em cada um dos quadros da película (filme) é o **objeto** a ser representado;
- A tela (superfície) onde o filme é projetado é denominada de **plano de projeção**;
- Por fim, considera-se ainda a própria imagem projetada sobre a tela, que é a **projeção do objeto**.

A partir da posição relativa destes elementos, podem-se classificar os sistemas de projeção em dois tipos básicos: Sistema de projeção Cônico e Sistema de projeção cilíndrico. O sistema de projeção Cônico (onde as retas projetantes formam um ângulo entre si) resulta na imagem mais natural, porque a visão humana também se baseia neste mesmo sistema. No entanto, as distorções geradas na imagem projetada resultantes deste tipo de sistema dificultam a sua utilização para comunicar os projetos com exatidão, podendo gerar erros de interpretação. Arestas que são paralelas no objeto tridimensional formam um ângulo entre si (em direção ao ponto de fuga), ou ainda, dimensões iguais no objeto aparecem maiores ou menores conforme à distância do observador, arestas mais próximas aparecem maiores que arestas mais distantes, ainda que tenham a mesma dimensão (TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R.P., 2006).

O sistema de projeção Cilíndrico, que considera o centro de projeção no infinito tornando as retas projetantes paralelas entre si (como a luz do sol, por exemplo), já diminui estes problemas, especialmente quando as retas projetantes são perpendiculares ao plano de projeção (sistema cilíndrico ortogonal), reduzindo as variáveis do problema projetivo a apenas uma: a posição do objeto em relação ao plano de projeção.

Foi com a utilização do sistema cilíndrico ortogonal nos projetos que permitiu que um desenho representasse não apenas a intenção formal do projetista, mas também as proporções dimensionais do objeto, ou seja, era possível medir os desenhos e realizar o projeto em escala a partir dele. O sistema de projeção cilíndrico Ortogonal é o sistema utilizado na Geometria Descritiva e no Desenho técnico. A Figura 13 mostra um projeto baseado neste sistema.

Figura 13: Projeto da Villa Rotonda, por Andrea Palladio, publicado em 1715.



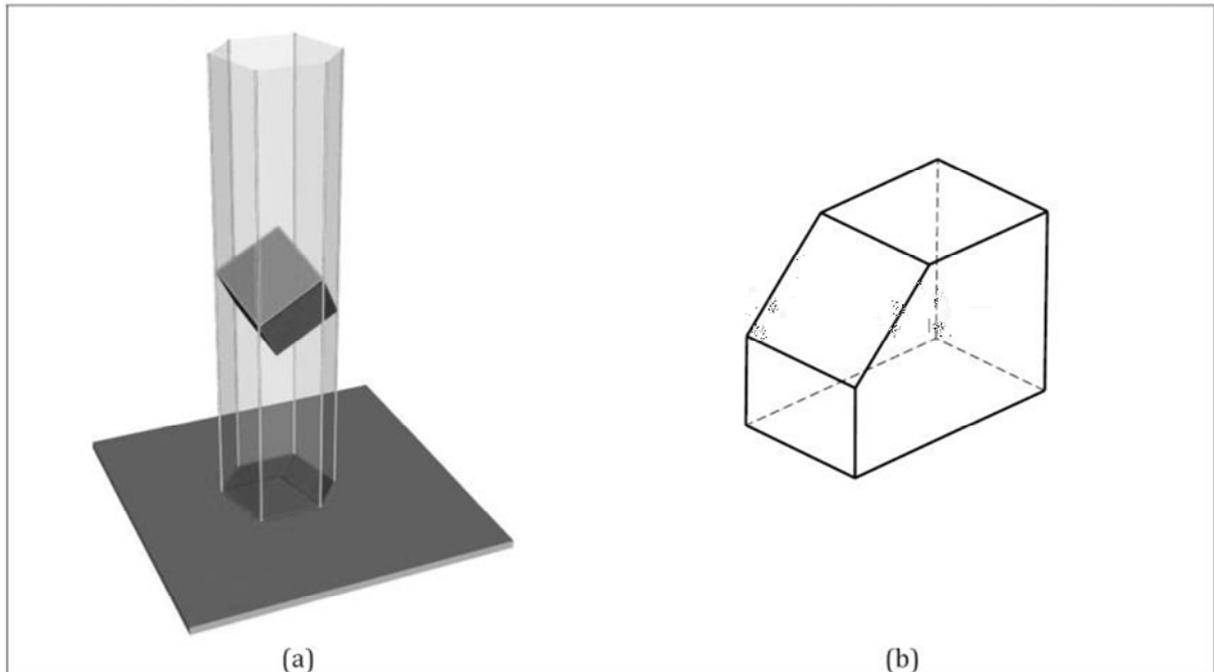
Fonte: (PALLADIO, 2000)

#### 2.1.2.1 PROJEÇÃO CILÍNDRICA ORTOGONAL

Em um Sistema de Projeção Cilíndrico Ortogonal as retas projetantes são perpendiculares ao plano de projeção (Figura 14-a) com que a única distorção nas projeções das faces e arestas do objeto aconteça em função do ângulo que estas fazem com o plano de projeção, quanto maior o ângulo, maior a redução da projeção em relação ao seu tamanho original. Quanto menor o ângulo, menor a distorção e mais a projeção se aproxima do tamanho real do objeto projetado. Uma projeção nunca é maior que o objeto projetado, e suas reduções são proporcionais aos ângulos formados pelos elementos (arestas e faces) com o plano de projeção. Como a distorção é diretamente proporcional ao ângulo dos objetos, ela pode ser definida por equações matemáticas com precisão. Por esta razão, este sistema é a base utilizada para a Geometria Descritiva e Desenho técnico, duas áreas onde a precisão é fundamental. Quando os ângulos dos eixos principais do objeto são iguais em relação ao

plano de projeção, obtém-se a chamada perspectiva isométrica, um tipo específico de perspectiva axonométrica muito utilizada no desenho técnico por apresentar reduções iguais nas três principais direções do objeto (Figura 14-b). (TEIXEIRA, F. G.;SILVA, R.P., 2006)

Figura 14: (a) Retas projetantes formam  $90^\circ$  com o plano de projeção.  
(b) Perspectiva Axonométrica do objeto.



Fonte: (TEIXEIRA, F. G.;SILVA, R.P., 2006).

#### 2.1.2.2 TIPOS DE PROJEÇÃO (VG, REDUZIDA E ACUMULADA)

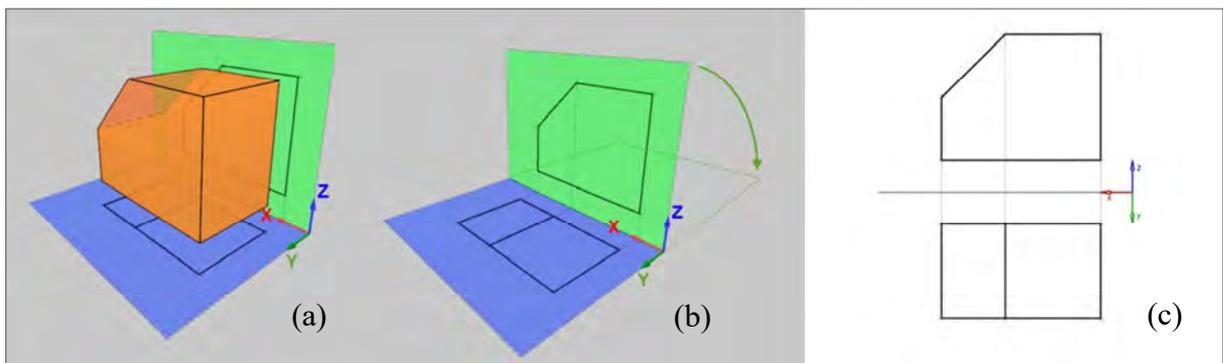
Como a proporção das projeções das faces e arestas (elemento) do objeto tem uma relação direta com o ângulo formado com o plano de projeção, podem-se obter três tipos de projeção:

- **Verdadeira Grandeza (VG):** Quando o elemento está **paralelo** ao plano de projeção, a sua projeção tem o mesmo tamanho do objeto, ou seja, não sofre redução;
- **Projeção reduzida:** Quando o elemento forma um ângulo qualquer em relação ao plano de projeção sua projeção sofre uma redução de acordo com o ângulo. Quanto maior o ângulo, mais reduzida é a projeção;
- **Projeção Acumulada:** Quando o ângulo forma  $90^\circ$  com o plano de projeção (perpendicular ao plano) sua projeção fica acumulada, se reduz ao mínimo. Se for uma face, a projeção fica acumulada em uma única linha, se for uma aresta, a projeção fica acumulada em um único ponto.

### 2.1.2.3 SISTEMA DE DUPLA PROJEÇÃO

O sistema Mongeano de Dupla Projeção relaciona dois planos de projeção perpendiculares entre si através da linha de interseção entre eles, chamada de Linha de Terra. Considera-se a Linha de Terra como o sendo o eixo “X” de um sistema de coordenadas cartesiano, os outros dois eixos deste sistema (Y e Z) partem da origem, cada um pertencendo a um dos planos de projeção (plano horizontal e plano frontal). Assim, as três dimensões de um objeto podem ser representadas através destes dois planos relacionados pelo eixo X, na vista Horizontal a projeção do objeto considera as dimensões XY e na vista Frontal as dimensões XZ. A Figura 15 mostra o diedro tridimensional (a) com o sistema de referencia cartesiano, o processo de rebatimento (b) do plano frontal até que fique coplanar com o plano Horizontal para a criação de sua representação bidimensional (c), chamada de Épura.

Figura 15: Sistema de Dupla Projeção de Monge, Épura.



Fonte: O Autor.

### 2.1.2.4 SISTEMA DE REFERÊNCIA

Originalmente, a GD considera que os dois principais planos de projeção são chamados de  $\pi_1$  ( $\pi_1$ ) e  $\pi_2$  ( $\pi_2$ ), e a linha de Terra (interseção entre os dois planos) é chamada de  $\pi_1\pi_2$ . Essa nomenclatura fazia mais sentido nos cursos de matemática da Escola Francesa, onde a disciplina foi lecionada por Gaspar Monge. No contexto da Engenharia, Arquitetura e Design, utilizar esta nomenclatura não ajuda a relacionar a disciplina com a prática destes futuros profissionais. Assim, na metodologia proposta de Aprendizagem Baseada em Projeto (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2006), esta nomenclatura foi substituída pelo Sistema de Referência (SR). O SR é um sistema de coordenadas cartesiano que tem uma relação direta com a representação dos pontos (x, y e z), com as disciplinas matemáticas inseridas nos cursos, e com a Computação Gráfica e os sistemas CAD que são utilizadas tanto nos cursos quanto na vida profissional. Esta estratégia torna mais evidente a importância da disciplina com nos currículos destes cursos.

### 2.1.3 PRINCIPAIS CONCEITOS ABORDADOS NOS CURRÍCULOS DA UFRGS

A GD apresenta um sistema que permite inúmeras aplicações práticas nos diferentes cursos de Engenharia, Arquitetura e Design da UFRGS. Considerando que todas as turmas de Engenharia devem cursar uma mesma disciplina de GD, que tem uma carga horária limitada, alguns conteúdos básicos são abordados de maneira a permitirem a solução dos principais problemas encontrados pelos alunos destes cursos. As turmas de Arquitetura e Design seguem a mesma filosofia, no entanto, com exemplos próprios para cada um dos cursos. A Metodologia de Aprendizagem baseada em projeto é utilizada em todos os cursos. Com o uso de objetos sólidos como objetos de estudos e um sistema de coordenadas cartesiano, algumas convenções foram adotadas para padronizar o ensino em diferentes turmas. Todos os tópicos a seguir são baseados nos conteúdos das disciplinas de GD da UFRGS e na experiência do autor como professor da disciplina.

#### 2.1.3.1 REPRESENTAÇÃO DE SÓLIDOS ATRAVÉS DE VÉRTICES E FACES.

Um sólido é representado através de seus vértices, a partir de uma lista de pontos com suas coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Estas coordenadas são inseridas em uma tabela de pontos onde as linhas correspondem aos pontos e as colunas correspondem às suas respectivas coordenadas.

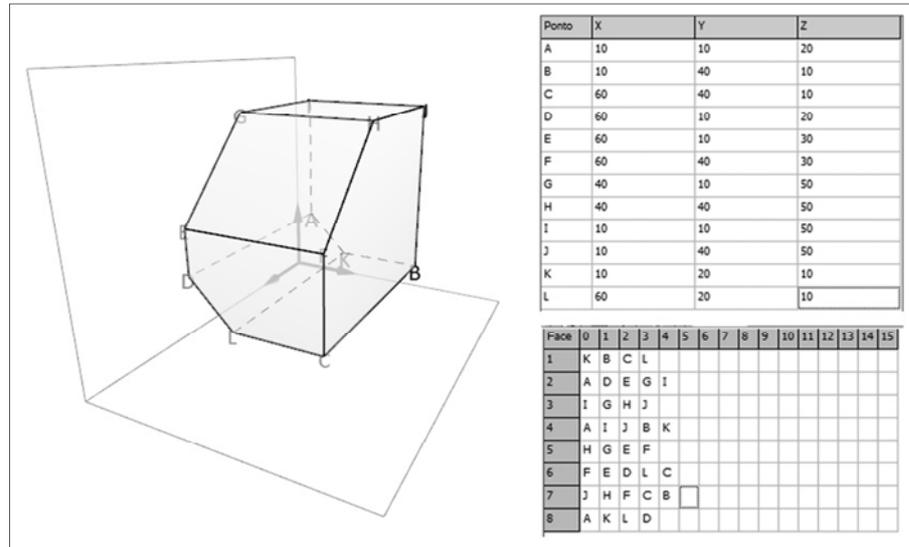
Uma tabela de faces também é necessária, cada face (uma linha da tabela) contendo uma sequência dos vértices pertencentes a ela (as colunas da tabela), esta tabela é chamada de “lista de conectividades”, pois na *épura* cada vértice se conecta ao próximo da sequência através de uma linha no desenho, representado assim as arestas do sólido.

As Coordenadas de cada ponto são representadas na *épura*, tanto na vista Frontal (XZ) como na vista Horizontal (XY), as projeções dos pontos são devidamente identificadas com o nome do ponto e o respectivo índice (índice 1 para projeções Horizontais e índice 2 para projeções Frontais) e as projeções dos pontos são ligadas através de linhas conforme as conectividades da tabela de faces. Assim, uma face que contenha os vértices ABCD, tem na vista Horizontal as Projeções dos pontos A1, B1, C1 e D1 conectadas, o mesmo acontece na vista Frontal (A2, B2, C2 e D2).

Por fim, é feita uma análise de visibilidade para detectar se alguma aresta (ou parte dela) está invisível naquela vista, para então ser representada com a linha tracejada. Por exemplo, a representação do sólido mostrado na Figura 16 começa a partir de uma lista de vértices e uma lista de conectividades, em seguida na Figura 17, é mostrada a marcação dos pontos do sólido

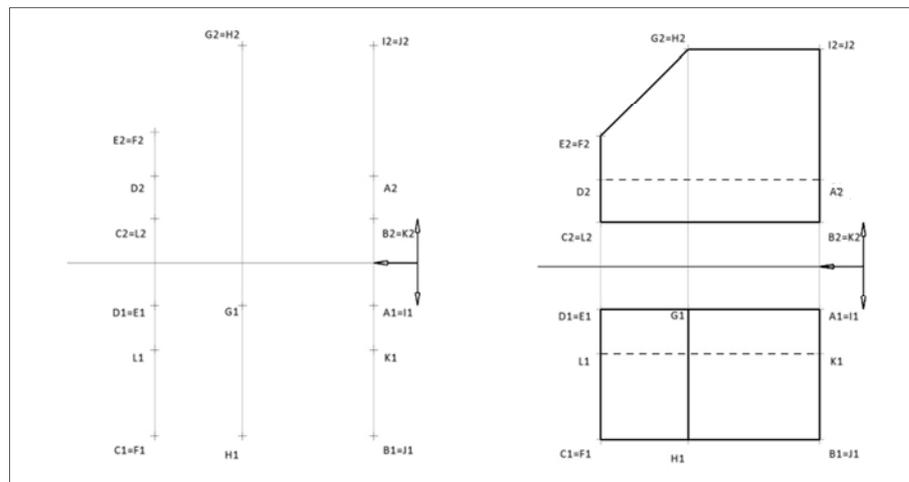
e representação das arestas do sólido em Épura a partir da lista de conectividades. Após a análise de visibilidade das arestas, a representação do sólido está completa.

Figura 16: Sólido a ser representado e suas listas de vértices e faces.



Fonte: O Autor.

Figura 17: Marcação dos pontos e representação das faces do sólido.



Fonte: O Autor.

### 2.1.3.2 TIPOS DE RETAS E TIPOS DE PLANOS

A partir das posições relativas dos objetos (arestas e faces) aos planos de projeção (perpendicular, paralela e formando um ângulo qualquer), e considerando neste caso um terceiro plano, o plano lateral YZ, é possível classificar sete (7) tipos de retas e sete (7) tipos de planos, quais sejam: Reta Horizontal, Reta Frontal, Reta de Perfil, Reta Vertical, Reta Fronto-horizontal, Reta de Topo e Reta Oblíqua; Plano Horizontal, Plano Frontal, Plano de perfil, Plano Vertical, Plano de topo, plano de rampa e plano oblíquo.

Esta classificação é importante para a solução de problemas de forma e posição, permitindo principalmente a comunicação precisa e a identificação das características destes objetos. Por exemplo, um plano horizontal pode conter apenas retas que apresentem as projeções em VG neste plano: retas horizontais, retas de topo e retas fronto-horizontais e uma reta vertical é perpendicular a este tipo de plano, portanto apresenta uma projeção acumulada nele.

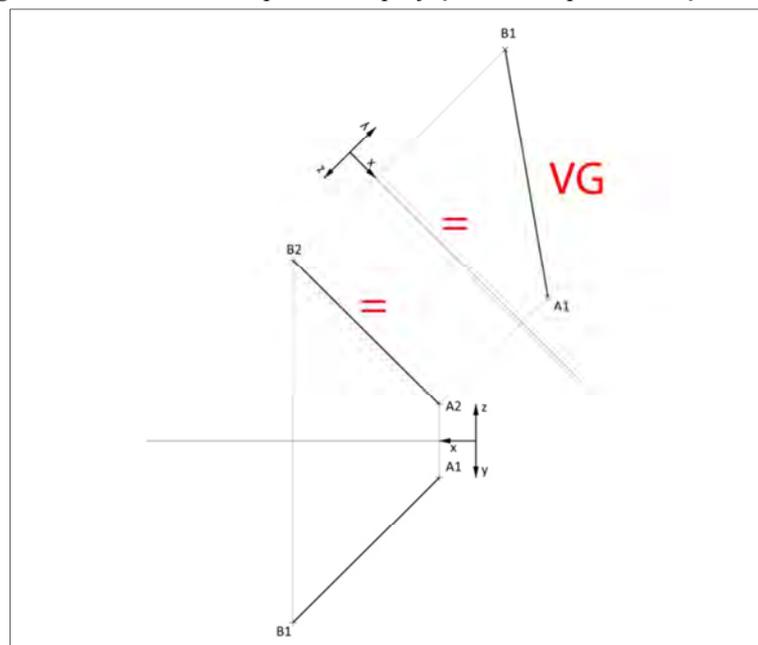
### 2.1.3.3 MUDANÇA DO SISTEMA DE REFERÊNCIA (MSR)- (MUDANÇA DE PLANO)

A MSR (ou Mudança de Plano na nomenclatura tradicional) é um dos métodos descritivos mais usuais utilizado em GD para obter as informações necessárias em um dado sistema de projeção. A MSR implica em acrescentar um plano perpendicular a um dos planos do sistema existente, criando assim um novo sistema de referência. Quando esta operação é feita em épura, significa criar uma nova linha de terra acoplada a um novo sistema de coordenadas, e a partir deste novo sistema de referência, uma nova projeção do objeto é obtida. O processo de criação de um novo SR deve ser orientado pelo objetivo a ser alcançado como, por exemplo, obtenção de VG de retas, VG de planos, acumulação de retas, etc.

#### A. Determinação de VGs de retas

Quando as projeções de uma reta (horizontal ou frontal) não estão paralelas à linha de terra, nenhuma delas é a VG da reta. Neste caso, pode-se criar um novo SR paralelo a uma destas projeções, assim a projeção resultante será uma VG da reta, como mostra a Figura 18.

Figura 18: Linha de Terra paralela a projeção da reta para obtenção da VG.

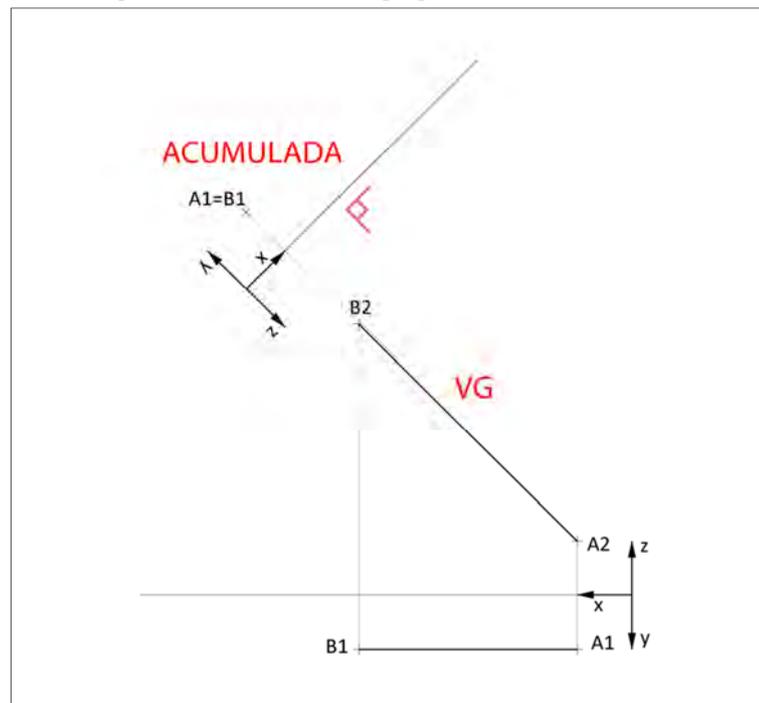


Fonte: O Autor.

## B. Acumulação de Retas

Para que uma reta apareça acumulada em uma projeção, a outra projeção correspondente naquele sistema deve ser uma projeção em VG e perpendicular à linha de terra. Com base nesta premissa, deve-se identificar uma projeção em VG da Reta e criar um novo SR perpendicular a ela, fazendo com que a projeção resultante da reta esteja acumulada, como mostra a Figura 19.

Figura 19: Linha de Terra perpendicular à VG da reta.



Fonte: O Autor.

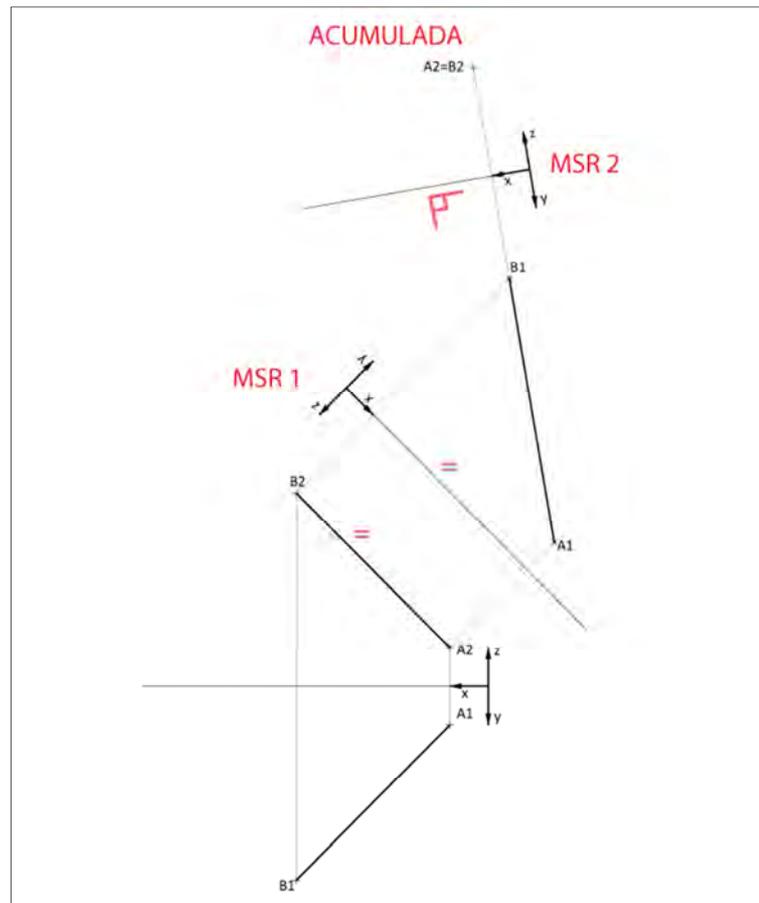
### 2.1.3.4 MUDANÇAS SUCESSIVAS DO SISTEMA DE REFERÊNCIA

Como uma MSR este sempre vinculada a um plano de um sistema anterior, MSR's sucessivas podem ser feitas para atingir os objetivos propostos.

## A. Acumulação de retas oblíquas

Uma reta oblíqua apresenta inicialmente duas projeções reduzidas nos planos principais de projeção. Como citado anteriormente, a acumulação de uma reta só acontece um plano quando se tem uma projeção em VG perpendicular a linha de terra no outro plano do mesmo SR. Neste caso, é necessário fazer uma primeira MSR paralela a uma das projeções para encontrar a VG da reta, e uma segunda MSR perpendicular a VG da reta para que a reta apareça acumulada. A Figura 20 ilustra esta situação.

Figura 20: Duas MSR sucessivas para acumular uma reta oblíqua.

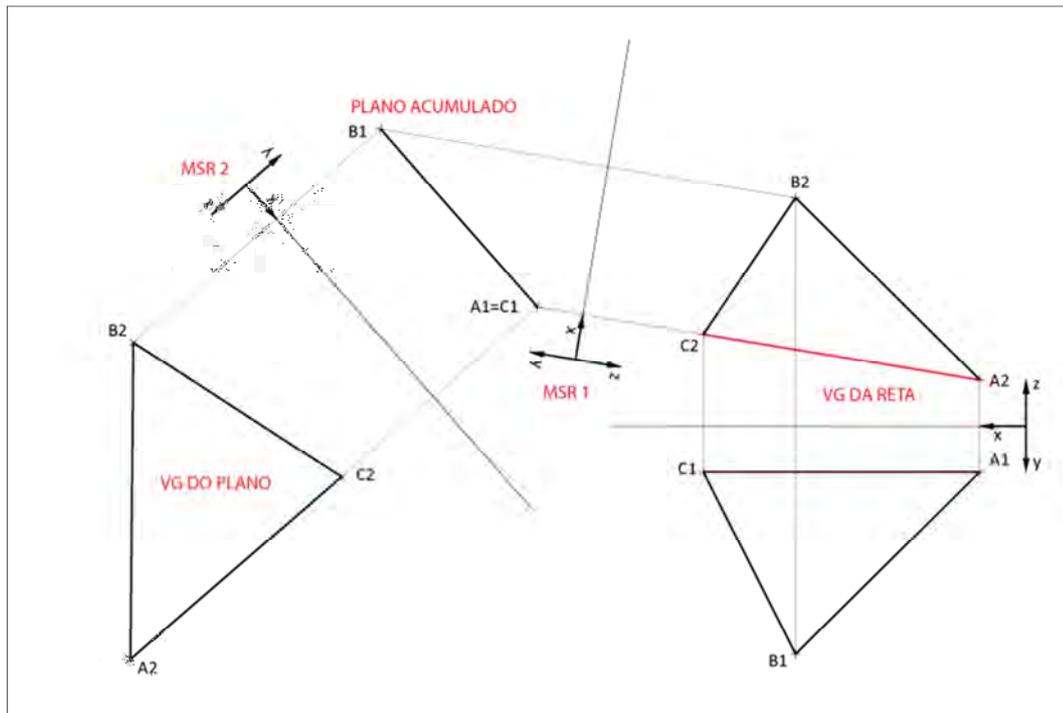


Fonte: O Autor

### B. Determinação de VG de planos oblíquos

Para que se obtenha a VG de plano é necessário que na outra projeção correspondente este plano apareça acumulado e paralelo à linha de terra. Para que um plano seja acumulado em um dos planos de projeção (PP) é necessário que o PP seja perpendicular a uma das retas contidas no plano, fazendo com a reta também apareça acumulada no PP. Neste caso, a mesma lógica da acumulação da reta é utilizada. É necessário que uma projeção em VG da reta esteja perpendicular ao PP, resultando na projeção acumulada da reta e do plano. Assim, na primeira MSR o plano aparece acumulado, e na segunda MSR obtemos a VG do plano. Esta sequencia esta ilustrada na Figura 21, onde, na direita da imagem uma reta em VG é identificada nas projeções originais, depois uma linha de terra (MSR1) é criada perpendicular a esta VG para que na projeção seguinte ela apareça acumulada e acumule também o plano. A próxima linha de terra (MSR2) é criada paralela ao plano acumulado obtendo, na próxima projeção, a VG do plano.

Figura 21: MSR sucessivas para obter a VG do Plano.



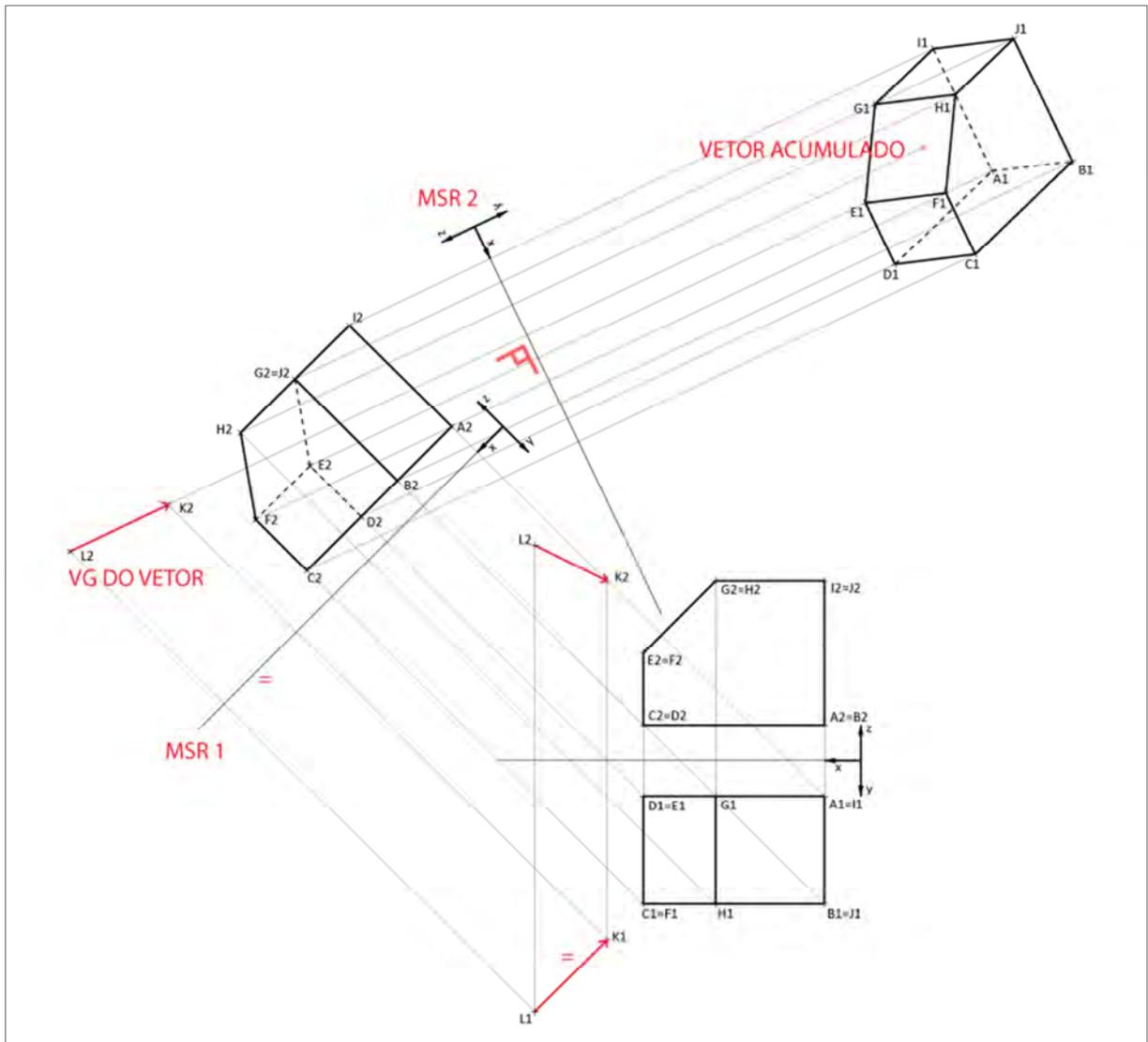
Fonte: O Autor.

### 2.1.3.5 OBTENÇÃO DE PERSPECTIVAS AXONOMÉTRICAS

A cada MSR, é possível transpor as coordenadas de todos os vértices do sólido, e não apenas das faces envolvidas no problema em questão. Quando isto acontece, a cada Mudança uma nova vista do objeto é obtida. Este processo também pode ser orientado por um “vetor de visualização”, uma reta no espaço que indica a direção em que se quer olhar o objeto. A acumulação deste vetor de visualização resulta em uma perspectiva axonométrica do objeto segundo aquela direção escolhida. A Figura 22 mostra duas MSR sucessivas para encontrar a VG do vetor de visualização e depois acumular o vetor, obtendo como resultado a perspectiva axonométrica do objeto. Na parte inferior da imagem, aparecem as duas projeções originais e o vetor de visualização (em vermelho). A primeira linha de terra (MSR1) é criada paralela ao vetor de visualização para que se obtenha a VG do vetor na projeção seguinte. Nesta primeira mudança, já se obtém uma vista do objeto, mas ainda não é a vista pretendida com o vetor de visualização. Uma segunda linha de terra (MSR2) é criada perpendicular à VG do vetor de visualização, fazendo com que o vetor apareça acumulado na projeção seguinte e que a perspectiva axonométrica do sólido seja a perspectiva de quem se posiciona na base do vetor, olhando na direção indicada por ele. Sempre, ao final de cada mudança, é feita uma análise de visibilidade das arestas do sólido, considerando a direção de visualização e as distancias dos

pontos do sólido, permitindo, assim, avaliar se algum ponto ou aresta está oculto naquela determinada direção de visada.

Figura 22: Perspectiva Axonométrica do objeto.



Fonte: O Autor.

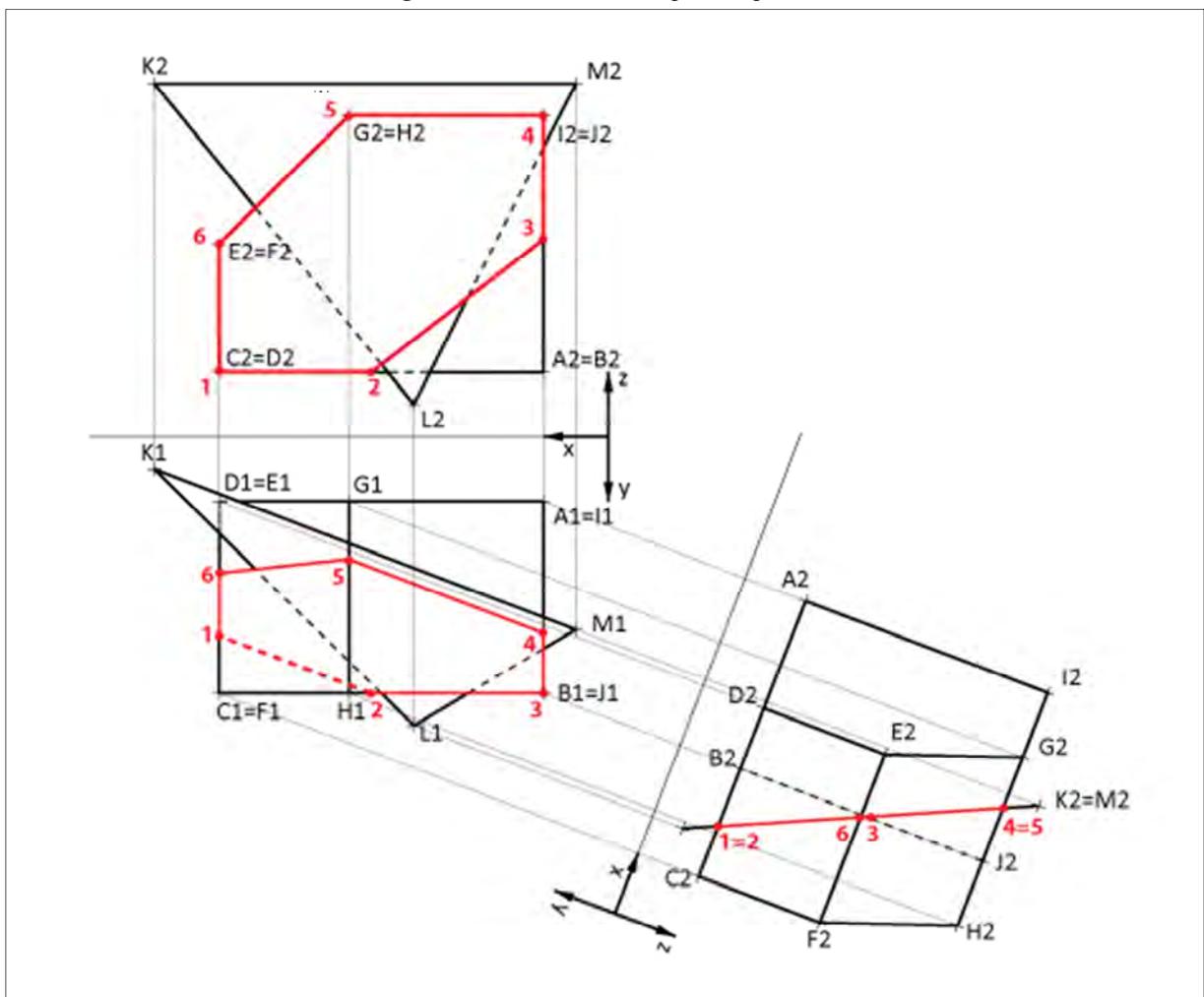
### 2.1.3.6 ESTUDO DA VISIBILIDADE DE ARESTAS

Quando objetos sólidos são representados, é necessário considerar quais partes do objeto podem estar escondidas pelas suas faces que são as primeiras a serem vistas segundo um determinado ponto de vista. No caso de existir alguma parte invisível do objeto, esta deve ser representada com linhas tracejadas. As linhas tracejadas são sempre internas ao desenho, nunca se encontram linhas de borda que sejam tracejadas. Na Figura 22 (acima), as linhas tracejadas representam as linhas ocultas segundo aquele determinado ponto de vista (direção de projeção).

### 2.1.3.7 CORTE DE SÓLIDOS POR INTERSEÇÃO DE PLANOS

Uma das abordagens utilizadas na GD é começar com o estudo de objetos simples, e aumentar a complexidade de sua forma através da interseção de planos. Considerando um sólido e um plano no espaço que o intercepte, é possível definir os pontos de interseção com as arestas deste sólido e, portanto, a poligonal de corte resultante, a partir da acumulação do plano secante por uma (ou mais) MSR. A Figura 23 mostra o plano KLM do tipo oblíquo (posição relativa em relação aos planos de projeção) cortando o sólido em 6 pontos, identificados pela interseção do plano acumulado com as arestas do sólido.

Figura 23: Corte do Sólido por um plano.



Fonte: O Autor

A partir do uso sistemático da Mudança do Sistema de Referência (MSR) como ferramenta de estudo do sólido e das diversas aplicações mostradas nesta seção (Determinação de VGs, acumulação de retas e planos, perspectivas axonométricas e interseções) espera-se construir com aluno em sala de aula a relação entre os desenhos bidimensionais trabalhados por eles e o modelo tridimensional representados pelos desenhos.

Esta relação só acontece quando os alunos conseguem alcançar a abstração necessária aos raciocínios lógicos envolvidos neste processo.

Para que estes conceitos da GD sejam implementados em um software interativo, é importante, ainda, que os princípios relativos ao **Design de Interação** sejam estudados, seus princípios e os métodos pertinentes à solução do problema em estudo, especialmente no que se refere à **Usabilidade**, elemento fundamental do Design de interação, e extremamente necessário ao sucesso da interface bidimensional proposta.

## 2.2 DESIGN DE INTERAÇÃO

O Design de Interação é uma área relativamente nova e ainda em formação. Assim como o Design (em geral), seus limites são difusos devido a sua natureza multidisciplinar. Em função da diversidade de abordagens e fundamentos teóricos, não existe uma definição consensual. A pesquisa em Design de Interação frequentemente tem raízes intelectuais em outras áreas acadêmicas como: Arquitetura (Padrões), Engenharias (processos), Engenharia de *Software* (Desenvolvimento de *software*, Usabilidade), Psicologia (comportamento), Educação (cognição), Ciências Sociais, Design, entre outras. No entanto, a busca de suporte teórico e prático na pesquisa de Interação Homem-Computador (IHC) é recorrente em todas as áreas.

Interação Homem-Computador é o estudo, planejamento e projeto de como pessoas e computadores trabalham juntos de modo que as necessidades das pessoas sejam satisfeitas da maneira mais efetiva possível. A IHC estuda de forma interdisciplinar a interação do homem com o computador, para melhor adaptar o último ao primeiro. Deste ponto de vista, a IHC estaria para o design de interfaces, assim como a ergonomia estaria para o design de produtos, sendo a base sólida onde o designer pode se apoiar (GALITZ, 2002).

Kolko (2007) traz uma visão mais abrangente de que Design de Interação é a criação de um diálogo entre uma pessoa e um produto, serviço ou sistema. Para a *Interaction Design Association - IxDA* (2014) o Design de Interação define a estrutura e o comportamento de sistemas interativos. Para Cooper (2007), Design de Interação é a prática de projetar produtos, ambientes, sistemas e serviços digitais interativos. Como muitas outras disciplinas de Design, Design de Interação também se ocupa da definição da forma, mas seu foco principal é o Design do Comportamento.

Uma referencia significativa para a área é o trabalho de Jennifer Preece, Yvonne Rogers, e Helen Sharp: “Design de Interação – Além da Interação Homem-computador”. Nesta obra as autoras definem Design de Interação como “o Design de produtos Interativos que fornecem suporte às atividades cotidianas das pessoas, seja no lar ou no Trabalho” (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005) <sup>10</sup>.

O desenvolvimento de sistemas computacionais interativos, ao longo das últimas décadas passou de uma abordagem centrada na tarefa (*Task-Centered*) a uma abordagem centrada no Usuário (*User-Centered*). O Design de Interação busca redirecionar a preocupação com a tarefa para a preocupação com pessoa, trazendo a Usabilidade para dentro do processo de Design (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005). Segundo as autoras, o objetivo do Design de Interação é desenvolver produtos Interativos (entende-se por produtos interativos todas as classes de sistemas, tecnologias, ambientes, ferramentas e aparelhos interativos) que sejam **fáceis, agradáveis de utilizar e eficazes** – sempre na perspectiva do usuário.

Design de Interação tem o foco na Experiência do usuário. Para Garret (2011) a experiência do Usuário é a experiência que o produto cria para as pessoas que o utilizam no mundo real. O Design da experiência do usuário não se trata de como o produto funciona internamente, mas como ele funciona externamente, quando entra em contato com as pessoas (GARRET, 2011).

No caso deste trabalho, **os usuários são os professores e estudantes** de Geometria Descritiva que utilizarão o programa HyperCAL<sup>3D</sup> como uma ferramenta complementar ao estudo, à criação e à realização dos exercícios práticos de desenho.

### 2.2.1 PROCESSO DE DESIGN DE INTERAÇÃO

De acordo com Kolko (2007), “Um processo de Design estimula a repetição de resultados, reduzindo a dependência na inspiração e criando uma estrutura, na qual profissionais criativos possam trabalhar”. Embora o uso de um processo facilite a replicação de resultados, a especificidade e variedade dos problemas em Design faz com que muitos profissionais desenvolvam métodos próprios, que melhor se adaptem a sua maneira de trabalhar e aos problemas que regularmente enfrentam.

---

<sup>10</sup> *Interaction design is: "Designing interactive products to support people in their everyday and working lives".*

Conforme Dan Saffer (2007), Design de Interação não é uma ciência, embora as melhores práticas tenham sido identificadas ao longo das últimas três décadas, a área ainda não chegou a regras definitivas que podem ser comprovadas por meio de métodos científicos que sirvam a todos os casos de Design.

De modo geral, as disciplinas de Design frequentemente aplicam algum tipo de processo que envolve: 1) Entender /*Understand*, 2)Projetar /*Design*, 3)Testar /*Validate* e 4) Entregar /*Deliver* (KOLKO, 2007).

Da mesma forma, Preece, Rogers e Sharp (2005) apresentam um processo semelhante, no entanto, mais voltado ao desenvolvimento de *software*, por considerar a necessidade de iteração do processo avaliativo ao longo de todo desenvolvimento. Essencialmente, este processo envolve quatro atividades:

1. Identificar necessidades e estabelecer requisitos (*Understand*);
2. Desenvolver Designs que preencham esses requisitos (*Design*);
3. Construir versões interativas que possam ser comunicadas e analisadas (*Deliver*);
4. Avaliar o que está sendo construído durante o processo (*Validate*).

Segundo as autoras, o Design de Interação possui ainda três características que permeiam estas atividades:

1. Os usuários devem estar envolvidos no desenvolvimento do projeto (centrado no usuário);
2. A usabilidade específica e as metas decorrentes da experiência do usuário devem ser identificadas, claramente documentadas e acordadas no início do projeto;
3. A iteração em todas as quatro atividades é inevitável.

Estas características estão perfeitamente alinhadas com os três princípios estabelecidos ainda no início das pesquisas em Tecnologia da informação. Em uma das publicações mais influentes da área de ICH, “*Designing for Usability: key principles and What Designers think*”, os autores (GOULD e LEWIS, 1985) apresentam os três princípios de Design:

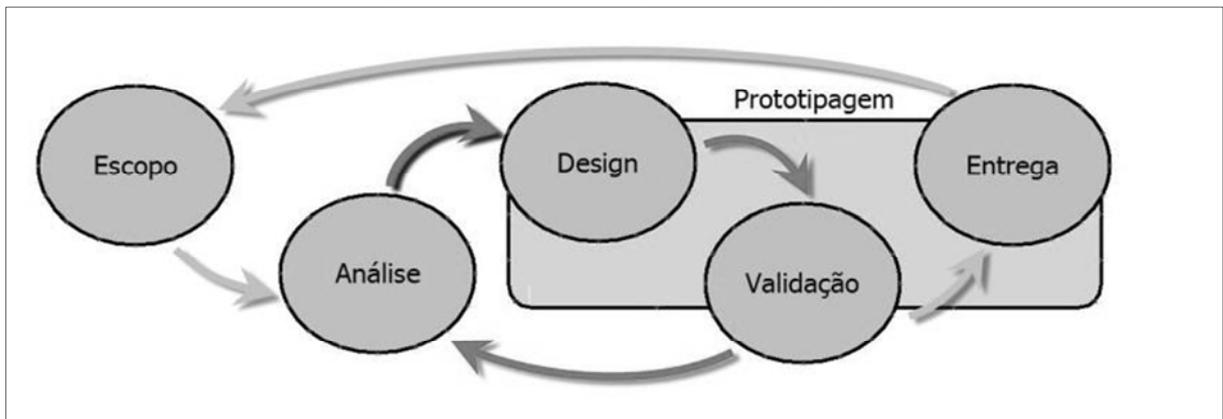
- **Foco nos usuários e nas atividades desde o início:** Designers devem entender quem serão os usuários. Este entendimento se consegue em parte por estudos

diretos de suas características cognitivas, antropométricas e comportamentais, e em parte por estudos da natureza da atividade a ser realizada.

- **Medição empírica:** Logo no início do processo, os usuários devem usar os protótipos e simulações para realizar as atividades, e seu desempenho e reações devem ser observadas, gravadas e analisadas.
- **Design Iterativo:** Quando problemas são descobertos nos testes com usuários, e eles certamente acontecerão, devem ser corrigidos. Isto significa que o Design deve ser iterativo: deve existir um ciclo de design, teste, medição e redesign, repetido quantas vezes forem necessárias.

De acordo com Wallach e Scholz (2012), ainda que rotuladas de diferentes maneiras, dependendo da área de interesse, as atividades realizadas em um típico processo de Design centrado no usuário podem ser enquadradas nestas cinco categorias: **Escopo, Análise, Design, Validação e Entrega**. Um processo estruturado iterativo necessita de flexibilidade nestas fases, especialmente nas três categorias centrais, como mostra a Figura 24.

Figura 24: Atividades do processo de Design.



Fonte: Adaptado de (WALLACH e SCHOLZ, 2012)

A seguir, são detalhadas as cinco categorias:

- **Escopo:** Os objetivos e restrições do projeto;
- **Análise:** Descobrir as características do usuário, suas atividades e as circunstâncias de uso do artefato Digital. Com artefatos existentes, geralmente a análise de atividades se concentra na usabilidade corrente como padrão para comparação; Com relação a este item, de acordo com os autores, um total entendimento da versão atual de um aplicativo é um pré-requisito importante para

ser capaz de avaliar (e justificar) o esforço necessário para reaprender seu uso quando inovações significativas são introduzidas no redesign das novas versões.

- **Design:** Projetar uma interface é um processo de equilibrar requisitos potencialmente conflitantes, considerando os objetivos e descobertas das fases de escopo e análise no projeto da interação;
- **Validação:** Como apontada anteriormente, as atividades de Design e Validação são fortemente interligadas na prática. Independente da fidelidade dos protótipos utilizados no processo, eles devem ser iterativamente testados e avaliados de acordo com os objetivos para determinar sua apropriação e maturidade. Isto pode ser feito pela equipe de projeto, por exemplo, através de Análises Heurísticas para verificar sua usabilidade;
- **Entrega:** A fase de entrega é o resultado do projeto, frequentemente representado por documentação e instruções, inclusive com os protótipos utilizados para servir como base ilustrada para a equipe de desenvolvimento.

### 2.2.2 METAS DO DESIGN DE INTERAÇÃO

Os objetivos de projeto de um sistema interativo podem ser variados. Estes objetivos de interação podem ser classificados em dois grupos: metas de usabilidade e metas decorrentes da experiência do usuário (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005). As diferenças consistem no modo como são operacionalizadas e como podem ser atingidas (por que meios). As metas de usabilidade estão relacionadas a critérios específicos de usabilidade (eficácia, eficiência, entre outros) enquanto as metas decorrentes da experiência do usuário estão relacionadas à qualidade da experiência (divertido, motivador, etc.). Parte do processo consiste em entender as necessidades do usuário e ser claro quanto ao objetivo principal.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT define usabilidade como a medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

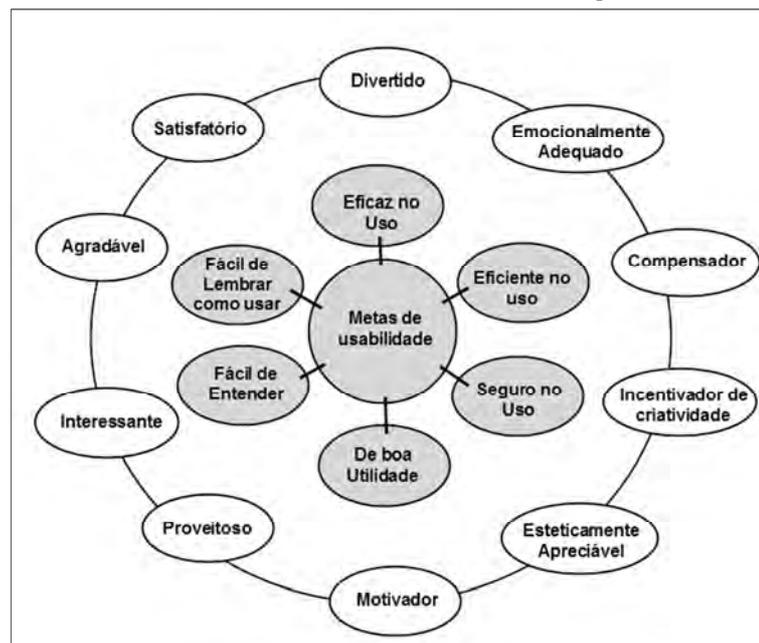
Mais detalhadamente as metas de Usabilidade são:

- **Ser eficaz no uso:** se refere a quanto um sistema é bom em fazer o que se espera dele.

- **Ser eficiente no uso:** se refere à maneira como o sistema auxilia os usuários na realização de suas tarefas;
- **Ser segura no uso:** Implica em proteger o usuário de condições perigosas e situações indesejáveis;
- **Ser de boa utilidade:** refere-as a medida na qual o sistema oferece o tipo de funcionalidade, de modo que os usuários possam realizar suas atividades;
- **Ser fácil de aprender:** refere-se à quão fácil é aprender a usar um determinado sistema;
- **Ser fácil de lembrar como se usa:** refere-se à facilidade de lembrar como utilizar um sistema, depois de já ter aprendido a fazê-lo (algo extremamente importante para sistemas interativos que não são usados com muita frequência).

A Figura 25 mostra a relação entre as diferentes metas, colocando a usabilidade no centro das metas do Design de Interação. Nos círculo interno, as metas de usabilidade são fundamentais para o design de interação e são operacionalizadas por critérios específicos, no círculo externo as metas decorrentes da experiência do usuário são menos claramente definidas.

Figura 25: Metas de usabilidade e Metas Decorrentes da Experiência do Usuário.



Fonte: Adaptado de (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005).

Para Preece, Rogers e Sharp (2005) as metas fundamentais para o design de interação são as metas de usabilidade. Em um nível secundário, menos claramente definido, estão as metas de experiência do usuário que buscam interações: Satisfatórias, Divertidas, Agradáveis, Motivadoras, Esteticamente apreciáveis, Compensadoras, Emocionalmente adequadas, e Proveitosas.

As metas da experiência do usuário são decorrentes das metas de usabilidade. As metas de usabilidade são mais objetivas e por consequência mais mensuráveis, pois estão relacionadas à maneira como os usuários lidam com um produto interativo. Neste trabalho, se busca atingir as metas de usabilidade com relação a nova interface e é a Usabilidade da Nova interface que será avaliada.

Uma vez que as metas de usabilidade a serem alcançadas por um sistema estejam estabelecidas, é necessário que sejam feitas verificações utilizando-se determinados critérios ergonômicos podem indicar quão adequada é a interface para auxiliar o usuário a desempenhar uma determinada tarefa.

### **2.2.3 VERIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA USABILIDADE**

Existem diferentes modelos de avaliação de usabilidade. Alguns modelos utilizam dados dos usuários, enquanto outros são feitos por especialistas na área da usabilidade. Os modelos de avaliação de usabilidade que se baseiam em dados de usuários reais são designados por modelos empíricos, enquanto os modelos que se baseiam na inspeção de um sistema ou produto por especialistas na área da usabilidade são conhecidos por modelos analíticos (DIX, FINLAY, *et al.*, 2004).

De acordo com Nielsen e Molich (NIELSEN e MOLICH, 1990-b), frequentemente, os desenvolvedores também não fazem uma avaliação empírica (experimentando o sistema com os usuários) por falta de tempo, recursos, experiência, inclinação ou mesmo por falta de costume.

As inspeções ergonômicas (modelo analítico) podem ser aplicadas por profissionais do projeto, não necessariamente especialistas em ergonomia, como por exemplo, programadores, analistas e designers. Tanto as avaliações heurísticas quanto as inspeções ergonômicas são técnicas de verificação analíticas e dispensam a participação direta de usuários durante sua aplicação, o que torna o processo mais rápido e menos dispendioso (CYBIS, 2011).

As inspeções ergonômicas são uma forma de sistematizar o diagnóstico dos problemas gerais ou específicos da interface através de técnicas bem definidas e estruturadas para que os inspetores possam chegar a resultados de melhor qualidade, sob o ponto de vista da uniformidade, rapidez e o grau de importância dos problemas diagnosticados (CYBIS, PIMENTA, *et al.*, 1998). A seguir serão descritas as principais técnicas utilizadas: o Percurso Cognitivo simplificado, a avaliação Heurística, e a Escala de Usabilidade de Sistema (S.U.S.).

### 2.2.3.1 PERCURSO COGNITIVO SIMPLIFICADO

Um Percurso Cognitivo também é um método de inspeção como a avaliação heurística, mas o foco está nas tarefas. A ideia básica é identificar os objetivos do usuário e como eles tentam alcançá-los usando a interface, e através de um exame minucioso dos passos necessários para execução da tarefa avaliar se seriam bem sucedidos ou não. Este método foi introduzido (LEWIS, POLSON, *et al.*, 1990) na mesma conferência em que a Avaliação Heurística foi também apresentada (NIELSEN e MOLICH, 1990-b).

Preece, Rogers e Sharp (2005) salientam como pontos fortes do Percurso Cognitivo a abordagem focada nos problemas dos usuários e o fato de que pode ser aplicada em um protótipo funcional. Cybis, Betio e Faust (2010) afirmam que essa técnica, devido a sua abordagem, ajuda na identificação de problemas relacionados à lógica das tarefas, uma vez que é voltada a exploração do sistema.

As Tarefas são decompostas em passos e para cada passo o avaliador deve responder a 8 questões:

1. Qual a próxima ação a ser tomada?
2. Como o usuário tem acesso à descrição da ação?
3. O usuário vai associar a descrição com a ação?
4. As outras possíveis ações são menos apropriadas?
5. Como o usuário vai executar a ação?
6. Se o tempo for contato, o usuário terá tempo suficiente para executar a ação?
7. Execute a ação e Descreva a resposta do sistema.
8. Descreva um possível objetivo modificado, se for o caso.

Um dos maiores problemas desta técnica é sua extensão, tanto na quantidade de perguntas para cada passo quanto na dificuldade em respondê-las. Para simplificar o método, Spencer (2000) propôs a Técnica do Percurso Cognitivo Simplificado (*Streamlined Cognitive Walkthrough*) na qual se faz apenas duas perguntas em cada passo:

1. O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?
2. Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?

Quando comparado com o Percurso Cognitivo original, o Percurso Cognitivo Simplificado troca profundidade por cobertura, mas sem esta troca a equipe de desenvolvimento pode perceber o percurso Cognitivo como um uso ineficiente do tempo.

Executar um Percurso Cognitivo Simplificado é uma boa maneira de verificar uma interface na busca de erros em potencial, identificando muitos passos que podem ser confusos para o usuário e prevendo com precisão muitos problemas de usabilidade (SPENCER, 2000).

#### 2.2.3.2 AVALIAÇÃO HEURÍSTICA

Uma avaliação Heurística é feita quando alguém analisa uma interface e emite uma opinião sobre o que tem de bom ou ruim naquela interface (NIELSEN e MOLICH, 1990-b). Segundo estes autores a maioria das avaliações de interfaces são avaliações Heurísticas, avaliações informais de usabilidade.

A avaliação heurística é um método informal de inspeção de interfaces, onde especialistas de usabilidade julgam cada elemento da interface tendo como referência princípios heurísticos de usabilidade comumente aceitos. Nielsen e Molich (1990-a) recomendam 10 princípios de qualidade na avaliação heurística:

1. **Visibilidade do status sistema:** O sistema deve sempre manter o usuário informado sobre o que está acontecendo com um adequado *feedback* em um tempo razoável.
2. **Linguagem familiar ao usuário:** O sistema deve usar palavras, frases e conceitos familiares aos usuários, ao invés de usar termos orientados ao sistema sem significado ao usuário. Seguir convenções do mundo real, fazendo informações aparecerem em uma ordem lógica e natural.

3. **Controle do usuário:** Os usuários, frequentemente, escolhem funções por engano e irão necessitar de uma “saída de emergência” claramente marcada para cancelar a ação indesejada sem ter que passar por uma caixa de diálogo extensa. Suportar “Desfazer” e “Refazer” é importante.
4. **Consistência:** Os usuários não devem ter que se preocupar se diferentes palavras, situações ou ações significam a mesma coisa. Ações similares devem provocar reações similares.
5. **Prevenção de erros:** Ainda melhor do que fornecer mensagens de erro bem explicativas é projetar uma interface cuidadosamente para preveni-los de acontecerem em primeiro lugar.
6. **Memorização mínima:** Deve ser minimizada a sobrecarga da memória do usuário, criando objetos, ações e opções que sejam visíveis e facilmente identificáveis.
7. **Uso eficiente e flexível:** Aceleradores (como teclas de atalho), normalmente negligenciados pelos usuários novatos, podem melhorar muito o desempenho dos usuários mais experientes. O sistema deve estar preparado para os diferentes tipos de usuários e permitir aos mesmos personalizar o uso das ações mais frequentes.
8. **Projeto minimalista, simples:** a interface não deve conter informação irrelevante, cada informação desnecessária colocada em uma interface compete com a informação relevante, diminuindo sua visibilidade e tomando mais tempo do usuário para processá-la.
9. **Ajuda aos usuários para reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de seus erros:** As mensagens de erro devem ser expressas em uma linguagem simples (sem códigos), indicando precisamente o problema e, construtivamente, sugerindo uma solução.
10. **Ajuda e documentação:** Ainda que seja possível usar o sistema sem precisar da documentação, é melhor fornecer ajuda e documentação completa. A informação deve ser fácil de encontrar, com o foco na tarefa a ser desempenhada pelo usuário, com uma lista concreta sobre os passos necessários para completá-la e, se possível, evitar documentos muito longos.

Nielsen e Molich (1990-b) recomendam ainda a utilização de três a cinco especialistas em usabilidade para melhores resultados. Embora esses critérios demandem alguma experiência

para serem aplicados em todos os casos, mesmo não-especialistas podem encontrar muitos problemas de usabilidade em avaliações heurísticas.

Durante a sessão de avaliação, o avaliador percorre a interface executando tarefas comuns aos usuários (cenários) inspecionando os passos necessários à execução da tarefa, os diálogos, menus e elementos da interface e os compara com uma lista de princípios reconhecidos de usabilidade (as heurísticas) (NIELSEN, 1993).

### 2.2.3.3 *SYSTEM USABILITY SCALE (S.U.S.)*

A Escala de Usabilidade de Sistema (S.U.S) foi desenvolvida em 1986, por John Brooke, no laboratório da *Digital Equipment Corporation*, no Reino Unido (BROOKE, 1996).

Esta escala já foi testada em hardware, *softwares* para *desktop*, sites, telefones celulares, e até nas páginas amarelas (Catálogo telefônico). Tornou-se um padrão da indústria com referências em mais de 600 publicações (SAURO, 2011).

Este Questionário foi originalmente criado na língua inglesa e possibilita uma avaliação subjetiva simples, composta por dez afirmações, que apresenta uma visão geral do usuário em relação ao sistema e é possível reconhecer os componentes de qualidade indicados por Nielsen (2012), quais sejam: **facilidade de aprendizagem, eficiência, facilidade de memorização, minimização dos erros e satisfação**. Para preservar o conteúdo do questionário, Tenório *et al* (2010) traduziram as afirmações para a língua portuguesa e, a seguir, um tradutor profissional realizou a tradução reversa para a língua inglesa. Esta técnica manteve o significado e estrutura do texto, de forma a se conseguir uma tradução reversa muito próxima do texto original (TENÓRIO, SDEPANIAN, *et al.*, 2010).

Assim as 10 afirmações traduzidas para o Português ficam como segue:

1. *Eu acho que gostaria de utilizar este sistema frequentemente.*
2. *Eu achei o sistema desnecessariamente complexo.*
3. *Eu achei o sistema fácil para usar.*
4. *Eu acho que precisaria do apoio de um suporte técnico para ser possível usar este sistema.*

5. *Eu achei que as diversas funções neste sistema foram bem integradas.*
6. *Eu achei que houve muita inconsistência neste sistema.*
7. *Eu imaginaria que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema rapidamente.*
8. *Eu achei o sistema muito pesado para uso.*
9. *Eu me senti muito confiante usando esse sistema.*
10. *Eu precisei aprender uma série de coisas antes que eu pudesse continuar a utilizar esse sistema.*

De acordo com Tenório *et al.* (2010) é possível reconhecer os componentes de qualidade indicados por Nielsen (2012) nas afirmações do S.U.S.:

- **Facilidade de aprendizagem:** 3, 4, 7 e 10;
- **Eficiência:** 5, 6 e 8;
- **Facilidade de memorização:** 2;
- **Minimização dos erros:** 6;
- **Satisfação:** 1, 4, 9.

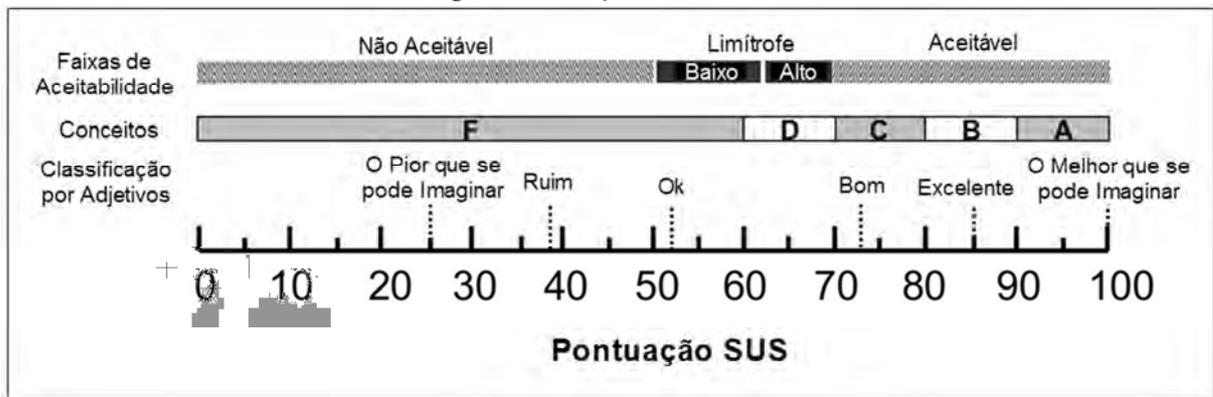
O Usuário que responde o questionário S.U.S. assinala sua resposta numa escala que varia de 1 à 5, indicando, respectivamente, uma variação de opinião entre “Discordo totalmente” a “Concordo totalmente”. As afirmações alternam entre Positivas e negativas, fazendo com que o respondente realmente se questione sobre a alternativa que mais corresponde ao sus opinião, evitando uma resposta automática em apenas um dos lados da escala.

O resultado da S.U.S. é a soma da contribuição individual de cada item. Para os itens ímpares (afirmações positivas) deve-se subtrair 1 à resposta do usuário, ao passo que para os itens pares (afirmações negativas) o score é 5 menos a resposta do usuário. Desta forma cada item fica valorado de 0 a 4, sendo 4 o valor mais positivo. Depois de obter os pontos de cada item, somam-se os pontos e multiplica-se o resultado por 2,5, obtendo-se assim, um índice de satisfação do usuário que varia de 0 a 100 (BROOKE, 1996).

O trabalho de Tullis e Stetson (2004) conclui que uma amostra aleatória de 12 a 14 respondentes do S.U.S. chega às mesmas conclusões obtidas pelo grupo todo (123 respondentes) em 90% dos casos, propondo que este número (de 12 a 14) seja considerado o número mínimo para confiabilidade de estudos utilizando esta escala.

Bangor, Kortum e Miller (2009) coletaram dados na utilização do S.U.S. por mais de uma década com uma variedade de sistemas e tecnologias contabilizando mais de 3.500 resultados. Neste trabalho os autores estabeleceram uma relação entre a pontuação do S.U.S. e outros sistemas de avaliação populares, como uma avaliação usando termos adjetivos: “bom”, “ruim” ou “excelente” ou uma escala de conceitos: “B”, “F” ou “A”, e descobriram e existe uma correlação bem próxima. Eles propõem que é possível usar a escala S.U.S. em conjunto com as outras escalas para melhor classificar um produto em termos de usabilidade, evitando que os pesquisadores interpretem a pontuação obtida no S.U.S. como uma escala de porcentagem, o que seria um engano (Figura 26).

Figura 26: Relação entre escalas.



Fonte: Traduzido de (BANGOR, KORTUM e MILLER, 2009)

Conforme Sauro (2011), a média nos estudos que utilizaram a escala S.U.S. é de 68. Uma média de 70 pontos é considerada bem próxima da média de 68, portanto, a escala de usabilidade de 0 a 100 não é propriamente uma escala de porcentagem uma vez que 70 pontos seriam aproximadamente o equivalente a 50%. (BROKE, 2013).

Para que a usabilidade e a interatividade da interface gráfica do programa permitam uma boa interação no ambiente gráfico tridimensional e no ambiente de épura, com controle do movimento de câmera, criação e seleção dos objetos, entre outros, condições extremamente necessárias para que o *software* atinja seus objetivos, é importante que se considerem os conceitos pertinentes ao processo iterativo de design de interface e os modelos mentais utilizados pelos usuários.

#### 2.2.4 DESIGN DE INTERFACES

Desde sua criação durante a Segunda Guerra Mundial, onde era utilizado por matemáticos e especialistas, até os dias atuais onde são utilizados por todos, de crianças a idosos, o computador e suas interfaces mudaram muito. Tanto o Hardware quanto o software ao longo deste período se desenvolveram com o avanço da tecnologia. Com este avanço, maior a inserção do computador no dia-a-dia das pessoas e maior a necessidade de adaptação das interfaces para os usuários. Ribeiro e Silveira fizeram uma **“Revisão de literatura histórica”** sobre o desenvolvimento das interfaces gráficas de usuário, onde buscaram identificar os sistemas precursores na concepção e uso de interfaces, que enfocassem o acesso mais fácil ao computador (por pessoas que não possuíssem conhecimento específico em ciência da computação) (RIBEIRO e SILVEIRA, 2013).

O Design de Interfaces é uma parte crucial do Design de Interação. De acordo com Wood, o Design de Interfaces é tanto um produto quanto um processo. O “produto” é um artefato projetado para um propósito específico, dado um conjunto de componentes, recursos e restrições com os quais um designer pode trabalhar. O “processo” consiste das técnicas e procedimentos para projetar o produto desejado (WOOD, 1997).

Em qualquer interface, gráfica ou não, o usuário valoriza a facilidade com que consegue executar as tarefas pretendidas e a comodidade ao executá-las. Para que se possam atender às expectativas do usuário, é fundamental conhecer os elementos envolvidos no processo de trabalho. Na criação da interface de um aplicativo, os principais elementos são os recursos disponíveis (os equipamentos, por exemplo), a finalidade da interface e os seus usuários finais.

Uma interface gráfica adequada aproveita ao máximo as potencialidades do computador em questão, desde a CPU aos periféricos, de modo a tornar um programa computacional mais fácil de usar. Assim, as escolhas e decisões a tomar ao longo do processo de criação da interface devem ser feitas com base na compreensão dos usuários e nos recursos do sistema. É preciso ter em consideração as especialidades e dificuldades das pessoas, suas necessidades e objetivos ao utilizar a ferramenta digital e considerar o que poderá ajudar os usuários no modo como executam as suas tarefas. É importante conhecer o tipo de periféricos e que recursos o sistema tem disponível, pensar sobre o que poderá dar qualidade às interações e adotar técnicas testadas pelos usuários ao longo de todo o desenvolvimento da interface (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005).

A interface do usuário consiste de tudo no sistema em que a pessoa entre em contato, seja Físico, Perceptivo ou Conceitual (BENYON, 2010). Conforme Benyon (2010), interações físicas podem ocorrer de muitas maneiras, como pressionar botões, tocar na tela, mover o mouse sobre a mesa para mover o cursor na tela de modo análogo, clicar no botão do mouse, através de sons, entre outros. As pessoas também interagem com sistemas através das coisas que elas percebem, ou que chamam sua atenção. Considerando os aspectos visuais do design de interface, deve-se projetar de tal modo que as pessoas percebam na tela o que é importante pra elas naquele momento. Botões têm que ser grandes o suficiente e seus rótulos compreensíveis. Instruções devem ser dadas para que os usuários saibam o que fazer. Grandes quantidades de informações tem que ser cuidadosamente mostrada para que os usuários entendam as relações entre elas e suas significâncias.

Benyon (2010) explica ainda que conceitualmente **os usuários aplicam um Modelo mental** de como a interface funciona e o que eles podem fazer (ou não fazer) nela. Os usuários precisam saber que certos comandos existem e vão permitir que eles executem tarefas. Eles precisam sabem quais dados estão disponíveis e como visualiza-los, em detalhes ou de forma geral, se necessário. Para Benyon (2010), integrar estes três aspectos é a principal habilidade do designer de interfaces ao criar uma experiência que permita aos usuários fazer o melhor uso do sistema sendo desenvolvido. Os aspectos Físicos, perceptivos e conceituais ficam entrelaçados nas experiências das pessoas.

De acordo com Liddle (1996, *Apud* PREECE, ROGERS e SHARP, 2005), "A coisa mais importante no design de uma interface é modelo mental do usuário. Todo o resto deve ser subordinado a tornar aquele modelo claro, óbvio e substancial. Isto é quase sempre o oposto de como a maioria dos softwares são projetados".

Segundo Preece, Rogers e Sharp (2005) , modelos mentais baseiam-se em um modelo conceitual bem-sucedido. As autoras definem Modelo conceitual como uma descrição do sistema proposto em termos de um conjunto de ideias e conceitos integrados sobre o que o sistema deveria fazer, como deve se comportar e como deve parecer, de modo que seja compreensível para os usuários da maneira planejada.

Os modelos conceituais podem ser classificados em duas categorias: baseados em Atividades ou em Objetos. No caso de um modelo conceitual baseado em Atividades, o sistema é concebido a partir do tipo de atividades mais comuns que os usuários provavelmente farão ao interagir com o sistema. Como exemplos, dar instruções, navegar,

explorar, manipular, entre outras. Para um modelo conceitual baseado em Objetos, o sistema é concebido a partir de uma analogia de algo com o mundo físico, no modo que um objeto particular funciona em um determinado contexto, por exemplo, uma borracha como uma ferramenta para apagar em um programa de pintura.

Uma outra maneira de descrever modelos mentais é em termos de metáforas (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005). Para Benyon (2010) o uso de metáforas adequadas pode ajudar os usuários a transferir conhecimentos similares e/ou relacionados de um domínio familiar para um contexto diferente. Metáforas de interface são baseadas em modelos conceituais que combinam conhecimentos familiares com novos conceitos, elas têm sido comprovadamente bem sucedidas, servindo aos usuários como um dispositivo familiar que os orienta e os ajuda entender e a aprender a usar um novo sistema (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005).

Este conceito de metáfora é importante para este trabalho, pois a interface bidimensional interativa proposta aqui é fortemente baseada nos desenhos feitos no papel pelos alunos. É justamente o uso do desenho da *épura* como metáfora da interface interativa bidimensional que tenta trazer para o usuário (alunos e professores) a familiaridade necessária ao uso do software.

### **2.3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE***

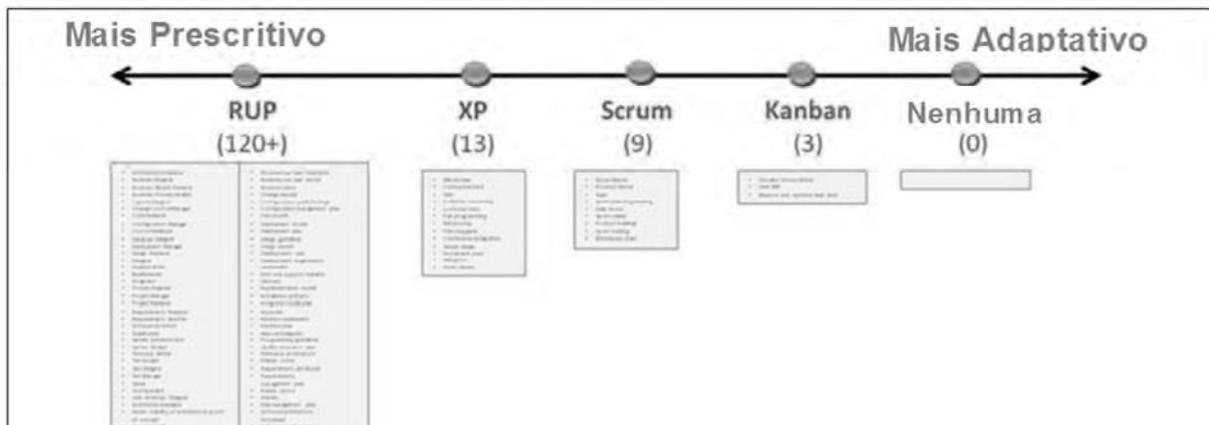
O processo de desenvolvimento de um artefato digital, um *software*, é uma atividade de design. Quanto maior a complexidade deste artefato, em termos de interação, de estrutura de dados ou mesmo de funcionalidades esperadas, maior a complexidade do processo de seu desenvolvimento. Diante deste quadro, é fundamental utilizar um conjunto de métodos e técnicas que possam melhorar a qualidade do trabalho, diminuindo assim os riscos inerentes ao processo, como desperdício de recursos, descumprimento dos prazos, ineficácia, entre outros.

Até o surgimento da engenharia de *software*, o processo de desenvolvimento de *software* era “artesanal”, no sentido em que cada *software* era único, desenvolvido de uma maneira diferente e o programador seguia métodos próprios adquiridos ao longo de sua experiência pessoal (PFLEEGER, 2004). De acordo com Pfleeger (2004), a engenharia de *software* surgiu em meados da década de 1970 em uma tentativa de dar um tratamento mais sistemático e controlado ao desenvolvimento de sistemas de *software* complexos e oferecer mecanismos para se planejar e gerenciar o processo de desenvolvimento.

Os métodos de desenvolvimento de *software* podem ser classificados em linha contínua entre dois extremos: do mais prescritivo ao mais adaptativo (BOEHM e TURNER, 2003). Basicamente, dois principais grupos de desenvolvimento na literatura da Engenharia de *Software* podem ser identificados: as metodologias tradicionais, que são seguem um plano pré-definido sequencialmente (prescritivo), como por exemplo, o modelo “Cascata” (*Waterfall*) e as metodologias iterativas (adaptativas), das quais as metodologias Ágeis são as que mais se destacam.

Uma comparação pode ser feita segundo o numero de regras utilizados em cada deles, mais regras significam mais prescritivo (mais pesado), menos regras mais adaptativo (mais leve ou ágil) (KNIBERG e SKARIN, 2010). A Figura 27 Mostra uma classificação de algumas metodologias iterativas mais conhecidas como: RUP (*Rational Unified Process*) (considerado pesado), XP, Scrum e Kanban (considerados leves) até o “Faça qualquer coisa” (sem metodologia).

Figura 27: Uma classificação das metodologias segundo suas ferramentas, métodos em uma linha da mais prescritiva para a mais adaptativa.



Fonte: Traduzido de (KNIBERG e SKARIN, 2010)

Metodologias Ágeis são essencialmente adaptativas, tem seu foco na adaptação rápida à mudança da realidade previamente conhecida. Quando as necessidades de um projeto mudam, a equipe de projeto adaptativa responde a esta mudança. Métodos Tradicionais prescritivos, por outro lado, tem seu foco na análise e planejamento detalhado do futuro prevendo soluções para os riscos conhecidos. Ambas as linhas de desenvolvimento tem suas vantagens e desvantagens, e devem ser escolhidas conforme o projeto, os recursos e a capacidade da equipe de desenvolvimento.

### 2.3.1 METODOLOGIAS ÁGEIS

As Metodologias Ágeis promovem um mecanismo iterativo para a produção de *software* com uma ênfase muito maior na natureza iterativa do ciclo de vida do *software*, diminuindo o circuito de projeto/implementação/teste para uma vez por dia (ou menos), em oposição a uma vez por iteração, nas metodologias tradicionais.

Metodologias ágeis também são caracterizadas (e diferenciadas de outros métodos iterativos como RUP) em virtude do seu desenvolvimento ser incremental. Neste contexto, “Incremental” significa que um produto é construído aos poucos ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento de sistema. Para um processo a ser considerado “Ágil”, iterações individuais devem produzir alguma parte ou característica totalmente funcional. Desta forma, o produto final é desenvolvido parte por parte, a cada iteração. Métodos ágeis são, portanto, processos iterativos e incrementais. (BECK e ANDRES, 2004)

Por não utilizarem as formalidades que caracterizam os processos tradicionais e por evitarem a burocracia imposta pela utilização excessiva de documentos, essas metodologias passaram a ser consideradas como metodologias leves. As metodologias Ágeis se tornaram populares a partir de 2001 com a fundação da Aliança Ágil, quando dezessete especialistas em processos de desenvolvimento de *software* trabalhando no contra a corrente padrão de indústria, discutiram suas formas de trabalho e estabeleceram alguns princípios comuns compartilhados por eles e que eram determinantes para a obtenção de bons resultados. Esta Aliança foi marcada pelo estabelecimento do “Manifesto Ágil” (BECK, BEEDLE, *et al.*, 2001), apesar de já existirem desde o início dos anos 1990.

Os valores do “Manifesto Ágil” são:

- **Indivíduos e interações** valem mais que processos e ferramentas;
- **Software em funcionamento** mais que documentação abrangente;
- **Colaboração do cliente** mais que negociação de contratos;
- **Responder a mudanças** mais que seguir um plano.

O “Manifesto Ágil” não rejeita os valores a direita (processos e ferramentas, documentação, negociação de contratos ou planejamento), mas simplesmente defende que eles são secundários em comparação com os valores da esquerda (indivíduos e interações,

*software* funcionando, colaboração do cliente e responder a mudanças). Isto evita parte das dificuldades dos problemas (processos burocráticos, contratos restritivos, documentação exaustiva e planejamento demorado) enfrentados anteriormente com as metodologias tradicionais (BECK e ANDRES, 2004).

Esses conceitos aproximam-se melhor com a forma que pequenas e médias organizações trabalham e suas necessidades a responder a mudanças. Dentre as diversas metodologias ágeis de desenvolvimento de *software*, as que mais têm se destacado são: *Lean Software Development* (LSD), *eXtreme Programming* (XP), *Scrum*, e *Kanban Development*.

### 2.3.1.1 DESENVOLVIMENTO ENXUTO - LEAN SOFTWARE DEVELOPMENT

Logo após a Segunda Guerra Mundial a indústria japonesa tinha uma produtividade muito baixa e uma enorme falta de recursos, o que naturalmente a impedia adotar o modelo vigente de produção em massa. O sistema Toyota de Produção, também conhecido como *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), surgiu como alternativa ao modelo vigente, propondo estratégias de produção mais dinâmicas.

De acordo com o site do *Lean Institute Brasil* (1998-2015), Lean Thinking (ou Mentalidade Enxuta) é uma filosofia e estratégia de negócios para aumentar a satisfação dos clientes através da melhor utilização dos recursos. A gestão enxuta procura **fornecer, de forma consistente, valor aos clientes** com os custos mais baixos (PROPÓSITO), **identificando e sustentando melhorias** nos fluxos de valor primários e secundários (PROCESSOS), por meio do **envolvimento das pessoas** qualificadas, motivadas e com iniciativa (PESSOAS).

Os princípios de desenvolvimento enxuto foram resumidos em sete princípios básicos (POPPENDIECK e POPPENDIECK, 2003) e depois atualizados (com mínimas modificações) (POPPENDIECK e CUSUMANO, 2012):

- **Otimizar o todo:** Entender que o *software* concluído é muito mais que a soma das partes entregues e garantir que ele atenda as necessidades do usuário;
- **Eliminar o desperdício:** neste caso, desperdício é tudo que não agrega valor para usuário diretamente ou não agrega conhecimento de como entregar valor e qualidade na construção do *software*;
- **Construir Qualidade:** Garantir qualidade no desenvolvimento do *software*.

- **Aprender constantemente:** Priorizar a comunicação e o *feedback* contínuos entre equipes e usuários durante o processo de desenvolvimento de *software*. Isto significa aprender e aplicar o aprendizado na construção do *software* constantemente.
- **Entregar rapidamente:** Com entregas rápidas (protótipos funcionais), o *feedback* também é mais frequente, e com ele a aprendizagem.
- **Fortalecer a equipe:** Criar um ambiente onde a equipe trabalhe de forma autônoma, que possa decidir e ser responsável pelas decisões.
- **Melhorar constantemente:** A melhoria contínua é um método para identificar oportunidades para racionalizar o trabalho e reduzir o desperdício. Isto significa manter-se sempre atento a possibilidades de mudanças que possam levar à melhoria em qualquer aspecto do processo de desenvolvimento.

É possível perceber que os valores da mentalidade enxuta estão muito alinhados com os valores das metodologias ágeis. Segundo Mary Poppendieck (2012), o desenvolvimento enxuto, quando visto como um conjunto de princípios ao invés de um conjunto de práticas, pode levar ao aumento da qualidade e melhoria dos processos. Assim é perfeitamente possível utilizar uma metodologia Ágil que esteja alinhada com os princípios de desenvolvimento enxuto (*Lean Thinking*).

### 2.3.1.2 EXTREME PROGRAMMING (XP)

Uma das primeiras metodologias Ágeis a se tornar popular foi a *eXtreme Programming* (XP). Segundo seu principal representante e um dos autores do manifesto ágil, Kent Beck, a XP é uma metodologia ágil para equipes pequenas e médias que desenvolvem *software* baseado em requisitos vagos e que se modificam rapidamente (BECK, 1999).

Beck propôs uma metodologia baseado em 4 valores básicos: comunicação, simplicidade, *feedback* e coragem. Além destes, é operacionalizada através de 12 práticas: Planejamento, entregas frequentes, Metáfora, projeto simples, testes, refatoração, programação em pares, propriedade coletiva, integração contínua, 40 horas de trabalho semanal, cliente presente e código padrão (BECK, 1999). Segundo o autor, para ser considerado XP deveria se usar todas as 12 práticas, no entanto, a experiência provou que era difícil para todas equipes, em todos os projetos usar todas as práticas. Na publicação seguinte (BECK e ANDRES, 2004), foi incluído um quinto valor, “respeito” e uma nova postura com relação às práticas foi proposta: “Adapte a XP quando não funcionar”, tornando mais flexível o uso da metodologia.

### 2.3.1.3 SCRUM

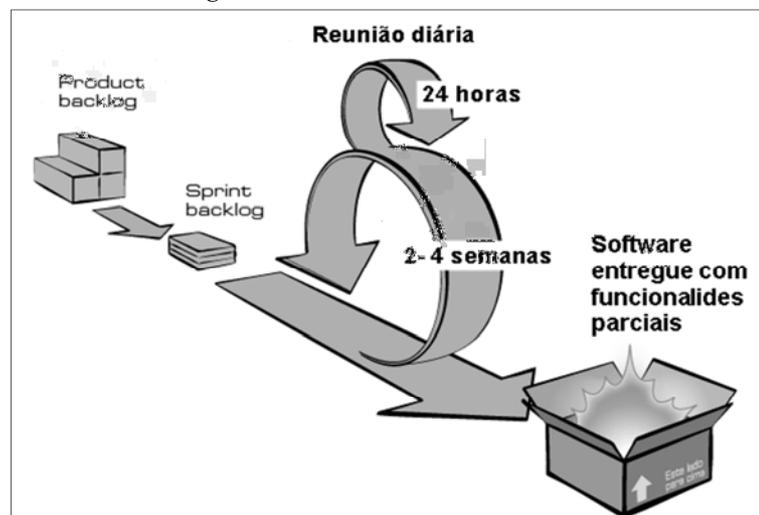
O nome “*Scrum*” deriva do jogo de *Rugby* onde a equipe unida precisa recolocar a bola em jogo, e os jogadores se apoiam uns nos outros. Como metodologia de desenvolvimento Ágil foi definida por Ken Schwaber e Mike Beedle, também autores do manifesto ágil (SCHWABER e BEEDLE, 2001). Os autores defendem que considerar a produção de um *software* como um processo previamente definido era uma abordagem ineficaz para o problema, assim propuseram que este deveria ser um processo empírico que segue um pequeno conjunto de regras gerenciais. Estas regras encorajam colaboração próxima (física ou on-line) de todos os membros da equipe, bem como reuniões diárias, enfatizando a capacidade da equipe para auto-organização. Por ser essencialmente gerencial, favorece a integração com outras metodologias ágeis.

O ciclo de desenvolvimento é feito em iterações (*Sprints*) de trinta dias. No início de cada Sprint é definido quais as funcionalidades do *software* serão trabalhadas (*Sprint Backlog*) a partir de uma lista de funcionalidades (*Product Backlog*), e o desenvolvimento daquele Sprint é avaliado através de reuniões diárias com toda a equipe. Ao final de um Sprint, a equipe apresenta as funcionalidades implementadas. (SCHWABER e BEEDLE, 2001)

Também existem papéis estabelecidos para os diferentes membros da equipe: *Scrum Master* (uma espécie de chefe da equipe), *Scrum Team* (membros da equipe) e *Product Owner* (representante do cliente).

A Figura 28 ilustra o ciclo iterativo da metodologia SCRUM, desde a lista inicial de demandas (*Product Backlog*) até a entrega parcial.

Figura 28: Ciclo iterativo do SCRUM.



Fonte: Adaptado de <http://www.desenvolvimentoagil.com.br/scrum/>

#### 2.3.1.4 KANBAN

O significado do termo “*kanban*” vem do japonês “sinal” ou “placa visível”. É uma ferramenta que foi originalmente criada por Taiichi Ohno para operacionalizar o sistema de produção da Toyota, buscando a melhoria da qualidade ainda mantendo um alto nível de produção (OHNO, 1988).

Kanban, no contexto de desenvolvimento de *software*, significa um sistema visual de gerenciamento de processo que informa “o que” produzir, “quando” produzi-lo, sempre respeitando o “limite da capacidade de produção” da equipe em cada momento (ANDERSON, 2010).

É um sistema, geralmente representado por um quadro (físico ou digital), onde cartões que representam o trabalho (uma tarefa, uma classe, ou uma funcionalidade) seguem um fluxo pré-estabelecido de estágios de produção (definição, projeto, implementação, teste, etc.). Através deste sistema, um novo trabalho só pode ser iniciado quando um cartão estiver disponível, a quantidade total de cartões representa a capacidade de produção da equipe.

Na medida em que o trabalho vai evoluindo (horizontalmente da esquerda para a direita), os cartões vão mudando de estágio (representados por colunas). Os cartões são movidos por um sistema que “puxa” o trabalho (*Pull System*) na medida em que a equipe esta disponível, procurando identificar e administrar restrições que limitam a performance do sistema, diferente de outras abordagens que “empurram” o trabalho para a fase seguinte (*Push System*).

O quadro visual permite que toda a equipe saiba exatamente em que estágio da produção um determinado item está. Pode-se também prever futuras demandas e identificar “gargalos” onde o trabalho esta sendo represado.

A Figura 29 mostra um exemplo de um quadro Kanban, onde aparecem diversos cartões representando as classes de objetos, movendo-se horizontalmente nos diferentes estágios, e as colunas representando os estágios da produção do *software*. Neste caso foi utilizada uma tabela do *Microsoft Excel*® para gerenciar o Quadro Kanban. Além desta representação visual, o Kanban trabalha com o conceito de limite, a capacidade de uma equipe de executar o trabalho em andamento (*Work In Progress - WIP*). Na prática, significa limitar o numero máximo de cartões que a equipe consegue trabalhar ao mesmo tempo. Isto pode significar a capacidade total do sistema, e/ou de parte da equipe responsável por um determinado estágio.

Por exemplo, um cartão só pode ser movido adiante na linha de produção se a coluna seguinte tem espaço para receber este cartão, ou seja, se a equipe responsável por aquele trabalho pode executá-lo naquele momento. Na Figura 29, a coluna de projeto já alcançou seu limite de 2 cartões (classe 3 e classe 4), o que significa que novos trabalhos só poderão iniciar nesta coluna depois que os cartões existentes saírem dela.

Figura 29: Exemplo de Quadro Kanban para desenvolvimento de Software.

		Design			Implementação				
		Para Fazer	Análise	Projeto	Pronto para Programar	Programação	Teste	Validação	Feito
Data e Hora		4/5/15 13:40							
Limites / WIP		2	1	2	0	3	2	0	0
1							Classe 1		
2						Classe 2			
3				Classe 3					
4				Classe 4					
5			Classe 5						
6		Classe 6							
7		Classe 7							
8	Classe 8								

Fonte: O Autor.

Kanban não é propriamente uma metodologia de desenvolvimento, é uma abordagem para introduzir mudanças na metodologia de desenvolvimento atual da equipe (ANDERSON, 2010). De acordo com Anderson (2010), o princípio do Kanban é reconhecer qual o processo utilizado no momento. É necessário entender o processo atual para poder estabelecer os limites para cada estágio daquele processo conforme a capacidade da equipe. O trabalho começa a mover-se pelo sistema na medida a equipe esta livre para fazê-lo, puxando um cartão do estágio anterior. Kanban não demanda uma revolução na metodologia da equipe, ao invés disto promove uma mudança gradual na direção de um sistema enxuto (*Lean System*), criando uma “cultura *Kaizen*” na equipe, na qual a melhoria contínua é responsabilidade de todos. Os princípios básicos em torno dessa ferramenta são:

- **Visualização do fluxo de trabalho:** todos os membros enxergam o progresso das atividades nas fases do projeto;
- **Medição do tempo de trabalho:** entender o tempo que a equipe leva para completar um trabalho é fundamental para estabelecer os limites e ter uma noção do desenvolvimento da equipe no projeto;

- **Restrição do trabalho e seu progresso em torno de seus estágios:** permitindo medição, controle e melhoria contínua.

Os principais benefícios de se utilizar um sistema Kanban é a facilidade de identificar gargalos, a partir disto trabalhar para sua remoção, aperfeiçoando o processo; Facilitar uma mudança evolucionária e gradual, ao invés de uma revolução; Permite que a equipe seja ágil sem precisar trabalhar em iterações com tempo definido (*time-boxed*); Tem o potencial de ser aplicado a outras áreas, aumentando a transparência de toda organização (SHORE LABS, 2015).

Uma ferramenta frequentemente utilizada com um sistema Kanban é um Gráfico de Fluxo Cumulativo (*Cumulative Flow Diagram*) que permite identificar com facilidade, o que já foi feito, o que está em produção e o que ainda resta fazer. Ao se registrar o tempo em que uma atividade se movimenta ao longo do quadro, é possível acompanhar o progresso da equipe ao longo do projeto (ANDERSON, 2010). Por exemplo, a Figura 30 mostra um quadro Kanban representando o andamento de um projeto hipotético. Na medida em que o trabalho foi sendo realizado, os movimentos dos cartões na tabela foram sendo registrados (o fluxo do trabalho), dia após dia.

Figura 30: Quadro Kanban.

		Design			Implementação			
←		Análise	Projeto	Pronto para Programar	Programação	Teste	Validação	Feito
Data e Hora								
4/5/15 15:58		1	0	1	2	0	1	1
4	Limites / WIP		2		3	2		4
5								Classe 4
6								Classe 5
7								Classe 6
								Classe 7

Fonte: O Autor.

A Figura 31 mostra o registro das datas e horas dos movimentos no quadro, neste caso, o registro foi feito ao final de um dia de trabalho. Na tabela da esquerda a data e uma “fotografia” do Trabalho realizado até aquela data. Na Tabela da direita, o número total de itens em produção e o tempo decorrido desde o início.

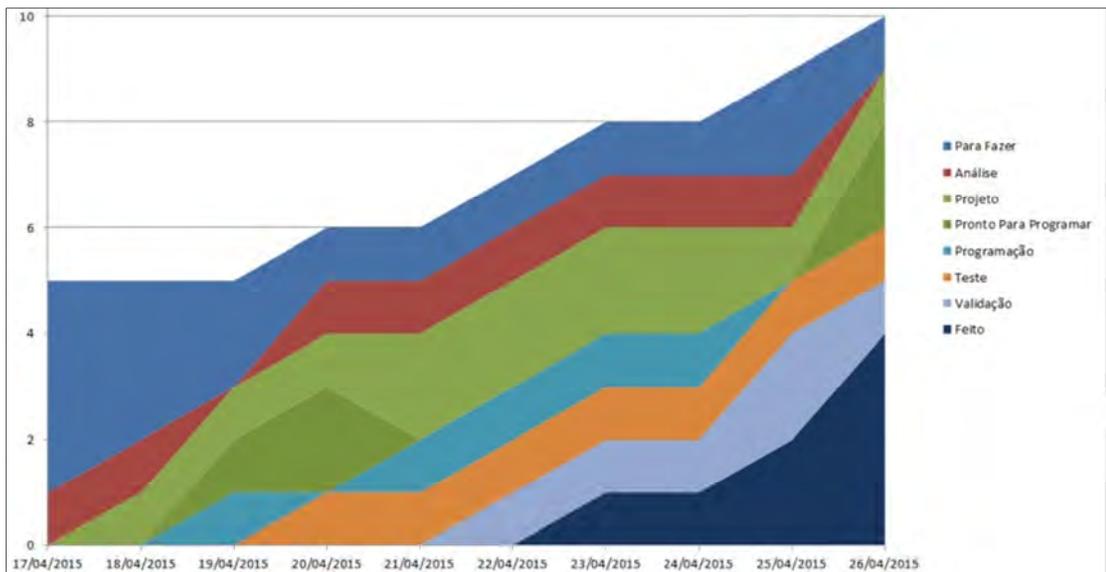
Figura 31: Registro do trabalho realizado ao final de cada dia.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2	Data	Para Fazer	Análise	Projeto	Pronto Para Programar	Programação	Teste	Validação	Feito		Total de Itens	Tempo Desde o início do Projeto						
3	17/04/2015	4	1	0	0	0	0	0	0		5	0	0	0	0	0	0	
4	18/04/2015	3	1	1	0	0	0	0	0		5	0	22	0	44	0	0	
5	19/04/2015	2	0	1	1	1	0	0	0		5	2	2	2	3	3	0	
6	20/04/2015	1	1	1	2	0	1	0	0		6	3	2	2	31	0	0	
7	21/04/2015	1	1	2	0	1	1	0	0		6	4	2	2	3	3	0	
8	22/04/2015	1	1	2	0	1	1	1	0		7	5	2	2	3	3	0	

Fonte: O Autor.

Por fim, a Figura 32 mostra um Gráfico Cumulativo do desenvolvimento deste projeto do exemplo, onde é possível se estimar progresso do projeto, o quanto já foi feito, e o tempo decorrido no projeto.

Figura 32: O Gráfico de Fluxo Cumulativo.



Fonte: O Autor.

Desta forma, através destas ferramentas simples implementadas em uma planilha é possível programar os trabalhos futuros, sinalizando o que ainda tem pra ser feito, acompanhar o progresso de cada item, identificar visualmente gargalos ou barreiras que possam atrapalhar ou impedir o progresso do trabalho, e ao final, ter uma imagem completa do andamento dos trabalhos, saber o que foi realizado e quando.

No item seguinte, será descrito a metodologia de Pesquisa utilizada para análise dos *softwares* de desenho existentes com o intuito de estabelecer os requisitos para o desenvolvimento da nova interface. Esta mesma metodologia será utilizada para fins de avaliação da interface.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Conforme Ribeiro (2011), esta tese pode ser considerada como “dissertação-projeto”. De acordo com este autor, similar à intervenção, este método busca identificar um problema dentro de alguma área, caracterizando-se e desenvolvendo uma solução para o problema considerado, frequentemente, a solução é a implementação de um protótipo, cabendo questões conceituais – de como a ideia surgiu ao projetista – ou das práticas de projeto.

A interação em *softwares* gráficos é uma parte crucial do funcionamento do sistema para que o usuário alcance seus objetivos, desta forma é importante que exista algum tipo de aferição do processo interativo.

Esta pesquisa passou por uma fase de Investigação, onde foi preciso compreender o contexto de ensino da Geometria Descritiva e o escopo de uso do Software HyperCAL<sup>3D</sup>. Esta investigação considerou desde o Histórico de desenvolvimento do programa, como ele é usado nas disciplinas, sua metodologia de desenvolvimento e sua Estrutura de dados. Nesta fase, foi investigado também quem são os usuários do programa (professores e alunos de GD), quantos são usuários em potencial a cada semestre e quantos estavam disponíveis para a pesquisa.

Considerando que a intervenção proposta neste trabalho foi feita em um *software* que já tem uma interatividade no ambiente tridimensional, foi necessário investigar a usabilidade desta interface e suas decisões de projeto. Esta análise levou em conta **as atividades** que eram realizadas através da interface, **a consistência** da interação em todos ambientes do *software* (tridimensional e bidimensional), bem como **os objetivos** dos usuários.

A partir desta investigação, uma vez definidos quais tipos de operações eram necessárias à interação com a interface bidimensional, foram analisados os estilos de interação existentes em *softwares* de desenho gráfico vetorial 2D e em sistemas CAD, especialmente no que se refere a estas operações realizadas nos ambientes de trabalho (selecionar, mover, rotacionar objetos, etc.). Foram escolhidos 04 (quatro) *softwares* para esta análise, os 02 (dois) *softwares* vetoriais gráficos 2D foram os programas utilizados no curso de Design Visual da UFRGS, por serem os mais representativos da categoria e por serem licenciados para uso nesta universidade, o Adobe Illustrator® (ADOBE, 2015) e o CorelDraw® (COREL, 2015). Os dois programas CAD escolhidos foram o Autodesk Autocad® (AUTODESK, 2015) e Rhinoceros® da Mcneel (MCNEEL, 2014) e foram escolhidos com base nos mesmo critérios.

Na fase de Análise, já conhecida a necessidade de interação em termos operacionais, e como as mesmas operações são realizadas por outros *softwares* gráficos, foi possível definir qual a melhor abordagem para suprir esta necessidade de interação em uma nova interface bidimensional para um *software* dedicado a GD.

Outro ponto analisado foi a adequação às metas de usabilidade destas operações realizadas na interface Tridimensional, já que elas seriam também utilizadas na interface Bidimensional.

Foram analisados ainda os modelos mentais do usuário necessários a utilização de ambas interfaces, e por fim as principais características do processo de desenvolvimento do programa para decidir qual a metodologia de desenvolvimento mais adequada ao contexto.

Em termos de metodologia de Desenvolvimento de software, considerando a pequena equipe que trabalha no HyperCAL<sup>3D</sup> (dois programadores), a cultura de trabalho cíclica e incremental foi escolhida a utilização das ferramentas de desenvolvimento Quadro Kanban e Diagrama de fluxo Cumulativo, para introdução de princípios ágeis a metodologia existente. Foi criada uma planilha que organiza o andamento do trabalho e relaciona o quadro Kanban com o diagrama de fluxo cumulativo de modo que ao final do projeto se tenha uma perspectiva clara de quais foram os obstáculos enfrentados e o tempo despendido em cada tarefa.

A fase de Intervenção descreve as mudanças necessárias na estrutura de Dados para o funcionamento esperado de ambas interfaces bem como as mudanças nas funcionalidades, ou novas funcionalidades) que foram implementadas. Por fim, todo o processo de intervenção (em termos de programação) foi registrado e os resultados da aplicação da metodologia Kanban foi mostrado.

Com relação aos objetivos, foram feitas avaliações de usabilidade no HyperCAL<sup>3D</sup> na Interface Original e na Nova Interface (antes e depois da intervenção deste trabalho) permitindo assim uma aferição mais objetiva das mudanças realizadas em termos de usabilidade.

Neste estudo, uma inspeção de usabilidade da nova interface gráfica interativa do HyperCAL<sup>3D</sup> foi realizada por 3 avaliadores utilizando uma técnica mista: “Percurso Cognitivo Simplificado” (*Streamlined Cognitive Walkthrough* - (SPENCER, 2000)) seguido de “Avaliação Heurística” a partir dos princípios revisados de usabilidade elencados por

Nielsen (NIELSEN, 1993)<sup>11</sup>. Nesta inspeção os avaliadores foram instruídos quanto às questões de usabilidade e fizeram a inspeção apoiados por instrumentos de avaliação como as tarefas a serem realizadas com passo-a-passo e lista de heurísticas de usabilidade com explicações de sua aplicação.

Em métodos de Inspeção de Usabilidade os avaliadores examinam aspectos de uma Interface com o objetivo de encontrar problemas de usabilidade. Os avaliadores **podem ser** especialistas em usabilidade, consultores de desenvolvimento de *software*, especialistas no domínio específico da aplicação, usuários finais, dentre outros (ROCHA e BARANAUSKAS, 2003).

Considerando os recursos humanos disponíveis para a pesquisa, os avaliadores foram escolhidos por serem especialistas no domínio (Geometria Descritiva) que fazem parte do escopo de usuários finais: professores de GD do Departamento de Design e Expressão Gráfica da UFRGS (e que trabalham com a área de Design).

O processo de implementação é cíclico, considerando o projeto, codificação, prototipagem e avaliação. Quando o primeiro protótipo alcançou a funcionalidade adequada a ponto de ser testada, foi realizada a inspeção ergonômica para fins de identificação de potenciais erros de usabilidade. Para este trabalho foram utilizados os dois modelos de avaliação de usabilidade: modelo analítico com especialistas e o modelo empírico com usuários. Para a avaliação com especialistas foi escolhida uma técnica de inspeção ergonômica, o Percurso Cognitivo Simplificado (SPENCER, 2000) por sua simplicidade e adequação com o estilo da interface. Além desta, os especialistas também realizaram uma avaliação Heurística para a identificação dos principais problemas de usabilidade. Usabilidade não é um conceito absoluto, Pode apenas ser definida ou medida em relação a um contexto em particular, Cybis (2003) afirma que “um sistema pode proporcionar boa usabilidade para um usuário experiente, mas péssima para novatos, ou vice e versa”.

Para a avaliação com os usuários foram feitas entrevistas e aplicado um questionário para os usuários experientes (os professores) e para os usuários novatos (os alunos) o programa foi utilizado em laboratório de forma tutorial e aplicado dois testes de Escala de Usabilidade de Sistema ou *System Usability Scale* (S.U.S.) (BROOKE, 1996), o primeiro avaliando a interface original e o segundo avaliando a nova Interface, por fim, foi utilizado o mesmo

---

<sup>11</sup> As referências utilizadas aqui, apesar de antigas, são importantes por serem seminais na área de IHC.

questionário aplicado aos professores para que fosse possível comparar as diferenças entre a visão do professor e a visão do aluno com relação ao uso do programa no ensino da GD.

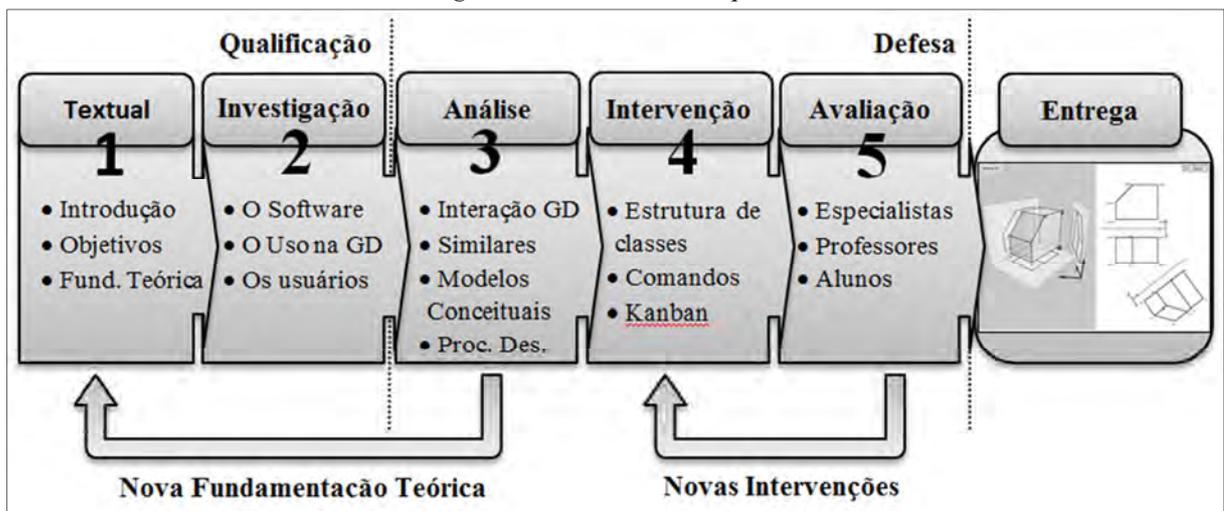
Ao final da pesquisa é possível avaliar os resultados obtidos frente aos objetivos propostos, em especial frente ao Objetivo Geral: “**Desenvolver a interface bidimensional do software** para o ensino da Geometria Descritiva HyperCAL<sup>3D</sup> fazendo com **que os ambientes 2D e 3D** estejam relacionados **de maneira biunívoca** permitindo a **interatividade** e mostrando em **tempo real** as operações gráficas feitas tanto no modelo 3D como nas suas representações 2D para **contribuir para o estudo** da Geometria Descritiva”.

### 3.1 DESENHO DA PESQUISA

Diversos autores buscam formalizar seus procedimentos de pesquisa, decompondo o processo em fases e interligando-as, auxiliando no processo de ilustração gráfica da totalidade do estudo, isto gera possibilidades quanto à visualização da sua íntegra, constituindo-se, assim, o chamado *desenho de pesquisa* (RIBEIRO, SILVEIRA, *et al.*, 2011).

A pesquisa foi realizada em cinco etapas: as duas primeiras etapas foram realizadas até a qualificação do Doutorado, e as três etapas finais entre a qualificação e a defesa da Tese. Um esquema com a estrutura da pesquisa é apresentado na Figura 33.

Figura 33: Desenho da Pesquisa.



Fonte: O Autor.

A **Etapa 1 (Textual)** engloba desde a Descrição das Ocorrências Objetivas, passando pelo Problema de Pesquisa, definição dos Objetivos, Justificativa, até a Fundamentação Teórica (Capítulo 2) necessária ao desenvolvimento do trabalho. Na fundamentação teórica, destaca-se o item “2.1.3.3- Mudança do Sistema de Referência (MSR).

Na **Etapa 2 (Investigação)**, foram investigados o Histórico do HyperCAL<sup>3D</sup>, o uso nas disciplinas de GD da UFRGS, a metodologia de desenvolvimento, sua estrutura de dados e quem (e quantos) são os usuários (alunos e professores) do HyperCAL<sup>3D</sup>.

A **Etapa 3 (Análise)** busca identificar o contexto. Considerando que o *software* já tem uma interatividade no ambiente tridimensional, com tarefas definidas, é necessário que se investigue a usabilidade desta interface e suas decisões de projeto. Esta análise tem por objetivo estabelecer a consistência da interação em todos ambientes do *software* (tridimensional e bidimensional), definindo-se em ambos os ambientes as mesmas tarefas do usuário, tanto do ponto de vista interativo do *software* quanto à luz da GD. **As Tarefas do usuário** foram definidas como uma sequência de passos a serem seguidos: selecionar o objeto, definir o plano, escolher a orientação do sistema de coordenadas, etc. Estas tarefas serviram também como parâmetro para as inspeções ergonômicas que serão realizadas.

A partir desta análise inicial, uma vez definidas **quais tipos de operações eram necessárias à interação** com a interface bidimensional, foram verificados como outros *softwares* de desenho gráfico vetorial 2D e em sistemas CAD realizam operações semelhantes (selecionar, mover, rotacionar, etc.).

A **análise de similares** é uma análise qualitativa dos estilos utilizados por estes *softwares* para avaliar a adequação de algum desses estilos às necessidades de interação em uma nova interface bidimensional para um *software* dedicado à GD. Esta análise será apresentada no item “4.3.2 - Estilos de Interação em *softwares* Vetoriais 2D”.

A **Etapa 4 (Intervenção)** se refere ao projeto e à Implementação da nova Interface. A partir do estudo da estrutura de dados do HyperCAL<sup>3D</sup>, da análise de interação já existente na interface tridimensional, da inspeção de usabilidade e das necessidades dos usuários para a realização das tarefas de GD no *software* foi estabelecida a melhor maneira de integrar a nova interface no sistema existente.

Este é um processo cíclico de projeto (definição da estrutura de classes), codificação (escrita do código), prototipagem (processo evolutivo de integração) e teste (avaliação). Em mais detalhes:

- **Projeto:** A partir da estrutura de classes existente, projetar a nova interface de modo a se integrar nesta estrutura, mantendo a funcionalidade existente.

- **Codificação:** Cada uma das classes tem seus próprios métodos e propriedades e uma maneira específica de codificação conforme a linguagem de programação utilizada.
- **Prototipagem:** A nova interface segue um modelo de protótipo evolutivo, integrado no sistema já existente.
- **Avaliação:** A cada nova codificação, o protótipo é testado para identificar possíveis inconsistências e garantir a integração.

Por fim, a **Etapa 5 (Avaliação)** concentra os diferentes métodos de avaliação de usabilidade utilizados. Uma inspeção de usabilidade da interface gráfica interativa do HyperCAL<sup>3D</sup> foi realizada por especialistas em Geometria Descritiva e Design, considerados representativos do público-alvo desta aplicação, utilizando dois instrumentos, um percurso cognitivo e uma Avaliação Heurística a partir dos princípios revisados de usabilidade (NIELSEN, 1993). Nesta Inspeção foram utilizados 3 especialistas conforme recomendado por Nielsen (de 3 a 5 especialistas) (NIELSEN, 1993). Busca-se também (caso eles existam) problemas do domínio de conhecimento específico da GD tratado no *software*, e não apenas de problemas de usabilidade. O protocolo de Inspeção de Usabilidade pode ser encontrado no Apêndice 2 - Protocolo Inspeção de Usabilidade.

A inspeção de usabilidade é uma avaliação qualitativa de cada especialista em separado com base nos critérios ergonômicos mostrados no item “2.2.3 - Verificação e avaliação da Usabilidade”. Ao final das inspeções os resultados são comparados e é feita uma síntese dos problemas encontrados. A partir desta avaliação o protótipo pôde ser melhorado enfatizando o caráter cíclico e iterativo do processo de Design de Interação destacado por Preece, Rogers e Sharp (2005).

Além desta inspeção, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com professores, considerados como usuários experientes, para melhor entender suas expectativas e formas de trabalho com o programa onde foi apresentado um segundo protótipo, depois de utiliza-lo por alguns dias (ou semanas em alguns casos) os professores retornaram um questionário respondido sobre a nova interface. Novas sugestões surgiram a partir desta avaliação e um terceiro protótipo foi desenvolvido. O protocolo das entrevistas pode ser encontrado no Apêndice 4 - Protocolo de Entrevista com Especialista. O questionário pode ser encontrado no Apêndice 5 – Questionário com Especialista.

Finalmente, outras 3 avaliações de usabilidade foram feitas, desta vez com os alunos, considerados como usuários novatos, a primeira avaliando a interface original com uma de usabilidade (S.U.S). Nesta primeira avaliação os alunos realizaram 3 tarefas na interface original, os alunos foram orientados durante a execução das tarefas com instruções passo-a-passo, e as dificuldades encontradas foram sendo sanadas na medida em que eram relatadas. Ao final das tarefas os alunos responderam individualmente ao questionário S.U.S. e depois disto foram orientados a fechar a interface original.

A segunda avaliação aconteceu logo em seguida, desta vez utilizando a Nova Interface. Novamente os alunos realizaram as mesmas 3 tarefas, também sendo orientados passo-a-passo e, ao final, responderam ao mesmo questionário S.U.S. para avaliar a nova interface.

Finalmente, os alunos responderam ao mesmo questionário repassado aos professores, para fins de comparação entre as impressões dos diferentes usuários, novatos e experientes. Assim, a metodologia de pesquisa foi adaptada de forma a se integrar na metodologia de desenvolvimento de software em função da natureza deste trabalho, uma dissertação/Projeto. A escala S.U.S. pode ser encontrada no Apêndice 6 – *System Usability Scale* (S.U.S.).

## 4 DESENVOLVIMENTO

Após uma pesquisa inicial sobre a fundamentação teórica necessária a este trabalho, as etapas de Investigação e Análise revelaram novas necessidades, fazendo com que a fundamentação teórica fosse revisada e incrementada para dar suporte às etapas seguintes. Na Etapa de Investigação, são apresentados **o Histórico** do HyperCAL<sup>3D</sup>, **sua utilização nas disciplinas** de GD ministradas na UFRGS, a sua **metodologia de desenvolvimento**, sua **estrutura de classes** e o **perfil dos usuários**.

Na Etapa de Análise, são identificados quais tipos de operações são necessárias à interação na interface bidimensional com base nas necessidades da GD e nas operações já existentes no ambiente tridimensional do *software*. Em um segundo momento, são analisados outros dois *softwares* gráficos vetoriais 2D para identificar estilos e ferramentas de interação 2D com potencial para serem usadas na nova interface. Além destes, também são analisados outros dois *softwares* CAD com o mesmo propósito.

A Etapa de Intervenção descreve a abordagem adotada no projeto da interface e os motivos de tal escolha, bem como as mudanças feitas na estrutura de classes, nas funcionalidades existentes e o registro de toda intervenção através do Quadro Kanban e do Gráfico de Fluxo Cumulativo do processo de implementação.

Por fim, a Etapa de Avaliação descreve como as diferentes avaliações de Usabilidade foram realizadas, os ciclos de desenvolvimento dos protótipos a partir destas avaliações e os resultados obtidos.

### 4.1 INVESTIGAÇÃO: O HYPERCAL<sup>3D</sup>

No ensino tradicional da GD, primeiro são estudados os objetos mais simples, os pontos, depois as retas e suas relações no espaço e por fim os planos e suas relações. Nesta abordagem, raramente se trabalha com o objeto sólido completo. O mais comum é trabalhar com a relação entre planos (soltos no espaço), planos e retas e relação entre retas.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, desde 2006, tem trabalhado com uma nova metodologia de ensino para a Geometria Descritiva utilizando uma Aprendizagem Baseada em Projetos (*Design Based Learning*) (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2006). Esta metodologia foi desenvolvida pelos professores Dr. Fábio Gonçalves Teixeira, Dr. Régio Pierre da Silva, Me. Anelise Hoffmann e Dr. Tânia Luisa Koltermann da Silva, que fazem

parte do Grupo de pesquisa Virtual Design (ViD) da UFRGS. Esta metodologia se diferencia do ensino tradicional da GD ao utilizar a memória visual tridimensional do aluno e a partir dela abstrair novos conceitos, é uma abordagem do sólido para o abstrato, do conhecido para o imaginário. Em termos práticos, na sequência de conteúdos, se apresenta um sólido simples e nele, identificam-se as suas faces (que isoladas são planos), as suas arestas (que isoladas são retas) e seus vértices (que isolados são pontos). Todos estes elementos quando relacionados uns com os outros formam um sólido. Como os alunos já conhecem o sólido, eles conhecem também a relação entre seus elementos, facilitando a visualização e o entendimento espacial. Esta abordagem tem como objetivos:

- Reduzir o grau de abstração necessário para aprender os conceitos básicos;
- Utilizar a memória visual e os conhecimentos prévios dos estudantes;
- Relacionar os processos bidimensionais com seus correspondentes tridimensionais;
- Estimular o processo de ensino-aprendizagem através de aplicações práticas e projetos concretos.

O HyperCAL<sup>3D</sup> é um aplicativo gráfico que foi criado junto com a nova metodologia pelo professor Dr. Fábio Gonçalves Teixeira, coordenador do grupo de pesquisa ViD. O Programa é fundamental para permitir a visualização e interação com objetos estudados, garantindo que os objetivos desta abordagem de ensino sejam alcançados. A seguir foi descrita a linha evolutiva do programa com suas diferentes versões.

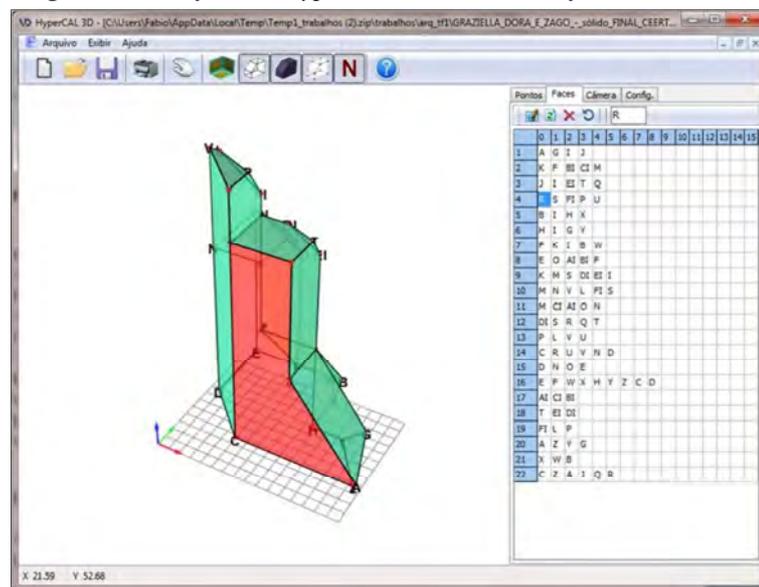
#### 4.1.1 HISTÓRICO

A primeira versão do HyperCAL<sup>3D</sup> foi lançada em 2006 e foi implementada utilizando a linguagem VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) (AMES, NADEAU e MORELAND, 1997). Para que os objetos pudessem ser visualizados, era necessária a utilização de um plug-in, o Cortona3D® da empresa Parallel Graphics Ltda. (PARALLELGRAPHICS, 2013). Este plug-in foi desenvolvido para trabalhar com browsers de internet, assim, o HyperCAL<sup>3D</sup> 1.0 possuía internamente um browser, com o núcleo do *Internet Explorer*®. Embora limitada em termos de interatividade, pois era voltada principalmente à visualização dos objetos, esta tecnologia permitiu que a versão 1.0 do *software* estivesse disponível para as turmas de GD do curso de Design da UFRGS ainda no segundo semestre de 2006, juntamente com a aplicação da nova metodologia de ensino (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2006). Já nesta versão,

foi possível mostrar as projeções do sólido nos principais planos de projeção (horizontal – vista superior, frontal e lateral) (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2007).

A partir de então, normalmente a cada semestre, uma nova versão é distribuída, sempre trazendo melhorias e novas funcionalidades, com base no uso e experiências feitas por alunos e professores da UFRGS. Em 2010, a versão 2.0 (TEIXEIRA, 2010) passou a utilizar a biblioteca gráfica OpenGL (G., RICHARD S. WRIGHT e HAEMEL, 2013) para gerenciar a visualização e interação dos objetos. A Figura 34 mostra a interface da versão 2.0.

Figura 34: Interface do HyperCAL<sup>3D</sup> 2.0 com uma face selecionada.



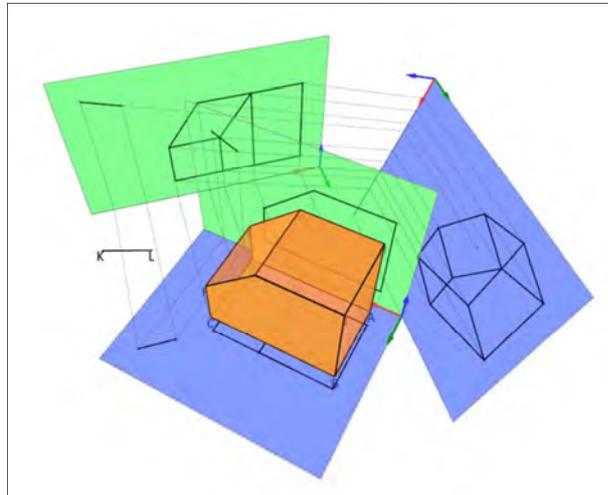
Fonte: (TEIXEIRA, 2010).

O uso desta tecnologia foi um salto nas possibilidades de uso do *software*, pois além de permitir a seleção dos objetos e diferentes modos de visualização (cores, transparências e tipos de linhas), ela permitiu também a criação de algoritmos de interseção e projeção, a base das operações em GD. Com a possibilidade de seleção dos objetos, foi possível isolar faces e arestas para que se destacassem do contexto (Figura 34), facilitando o estudo da posição destes objetos com relação ao sistema de referencia.

A versão 3.0 foi distribuída em meados de 2012 introduzindo um grande avanço em relação às anteriores, permitiu a criação de planos auxiliares de projeção através da Mudança do Sistema de Referência (MSR), tradicionalmente conhecida como Mudança de Plano. Utilizando a uma estrutura de dados hierárquica, foi possível fazer mudanças de sistemas de referencia sucessivas, permitindo que o sólido fosse projetado em qualquer orientação desejada. Assim, os usuários podiam criar, no ambiente tridimensional, planos auxiliares

orientados a partir de arestas e planos existentes, frequentemente perpendiculares ou paralelos a estes elementos, possibilitando a visualização da projeção correspondente naquele plano em tempo real, como mostra a Figura 35.

*Figura 35: HyperCAL<sup>3D</sup> 3.0 - projeções auxiliares consecutivas.*

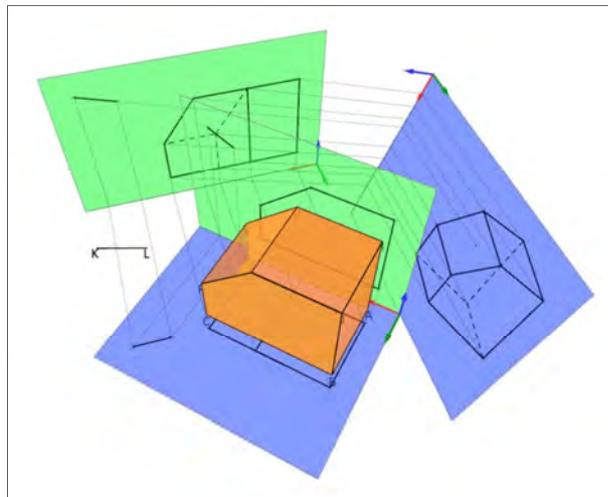


*Fonte: O Autor.*

Além desta, trouxe também a solução para uma demanda antiga, a visualização de linhas ocultas. Para isto, foi criado um algoritmo que determina a interseção das retas projetantes (perpendiculares ao plano de projeção) com as faces do sólido, permitindo avaliar a visibilidade das arestas projetadas no plano.

A Figura 36 mostra o mesmo sólido da figura anterior, desta vez com as linhas invisíveis representadas, tanto nas projeções, considerando o sentido de projeção, como no próprio sólido considerando a posição do observador (câmera).

*Figura 36: Linhas ocultas representadas.*



*Fonte: O Autor.*

A versão 4.0, distribuída em meados de 2013, acrescentou uma funcionalidade fundamental para o ensino da GD, um novo ambiente bidimensional mostrando o diedro planificado, a écura, além do espaço do modelo, já existente (TEIXEIRA e SANTOS, 2013). A partir de então foi possível criar os sólidos e visualiza-los em 3D com suas projeções e visualizar a écura correspondente, com todos os planos auxiliares criados, suas linhas de projeção, visibilidade das linhas, etc.

A área de trabalho do programa é organizada em Abas e o ambiente de Écura é uma destas abas, as outras são o ambiente de modelagem (Modelo) e o ambiente de impressão (Folha). As abas podem ser escolhidas no canto superior esquerdo da área de trabalho conforme mostrado na Figura 37.

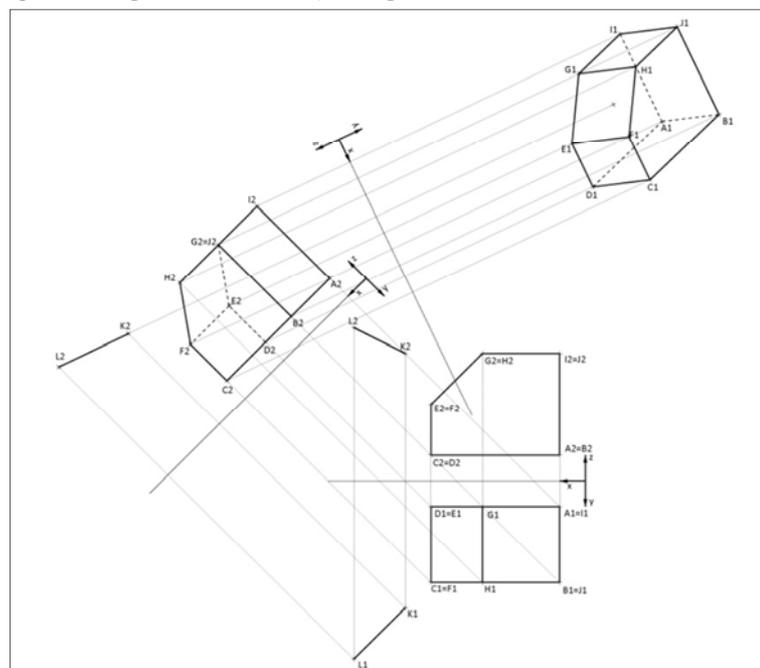
Figura 37: Abas dos diferentes ambientes no HyperCAL<sup>3D</sup>.



Fonte: O Autor

A Figura 38 mostra a écura correspondente às mudanças de plano mostradas no exemplo anterior (Figura 36) no HyperCAL<sup>3D</sup> 4.5.

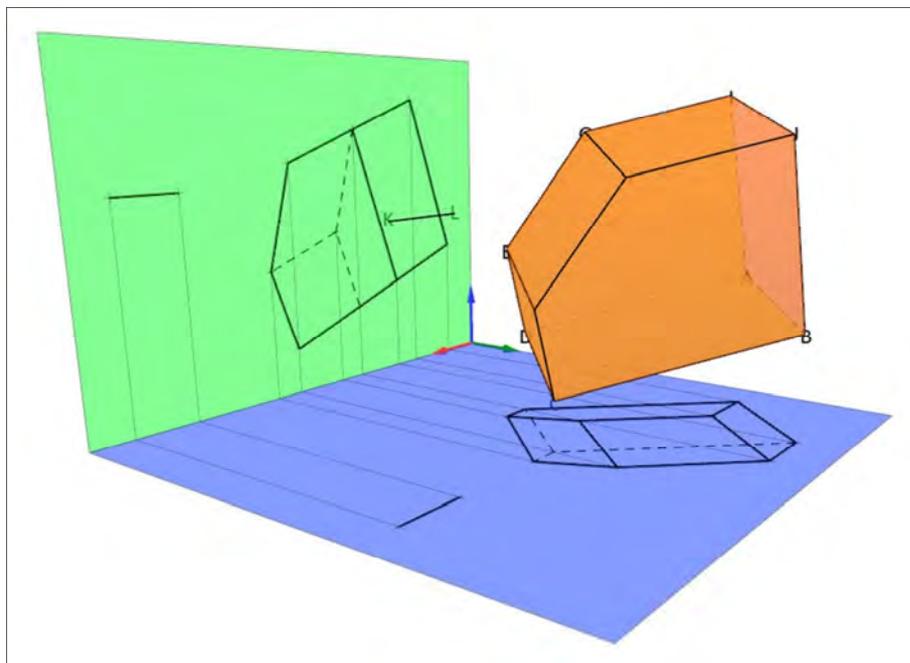
Figura 38: Écura com mudanças de planos consecutivas e linhas ocultas.



Fonte: O Autor.

Além destas inovações, acrescentou a possibilidade de transformar as vistas auxiliares em vistas principais, mudando a posição do objeto no espaço. Esta foi uma ferramenta importante para a criação de exercícios para os cursos de Arquitetura, Design e as Engenharias. A Figura 39 ilustra esta situação com o mesmo sólido do exemplo anterior, quando a ferramenta está ativada e o ultimo plano auxiliar criado é selecionado, o programa considera este plano um dos planos principais, deletando os planos anteriores. Esta operação é equivalente a reposicionar o objeto no espaço.

*Figura 39: Transformando planos auxiliares em planos principais.*



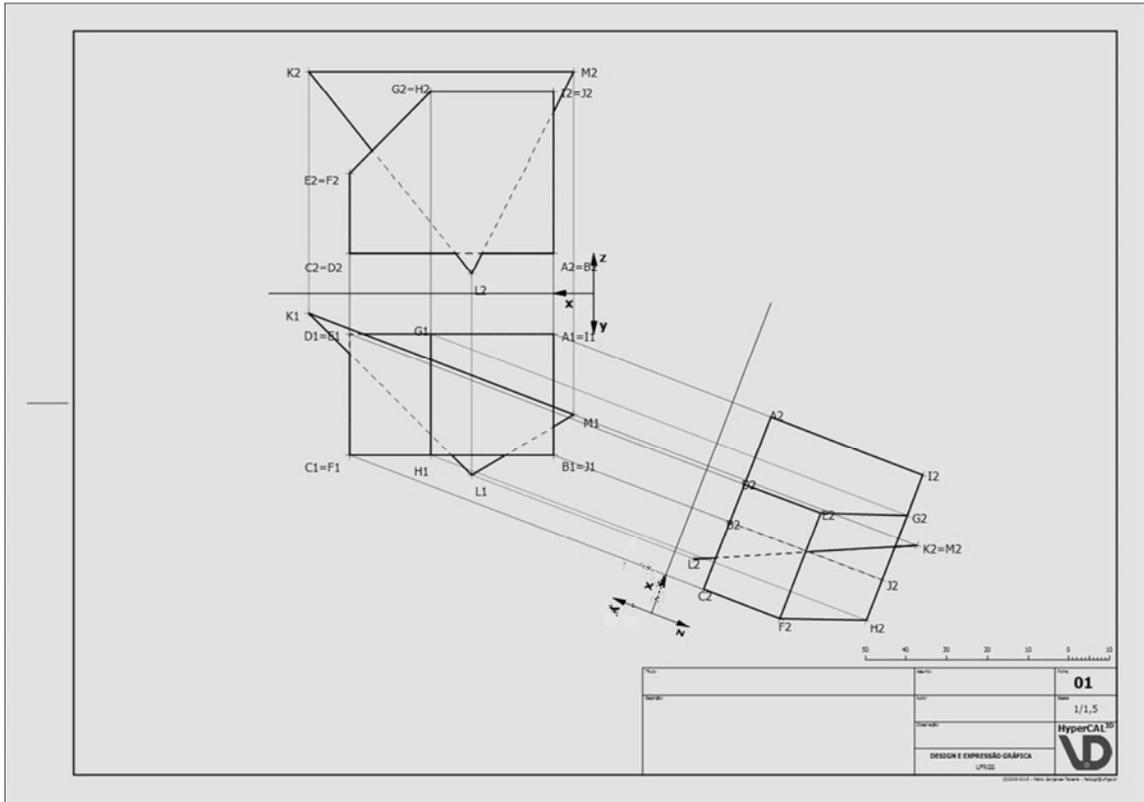
*Fonte: O Autor.*

Atualmente, o aplicativo se encontra na versão 6.0 (final de 2015), que aperfeiçoou os algoritmos já implementados e teve um foco maior na usabilidade, especialmente na atualização do menu de ajuda e impressão (TEIXEIRA e SANTOS, 2014).

A possibilidade de impressão já tinha sido implementada nas versões anteriores, mas foi só com a introdução do ambiente da épora que ela se tornou significativa para uso em sala de aula permitindo a criação e resolução de exercícios, tanto impressos em papel como em formato eletrônico (PDF) em qualquer tamanho necessário (formato A4, A3, etc.).

A Figura 40 mostra uma folha padronizada (tamanho A3) onde é possível notar que desenho da Épora já está completo nesta versão incluindo linhas de chamada e nome das projeções dos pontos. O modelo utilizado é o mesmo da Figura 41.

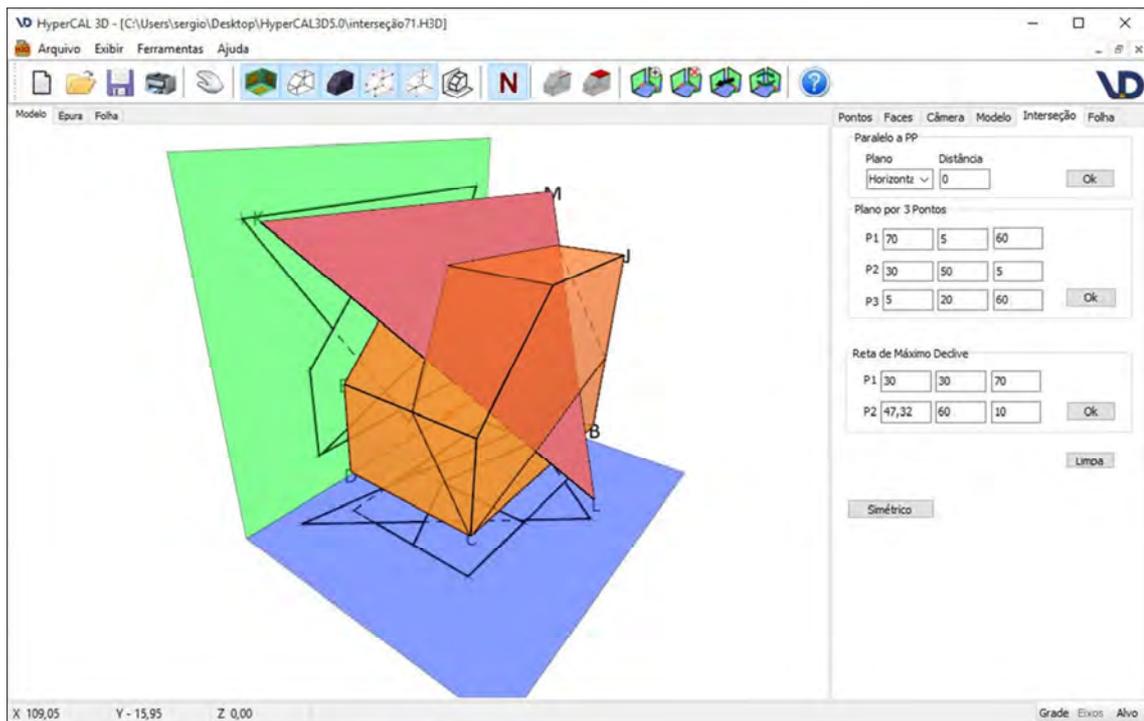
Figura 40: Página configurada para impressão da Épura.



Fonte: O Autor.

A partir da versão 5.0 também é possível determinar a interseção de um plano qualquer definido pelo usuário com o sólido, como mostra a Figura 41.

Figura 41: Interseção do sólido com um plano definido por 3 pontos.



Fonte: O Autor.

Atualmente, o programa conta 3 opções para criação de planos de interseção. A primeira delas é a utilização de um plano paralelo a um dos planos de projeção (Horizontal, Frontal ou de Perfil) definido a uma determinada distância do plano. Na segunda opção é possível definir um plano por 3 pontos (utilizada na Figura 41). Finalmente, a terceira opção permite definir um plano a partir de sua Reta de Máximo Declive, neste caso são definidos dois pontos da reta. A reta de máximo declive é a reta pertencente ao plano que tem a maior inclinação em relação ao plano horizontal, muito usada na Arquitetura para definir o caimento das águas de um telhado.

Este programa é usado frequentemente por dezenas de turmas nos cursos de Engenharia, Design e Arquitetura da UFRGS, e está em constante evolução a partir do *Feedback* dos alunos e professores a cada semestre.

#### **4.1.2 O USO NAS DISCIPLINAS DE GEOMETRIA DESCRITIVA DA UFRGS**

Atualmente, o estudo da Geometria Descritiva na UFRGS é trabalhado em 4 (quatro) disciplinas distintas. Para os Cursos de Engenharia, o conteúdo é dividido em duas disciplinas sequenciais: ARQ03317 – Geometria Descritiva IIA<sup>12</sup> e ARQ03320 – Geometria Descritiva Descritiva III, ambas com 30 horas e um encontro semanal. A disciplina ARQ03317 é pré-requisito para a disciplina ARQ03320.

A disciplina ARQ03317 – Geometria Descritiva IIA trabalha os conceitos fundamentais da GD (sistema Mongeano, representação de sólidos, Mudança do sistema de referencia, etc.) e, conforme seu plano de ensino (Anexo 1), é oferecida para 12 cursos de Engenharia, na maioria deles é uma disciplina de primeiro semestre. A disciplina ARQ03320 – Geometria Descritiva III trabalha a capacidade de representar, visualizar e resolver graficamente problemas envolvendo superfícies (Retilíneas desenvolvíveis, de concordância, reversas, de revolução e helicoidais) e, conforme seu plano de ensino (Anexo ), é oferecida para 4 cursos de engenharia, na maioria deles no segundo semestre.

Além destas, a disciplina ARQ03004 – Geometria Descritiva Aplicada a Arquitetura (Anexo ), ministrada para o curso de Arquitetura e Urbanismo e ARQ03065 – Geometria Descritiva Para Designers (Anexo ), ministrada para os cursos de Design de Produto e Design

---

<sup>12</sup> A disciplina ARQ03317 e ARQ03320 são derivadas de uma disciplina anterior, já extinta, Geometria Descritiva I. De acordo com a legislação interna da UFRGS, não se pode usar o nome de uma disciplina que já existiu em outra com características diferentes (SILVA, R. 2005).

Visual. Ambas com 60 horas e dois encontros semanais, estas disciplinas trabalham os mesmos conteúdos das duas disciplinas das Engenharias juntas.

Na versão Atual, o *software* HyperCAL<sup>3D</sup> é melhor utilizado para auxiliar nos conteúdos trabalhados pela disciplina ARQ03317 – Geometria Descritiva IIA (o mesmo da primeira parte das disciplinas da Arquitetura e do Design). A disciplina ARQ03320 – Geometria Descritiva III utiliza outro *software*, o HyperCAL<sup>GD</sup> (SILVA, R. 2005), para auxiliar o processo de ensino-Aprendizagem.

Como os principais conceitos da GD já estão implementados no HyperCAL<sup>3D</sup> e sua interface é fácil de usar, é possível utilizar o programa inclusive para exposição em sala de aula pelo professor e não apenas para o estudo pelo aluno (como foi concebido originalmente). Conforme Teixeira (TEIXEIRA e SANTOS, 2014), além da visualização dinâmica do modelo tridimensional e de sua representação correspondente em *épura*, é possível trabalhar os seguintes conceitos:

- Encontrar a verdadeira grandeza (VG) de arestas oblíquas através da Mudança do sistema de referência (MSR);
- Encontrar a VG de faces (planos) acumulados através da MSR;
- Determinar a projeção acumulada de uma face através de MSR;
- Encontrar a VG de uma face oblíqua através de MSR sucessivas;
- Determinação de perspectivas axonométricas do objeto a partir de um vetor de visualização (direção de visada);
- Determinação das vistas ortográficas principais de um sólido, a partir de perspectivas axonométricas, através de MSR sucessivas;
- Encontrar a interseção entre plano e sólido (corte do sólido).

Apesar de o programa permitir que o usuário trabalhe todos estes conceitos, ele não resolve os problemas automaticamente, é necessário que o usuário tome a iniciativa dos comandos na sequência certa, e forneça os dados necessários a cada etapa para que possa obter o resultado esperado da operação. Por exemplo, para se fazer uma MSR, frequentemente, é preciso que se escolha a projeção de aresta e um dos dois planos de projeção originais para servir como referência, é preciso posicionar o sistema em relação a

essa aresta (paralelo ou perpendicular), estabelecer a distancia, para só então obter as projeções. Se uma destas escolhas estiver errada, o resultado mostrado não é o resultado esperado para a solução do problema (apesar de correto para aquelas escolhas). Ou seja, é fundamental que o aluno entenda primeiro os conceitos e saiba o que fazer e como fazer, para que então o programa possa “aliviar” a parte mais trabalhosa (e sujeita a imprecisões) do desenho com instrumentos.

Assim, o programa não resolve os problemas para os alunos. O programa serve como uma ferramenta de apoio, mas o conhecimento da GD continua sendo fundamental para resolução dos problemas. A seguir, alguns exemplos de como se pode utilizar o programa HyperCAL<sup>3D</sup> para auxiliar a resolver os problemas propostos na disciplina de Geometria Descritiva.

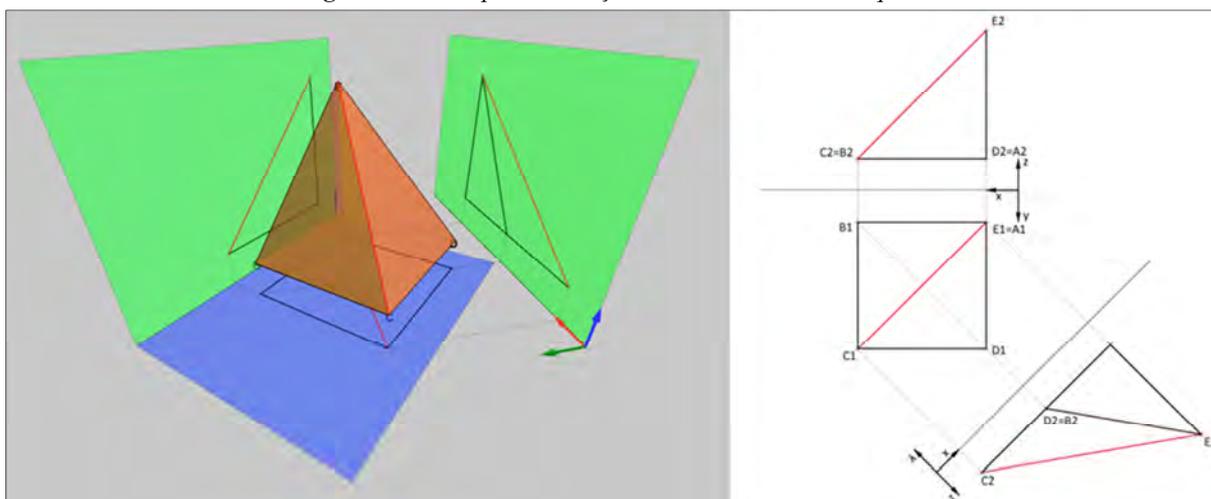
#### 4.1.2.1 ENCONTRAR A VG DE ARESTAS OBLÍQUAS

Como citado anteriormente, o programa não tem comandos para resolver diretamente um problema, por exemplo: encontrar a VG de uma reta oblíqua; ele tem comandos genéricos, ou ferramentas globais, como a MSR, para que o usuário através dela possa chegar ao resultado esperado. Neste caso, uma reta oblíqua tem, em ambos planos de projeção (Plano Frontal – PF e Plano Horizontal - PH) projeções inclinadas em relação a linha de terra. Cabe ao aluno identificar estas projeções e escolher uma delas como referência para a MSR. Ao posicionar o plano de projeção paralelo à projeção da aresta escolhida, ele obtém a projeção em VG da reta.

No momento do exercício o aluno se pergunta: qual das duas projeções da aresta escolher, no plano horizontal ou no plano frontal? Tanto faz? Qual a diferença entre escolher uma ou outra? São perguntas que tomariam do professor um tempo considerável para responder (e demonstrar no quadro) em uma aula tradicional, mas com o auxílio do programa, muito rapidamente ambas MSR podem ser realizadas e os resultados comparados, para que os alunos cheguem a suas próprias conclusões.

A Figura 42 apresenta a obtenção da VG da aresta oblíqua *EC* (em vermelho) a partir da ferramenta de MSR. Um novo PF foi colocado paralelo à projeção horizontal da aresta, resultando na projeção em VG da aresta no novo plano, e conseqüentemente, de todas as outras arestas do sólido também, inclusive com análise de visibilidade.

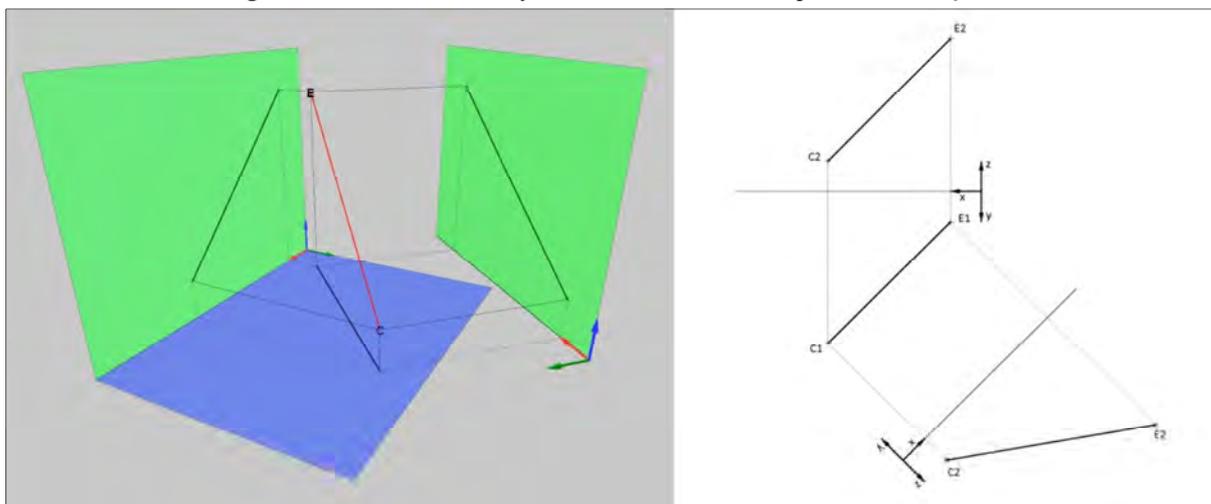
Figura 42: MSR para obtenção de VG de aresta Obliqua.



Fonte: O Autor.

Usando-se a ferramenta de isolar a aresta, é possível visualizar a mesma situação, desta vez com aresta isolada do contexto do sólido, mostrando apenas a aresta e suas projeções, como mostra a Figura 43.

Figura 43: A mesma aresta foi selecionada e isolada para visualização.



Fonte: O Autor.

Desta forma, o programa não resolve automaticamente o exercício, mas traz as ferramentas básicas para que o aluno, usando seu conhecimento de GD possa fazê-lo, e permite que o professor, usando as mesmas ferramentas, possa explicar e demonstrar os conceitos com facilidade. A mesma técnica pode ser utilizada para obter a VG de uma face que já tem uma das projeções acumuladas.

#### 4.1.2.2 ENCONTRAR A VG DE FACES (PLANOS) ACUMULADOS ATRAVÉS DA MSR

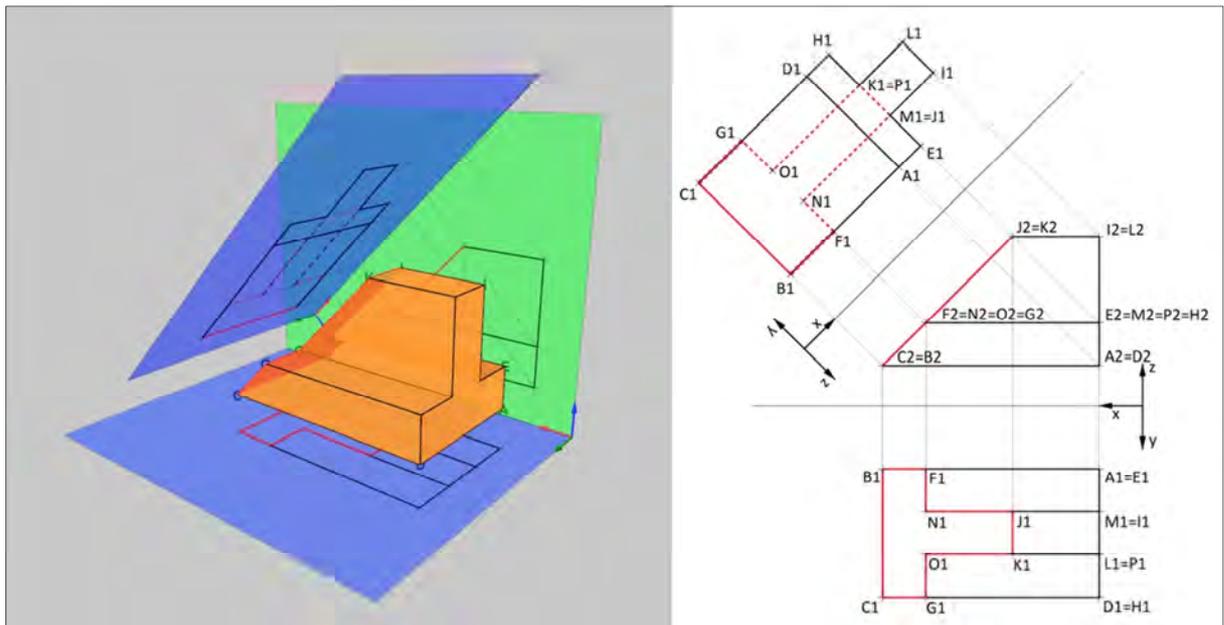
Determinar a VG de uma face que, nos principais planos de projeção, tem uma projeção acumulada e outra projeção reduzida, também pode ser feito através de uma única Mudança do Sistema de Referencia, demonstrado em Hawk (1962, p. 29). O aluno deve saber reconhecer os tipos de projeções dos planos, e saber que para que se tenha uma projeção em VG de uma face é necessário que esta face esta paralela a um plano de projeção, o que pode ser reconhecido quando a outra projeção da face é paralela à linha de terra e acumulada.

Neste caso, para que consiga uma projeção em VG da face, um novo plano de projeção deve ser criado perpendicular ao plano de projeção que contém a projeção acumulada da face e a linha de terra deve ser paralela a esta. No programa, esta tarefa segue a seguinte rotina:

1. Selecionar o comando para criação do novo SR. (MSR)
2. Escolher o plano de projeção que contém a projeção acumulada da face clicando sobre ele. Neste momento o novo SR já é visível, sempre perpendicular ao plano escolhido, e se movendo junto com o cursor, atualizando as projeções na medida em que é movido.
3. Escolher a projeção acumulada da face como referência clicando sobre ela. Ao escolher uma linha de referência o novo plano continua acompanhando o movimento do cursor, no entanto, ele pode ser alinhado paralelamente ou perpendicularmente à linha escolhida, com precisão, na medida em que usuário se aproxima da posição desejada.
4. Por fim, clica-se mais uma vez sobre o plano original para determinar a posição final do novo SR.

Assim, para esta tarefa seja realizada com sucesso, o aluno deve reconhecer as arestas projetadas da face (em meio às arestas do sólido), reconhecer os tipos de projeções da face (reduzida, acumulada ou VG) e saber em qual posição o novo SR deve ser colocado (paralelo ou perpendicular à projeção acumulada da face) para que se obtenha uma projeção em VG da face. A Figura 44 apresenta um sólido que contém uma face com projeção acumulada no PF. Ao se posicionar um Novo SR paralelo a esta face, a VG da face é obtida. O mesmo processo é mostrado no ambiente da épura. Ainda que a face seja invisível daquele ponto de vista sua projeção é uma VG.

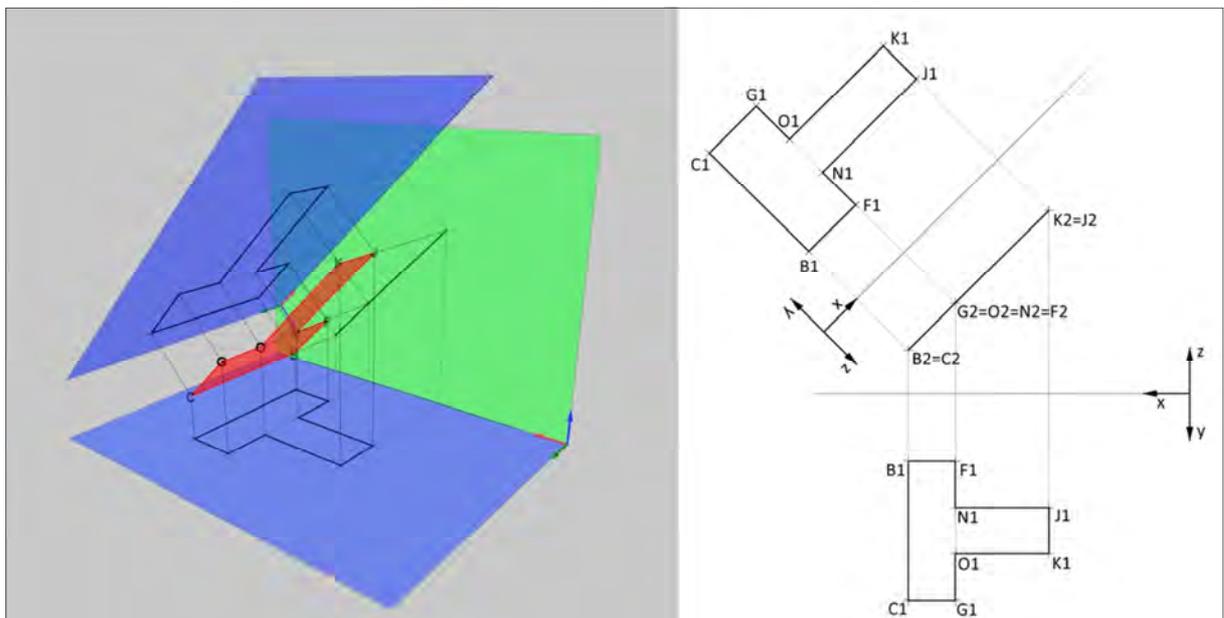
Figura 44: Determinação da VG da face acumulada.



Fonte: O Autor.

Na Figura 45 a face estudada foi isolada do sólido, mostrando tanto no ambiente 3D como na épura o novo plano criado com a projeção em VG da face. A possibilidade de isolar elementos, tanto arestas como faces é uma funcionalidade importante do programa.

Figura 45: Determinação da VG da face, isolada do sólido a que pertence.



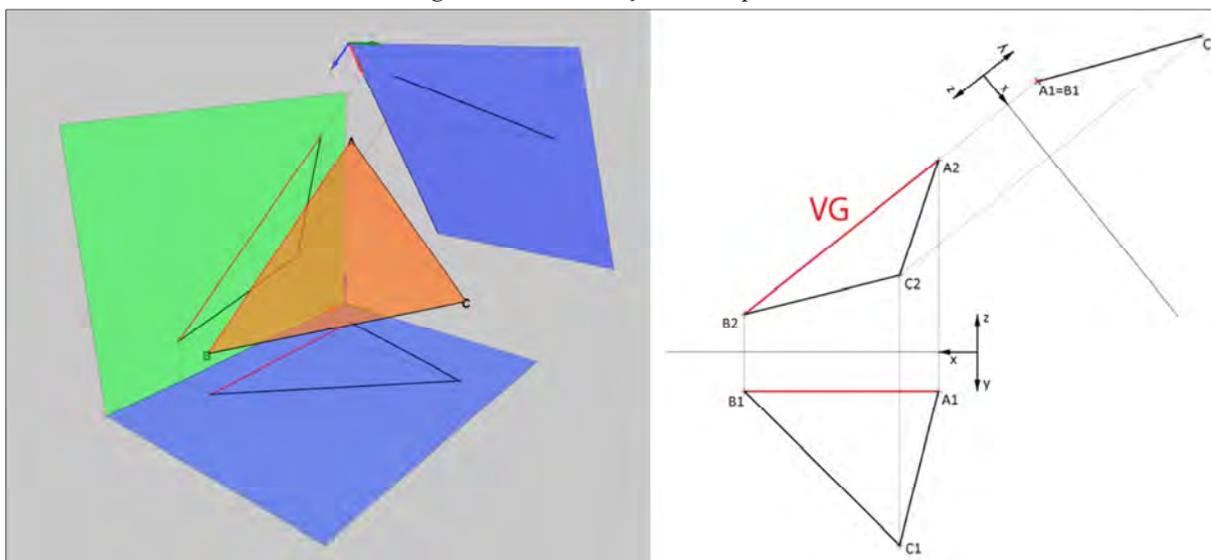
Fonte: O Autor.

#### 4.1.2.3 DETERMINAR A PROJEÇÃO ACUMULADA<sup>13</sup> DE UMA FACE ATRAVÉS DE MSR

Muitos dos problemas estudados em Geometria Descritiva podem ser resolvidos através da acumulação de um plano: determinação de distâncias (ponto-plano, reta-plano e plano-plano), determinação do ângulo entre a face o plano de projeção (ou entre faces), determinação da VG da face (como um passo intermediário) ou mesmo interseção de planos com o sólido. Assim, a acumulação de planos é um dos processos fundamentais para a solução de problemas em GD.

Assim como anteriormente, a MSR é a ferramenta para realizar esta tarefa, e também demanda que aluno entenda o processo e saiba quais condições são necessárias para que a projeção de uma face acumulada. Conforme Hawk (1962, p. 28), para se acumular um plano é necessário acumular uma reta deste plano. Quando uma reta tem sua projeção acumulada, significa que sua outra projeção (relacionada a ela pela linha de terra) está em VG, e perpendicular à linha de terra. Todo o plano que contém esta reta, também está, necessariamente, perpendicular ao plano de projeção. A Figura 46 mostra a criação de um Novo Plano de projeção, posicionado perpendicular à projeção em VG da reta AB (pertencente à face), fazendo com que a projeção da face apareça acumulada no novo SR, juntamente com a reta AB.

Figura 46: Acumulação de um plano.



Fonte: O Autor.

<sup>13</sup> Um plano com projeção acumulada também é conhecido como um plano projetante. Planos Projetantes são planos perpendiculares a, pelo menos, um dos Planos de Projeção.

Portanto, para que face seja acumulada é necessário posicionar um novo SR perpendicularmente a uma reta em VG da face, isto fará com que a reta e a face apareçam acumuladas no novo plano de projeção. Caso não exista uma aresta com projeção VG, é possível criar uma reta que pertença ao plano e que tenha uma das projeções em VG, para que se possa realizar a tarefa.

Outro problema comum na GD é a determinação da VG de uma face oblíqua, que originalmente apresenta apenas duas projeções reduzidas. É possível determinar as dimensões reais da face através de duas MSR sucessivas.

#### *4.1.2.4 ENCONTRAR A VG DE UMA FACE OBLIQUA ATRAVÉS DE MSR SUCESSIVAS*

Nos itens anteriores, apenas usando a ferramenta de MSR, foi demonstrado como obter a VG de uma face quando já existe uma projeção acumulada da face e também foi demonstrado como acumular uma face oblíqua a partir da VG de reta que pertença a face. Unindo-se estes dois conceitos, é possível então acumular uma face oblíqua e depois determinar sua VG utilizando para isto duas MSR consecutivas.

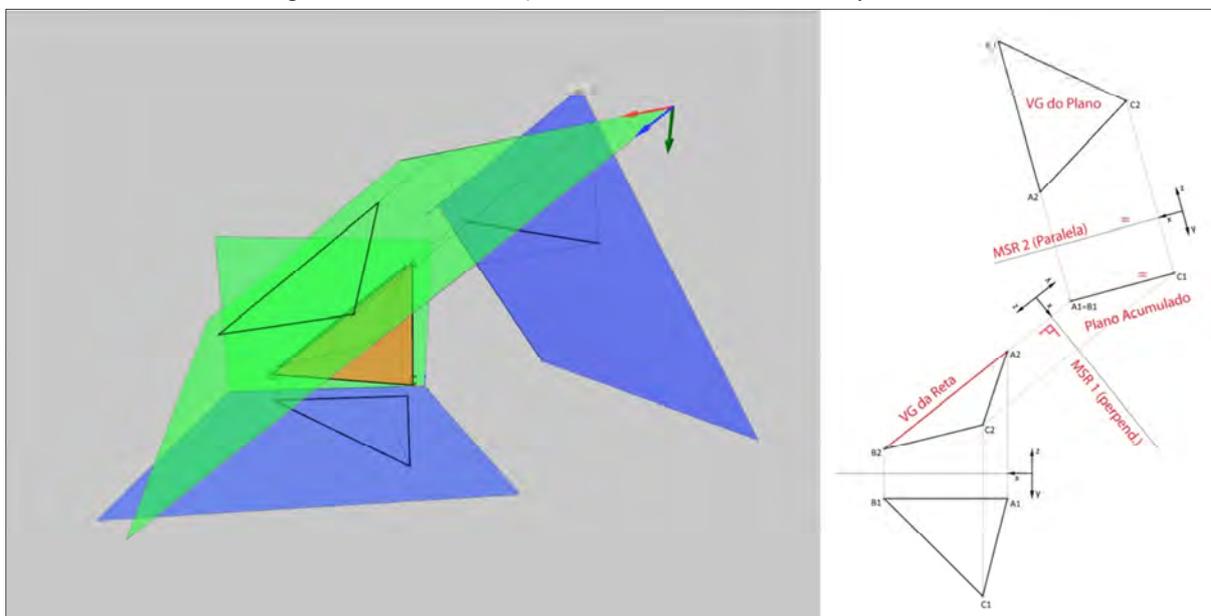
Este problema já é mais complexo para os alunos porque para alcançar a solução (a VG da face) é preciso primeiro construir as condições necessárias para isto (reta em VG e face acumulada), o que implica em um raciocínio lógico com alto grau de abstração e conhecimento dos procedimentos gráficos envolvidos. Este problema pode ser resolvido da seguinte maneira:

1. Encontrar uma projeção em VG de uma reta que pertença à face (caso não exista, deve-se criar uma reta na face).
2. Criar a primeira MSR, relacionada ao plano onde a reta é projetada em VG, colocando a nova linha de terra perpendicular a reta em VG (para acumular a reta e a face).
3. Criar uma segunda MSR, relacionada à primeira MSR, colocando a nova linha de terra paralela a projeção acumulada da face, criando assim a projeção em VG da face.

A Figura 47 ilustra este processo usando o mesmo exemplo anterior. A reta AB tem sua VG no plano Frontal de Projeção, a primeira MSR (MSR1) cria um plano Horizontal (plano azul) posicionado perpendicularmente à VG da reta obtendo uma projeção acumulada da face;

a seguir, uma nova MSR (MSR2 - plano verde) é posicionada paralelamente a projeção acumulada da face, onde é projetada a sua VG. Nesta mesma figura aparece a écura correspondente.

Figura 47: Duas mudanças sucessivas do Sistema de referencia.



Fonte: O Autor.

Neste exemplo foi utilizada apenas uma face isolada, mas o mesmo processo pode ser feito para uma face pertencente a um sólido, neste caso o sólido é também representado em todas as mudanças de sistema de referencia com suas respectivas visibilidades. Este processo gerar diversas vistas diferentes do sólido e pode ser usado para que se determine uma vista específica.

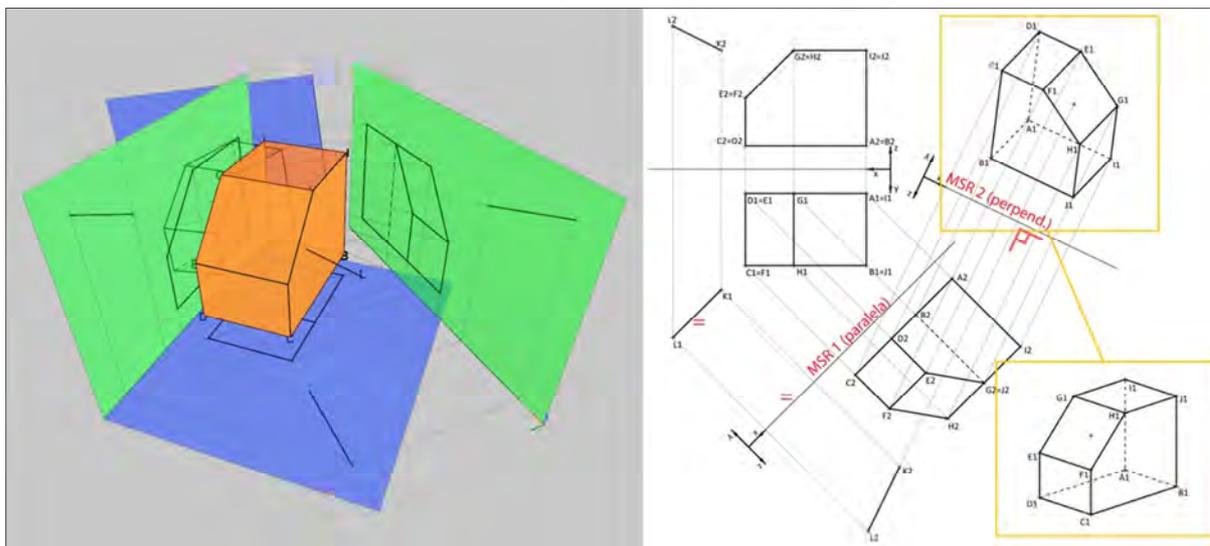
#### 4.1.2.5 DETERMINAÇÃO DE PERSPECTIVAS AXONOMÉTRICAS DE UM SÓLIDO

Uma perspectiva axonométrica é uma projeção cilíndrica ortogonal de um objeto sobre um plano que está oblíquo em relação aos eixos principais do objeto de tal modo que estes eixos não fiquem acumulados na projeção. Como o sistema Mongeano de representação é baseado na projeção cilíndrica ortogonal, o objeto é sempre projetado perpendicularmente ao plano de projeção em direção a ele, ou seja, o sentido de projeção pode ser representado por vetor normal ao plano de projeção que aponta para o objeto em direção a este plano.

Desta forma é possível definir um segmento de reta qualquer no espaço, e a partir de MSR sucessivas posicionar um novo plano de projeção de tal modo que ele fique perpendicular a este segmento de reta, obtendo assim a projeção do objeto segundo um ponto de vista específico, de quem esta na ponta da reta olhando para o objeto na direção da reta.

Por ter uma direção, um sentido e, assim, definir uma vista específica este segmento de reta criado é chamado de Vetor de Observação (VO). Frequentemente, ele é posicionado de maneira oblíqua em relação aos eixos principais do objeto, para que se obtenha uma perspectiva onde nenhum dos eixos esteja acumulado, uma perspectiva axonométrica.

Figura 48: Duas MSR sucessivas para acumular o VO e obter a perspectiva.



Fonte: O Autor.

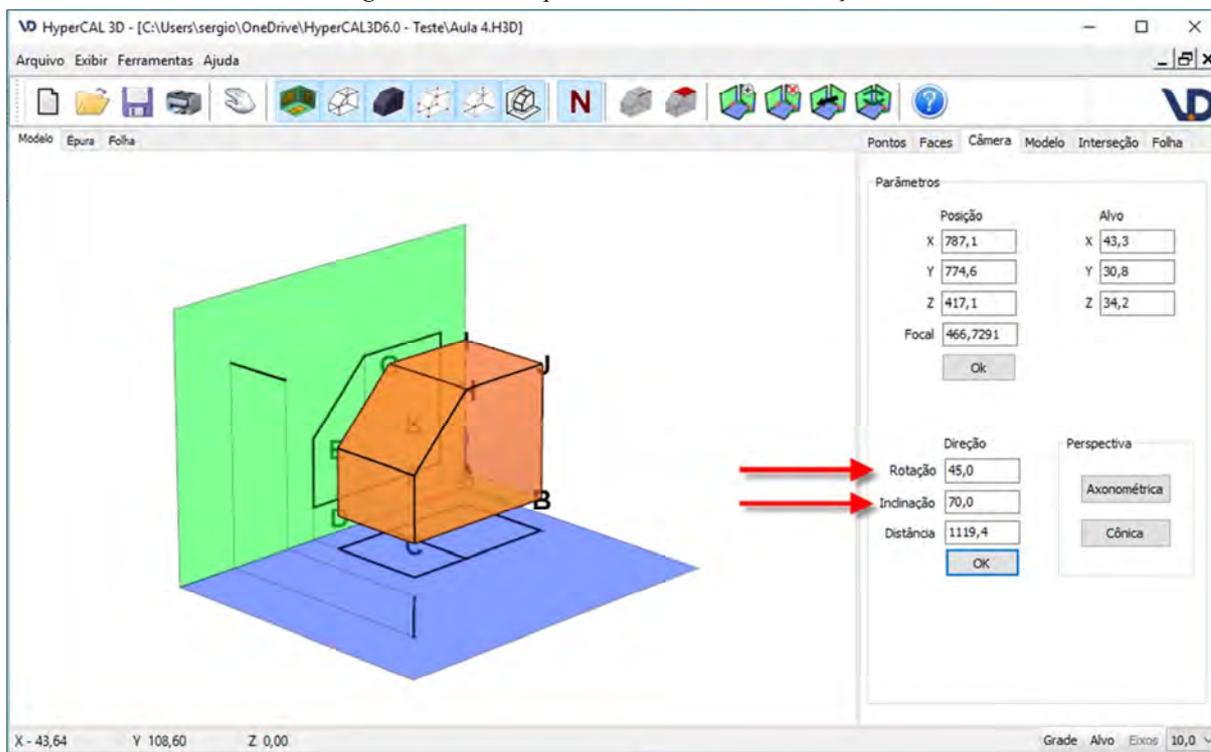
A Figura 48 mostra um exemplo onde um VO (segmento LK) foi criado para que se obtenha uma vista do objeto. Uma primeira MSR (MSR1 - plano verde) é criada paralela a projeção horizontal do segmento, obtendo a VG do segmento LK, uma segunda MSR (MSR2 - plano azul) é posicionada perpendicular à VG do segmento LK para definir a perspectiva axonométrica de quem está posicionado em “K” olhando para o objeto na direção de “L”. No ultimo plano de projeção o objeto aparece em perspectiva e o VO aparece acumulado.

É possível ainda posicionar a câmera virtual no ambiente 3D de tal maneira que Vetor de Observação apareça acumulado, para que se possa olhar o sólido (com análise de visibilidade) segundo aquele ponto de vista determinado e comparar com os resultados obtidos nas projeções através das MSR. Para isto, o programa tem uma aba para o controle dos parâmetros da câmera, onde se pode informar de diversas maneiras a posição da câmera com precisão, além de poder movimentar a câmera diretamente com o cursor na área de trabalho.

A Figura 49 mostra o sólido no ambiente 3D segundo o ponto de vista do VO (que aparece acumulado), que pode ser comparado à perspectiva axonométrica obtida na Figura 48. Neste exemplo, a posição da câmera foi configurada com a utilização dos ângulos de rotação (ângulo da projeção do VO em relação ao plano frontal) e inclinação (ângulo real do VO em

relação ao plano horizontal) do VO. A vista resultante é a mesma obtida na épura da imagem anterior (destacada no quadro vermelho).

Figura 49: Vista a partir do Vetor de Observação.



Fonte: O Autor.

É importante ressaltar que o procedimento utilizado até agora é o mesmo para todos estes problemas, a MSR. Cabe ao usuário determinar a direção adequada da MSR para resolver o problema. Este mesmo raciocínio pode ser novamente empregado para obtenção das vistas principais dos objetos.

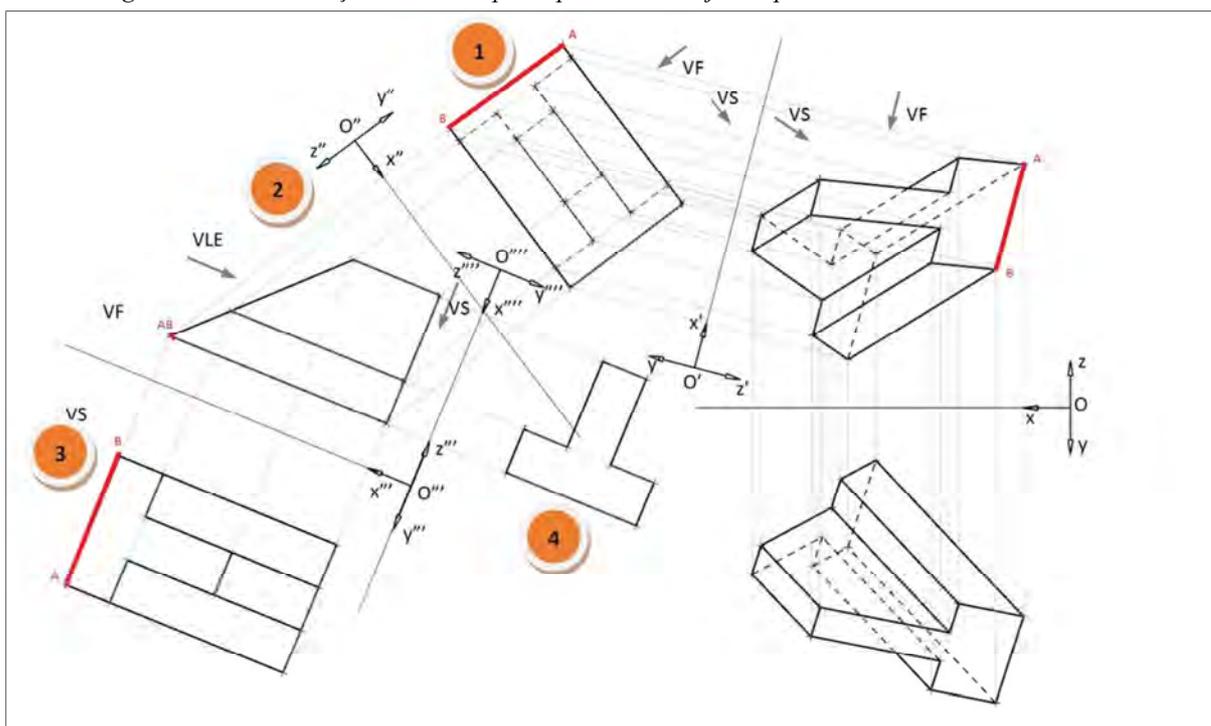
#### 4.1.2.6 DETERMINAÇÃO DAS VISTAS ORTOGRÁFICAS PRINCIPAIS DE UM SÓLIDO

Quando as projeções de um objeto estão alinhadas com os eixos do sistema de referência de forma a fornecer o máximo de informações sobre o objeto com o mínimo de linhas invisíveis elas são chamadas de Vistas principais. As vistas principais são importantes por fornecer as verdadeiras grandezas das dimensões do objeto, possibilitando seu projeto e execução de maneira precisa. Mais frequentemente as vistas principais são a vista frontal e vista superior do objeto. Conforme a NBR 10067 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 4) denomina-se de vista frontal a vista mais importante da peça, geralmente indicando a posição de utilização, e as outras vistas são denominadas em função desta.

Quando um objeto é apresentado por vistas axonométricas quaisquer, as vistas principais podem ser obtidas utilizando uma sequência de MSR, posicionados de maneira a se obter as condições necessárias para que as projeções dos objetos estejam na direção esperada (alinhadas com os eixos principais).

Em uma vista qualquer, a direção de projeção pode ser reconhecida pelas arestas que aparecem acumuladas nesta vista. Sabendo-se quais arestas devem aparecer acumuladas na vista frontal final, é possível planejar a sequência de MSR de tal modo que esta condição ocorra. Uma aresta aparece acumulada em uma projeção (por exemplo: PF) quando sua projeção correspondente anterior (PH) é uma VG e está perpendicular à linha de terra. Uma aresta aparece em VG em uma projeção (PH) quando sua projeção correspondente anterior (PF) está paralela à linha de terra (ou acumulada). A Figura 50 ilustra esta sequência.

Figura 50: Determinação das vistas principais de um objeto a partir das vistas axonométricas.



Fonte: Adaptado de (TEIXEIRA e SANTOS, 2014).

À direita, o objeto é mostrado nas vistas axonométricas. A direção da vista Frontal (VF) do objeto foi definida em função da direção das arestas que devem aparecer acumuladas (todas paralelas a AB) na VF final. Na primeira MSR, a linha de terra foi posicionada paralela à aresta AB, para a próxima projeção (1 - PH) fosse uma VG desta aresta. A segunda MSR foi posicionada perpendicular a VG da aresta para que a próxima projeção acumulasse a aresta AB (2 - PF) já obtendo a VF final. Por fim, mais uma MSR paralela à base do objeto

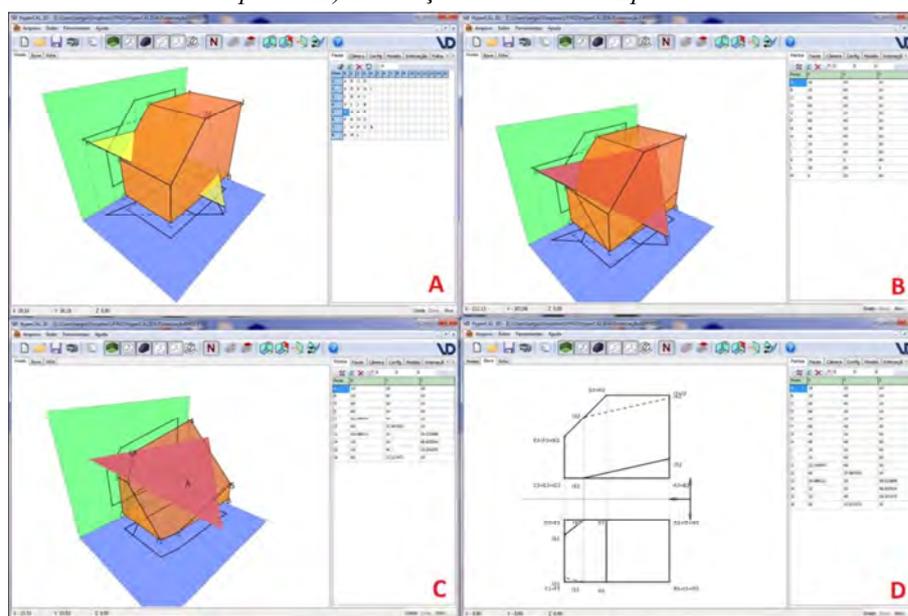
determina a Vista Superior (3 –PH), formando assim o par de vistas principais. Neste exemplo foi criada ainda a vista lateral (4 - PH).

#### 4.1.2.7 ENCONTRAR A INTERSEÇÃO ENTRE PLANO E SÓLIDO (CORTE DO SÓLIDO)

A Metodologia baseada em Projetos para o ensino da GD (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2006) utiliza o sólido como objeto de estudo. Uma das premissas desta metodologia é utilizar a GD como ferramenta de projeto do sólido, dando um significado prático ao aprendizado desta disciplina. O conceito de interseção entre planos faz parte do currículo da GD, e nesta nova metodologia é empregado para modelar o sólido através de cortes.

Para resolver o problema os alunos são instruídos a acumular o plano secante para identificar em que pontos as arestas são cortadas por ele. Identificados os novos pontos nas arestas cortadas, eles são ligados considerando-se as faces a que pertencem, criando assim um perímetro de corte no sólido, que é a interseção do plano com o sólido. É possível ainda escolher uma das partes do sólido para ser retirada, deixando a outra e, assim, modificando a volumetria final. A Figura 51-A mostra o sólido (inteiro) e o plano secante. A Figura 51-B mostra a interseção já calculada do plano com o sólido, a Figura 51-C mostra apenas a parte de baixo do sólido e o plano secante e a Figura 51-D mostra o desenho em épura correspondente a interseção do sólido com o plano, considerando a visibilidade do sólido ainda inteiro.

Figura 51: A) Plano de referência que intercepta o sólido. B) Cálculo da interseção. C) Sólido cortado pelo plano. D) Interseção mostrada em Épura.



Fonte: O Autor.

O HyperCAL<sup>3D</sup> tem uma aba específica para a determinação da interseção por ser um exercício recorrente criado pelos professores, desta forma é possível testar rapidamente os diferentes resultados antes passar o exercício para os alunos. Como a determinação da interseção implica na criação de novos pontos (com coordenadas quebradas) e reconfiguração da topologia das faces do sólido, isto além de impreciso seria muito trabalhoso de se fazer manualmente e poderia prejudicar o uso deste método, por isto, esta é uma das únicas ferramentas do programa que mostra o resultado automaticamente.

O programa foi desenvolvido com o intuito de auxiliar na criação e projeto de objetos sólidos, que é um dos pilares fundamentais da nova metodologia de ensino da GD a desde sua criação em 2006 tem sido usado pelos alunos e professores cumprindo com louvor este objetivo.

#### 4.1.2.8 *EXEMPLOS CRIADOS PELOS ALUNOS*

As disciplinas de GD, dependendo do currículo do curso em que estão inseridas, têm características diferentes. Nos cursos de Engenharias são separadas em duas disciplinas (ARQ03317 e ARQ03320) de dois créditos com carga horária de 30 Horas cada (Anexo 1 e Anexo ), já no curso de Arquitetura (ARQ03004) e nos cursos de Design (ARQ03065), a GD é trabalhada em uma única disciplina de quatro créditos com carga horária de 60 Horas (Anexo e Anexo ). Também os exemplos de sólidos trabalhados em cada disciplina são voltados ao interesse dos alunos daquele curso específico. Assim, dependendo do curso e da carga horária trabalhada na disciplina, diferentes abordagens de trabalho podem ser escolhidas.

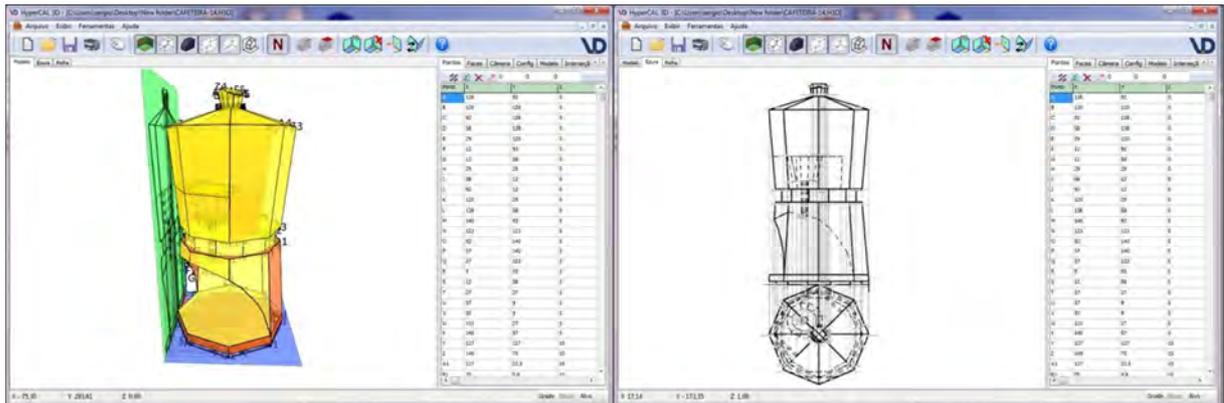
Como exemplo, são trazidos aqui alguns trabalhos dos alunos que cursaram a disciplina de “Geometria Descritiva para Designers” no semestre de 2012-2. São exemplos dos trabalhos finais da disciplina que consistia em projetar uma cafeteira, considerando apenas os aspectos formais. A cada semestre um tema era escolhido e eram estabelecidas algumas restrições a serem observadas (número máximo de vértices, cortes no sólido, adições, subtrações, encaixes, entre outros).

Este trabalho final tinha por objetivo colocar em prática todo o conteúdo do semestre para a execução de um projeto, e exigia uma de série de pranchas, desenhadas no papel pelo aluno manualmente, onde deveriam representar o objeto projetado: Épura inicial dos sólidos básicos, épura dos cortes realizados no sólido, planificação das superfícies para construção da

maquete, entre outros. Além destes desenhos o aluno deveria também construir o modelo virtual do objeto no HyperCAL<sup>3D</sup>.

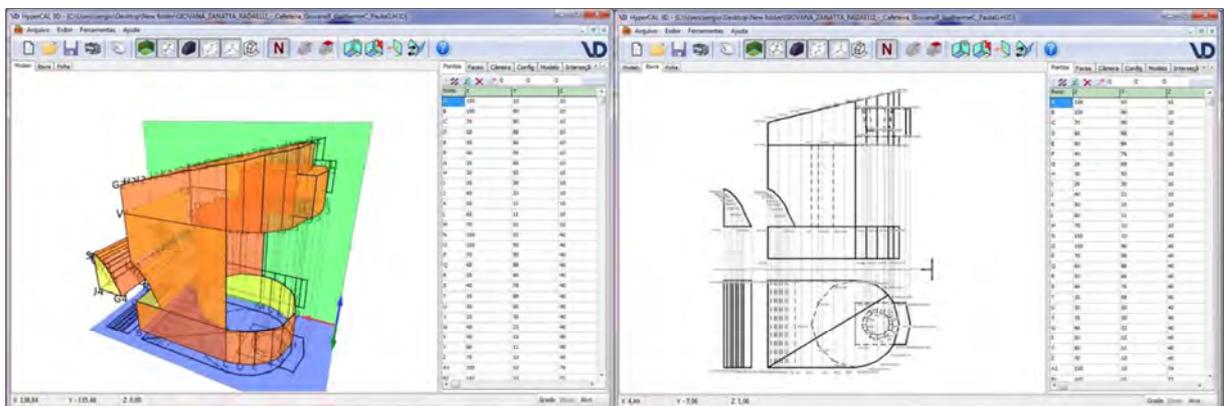
As Figuras a seguir (Figura 52 até a Figura 55) mostram alguns exemplos dos arquivos virtuais dos trabalhos finais que tiveram como tema “uma cafeteira” construídos pelos alunos no semestre de 2012-2 da disciplina ARQ03065 – Geometria Descritiva para Designers.

Figura 52: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2.



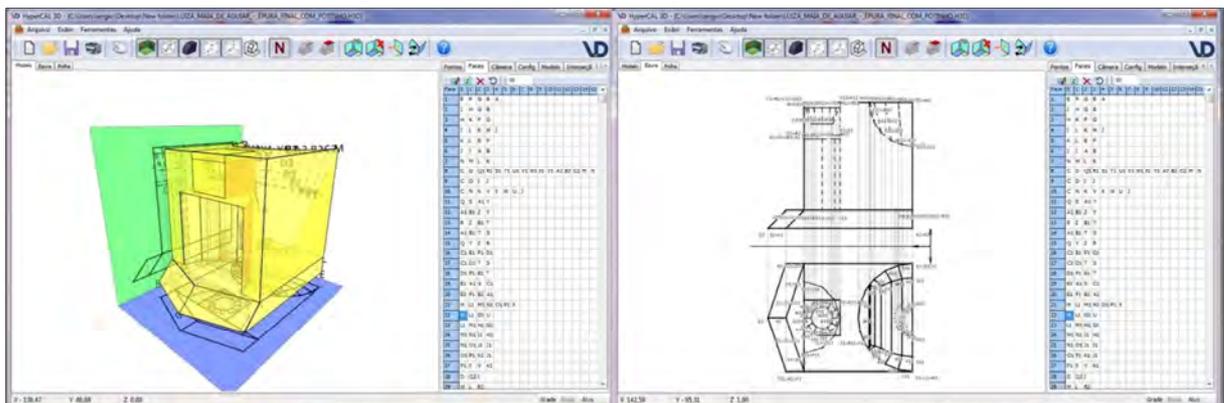
Fonte: O Autor.

Figura 53: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2.



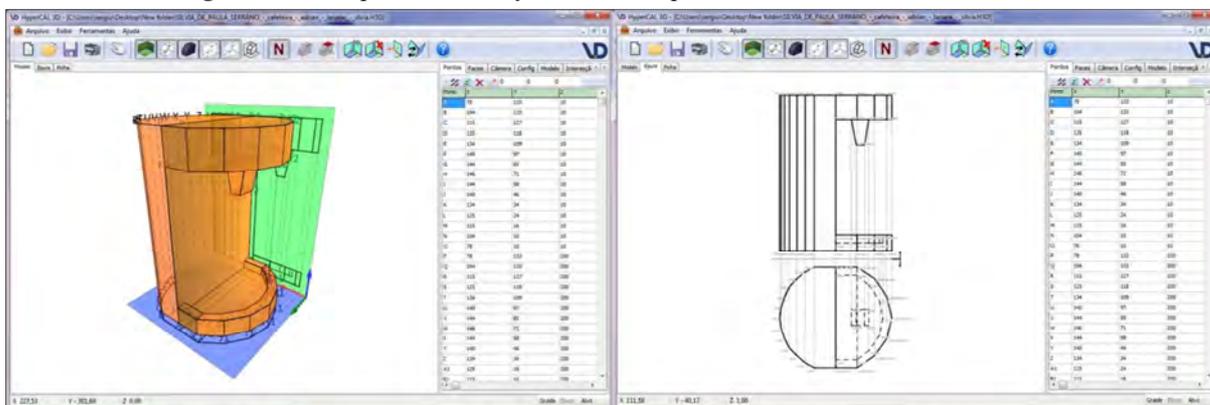
Fonte: O Autor.

Figura 54: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2.



Fonte: O Autor.

Figura 55: Exemplo de uma Cafeteira criada por um aluno no semestre 2012-2.



Fonte: O Autor.

É possível notar, a partir das imagens, que o nível de complexidade alcançado na disciplina vai muito além do que normalmente se trabalha no ensino tradicional da GD. Toda a complexidade do objeto criado virtualmente se refletia nos desenhos manuais com o auxílio de instrumentos entregue pelos alunos, que complementavam o trabalho. Ao todo eram em torno de 10 pranchas no formato A3, desde as épuras iniciais até apresentação das operações realizadas na modelagem dos sólidos (cortes, acréscimos, planificações, etc.).

Além da evolução histórica do HyperCAL<sup>3D</sup> e da utilização em sala de aula é importante descrever também a sua metodologia de desenvolvimento, incluindo alguns detalhes técnicos dos algoritmos criados para simular os processos geométricos da GD.

#### 4.1.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO HYPERCAL<sup>3D</sup>

Este item apresenta as principais abordagens metodológicas no desenvolvimento do HyperCAL<sup>3D</sup>, incluindo a seleção e análise dos Conceitos e processos gráficos da GD a serem representados no programa, o processo de geração das projeções, mudança do sistema de referencia, a representação das linhas ocultas (tracejadas), a representação planificada das projeções em Épura e a Interseção entre planos. Além destes também são descritos os principais aspectos da interface gráfica interativa e a estrutura de dados que permite as operações vetoriais com os objetos gráficos (TEIXEIRA e SANTOS, 2013).

A simulação computacional dos processos gráficos utilizados na GD em um ambiente tridimensional foi feita a partir de uma análise vetorial. Esta abordagem permitiu muitos dos problemas de computação gráfica fossem resolvidos utilizando os mesmos processos utilizados na GD, fazendo com que o próprio projeto do programa seja baseado nos conceitos da GD.

O processo de desenvolvimento é descrito a seguir com suas principais etapas:

- Seleção dos principais Conceitos da GD a serem representados pelo programa e análise dos Conceitos decompondo seus processos gráficos em funções suas primárias;
- Síntese das Principais Operações Vetoriais equivalentes aos processos básicos utilizados na GD.
- Ambiente Gráfico interativo que permitisse a seleção e visualização dos objetos.
- Desenvolvimento da Estrutura de Dados do HyperCAL<sup>3D</sup> para permitir a representação e interação com os objetos, bem como, permitir as operações vetoriais necessárias.

#### 4.1.3.1 SELEÇÃO DE CONCEITOS

O currículo da disciplina de Geometria Descritiva lecionado na UFRGS inclui os conceitos básicos tradicionais da GD e outros conceitos e aplicações mais avançadas introduzidos com a nova Metodologia de Aprendizado baseado em projetos (TEIXEIRA, SILVA, *et al.*, 2006) e com a possibilidade de uso de um *software* em sala de aula. Inicialmente alguns destes conceitos foram escolhidos para serem implementados no HyperCAL<sup>3D</sup>, seja por sua importância para os processos gráficos ou mesmo pela dificuldade de realiza-los em sala de aula sem o uso de um *software*:

- **Sistema de projeção:** Tipos de sistemas projetivos; Sistema Mongeano (Dupla projeção): características do sistema de referência, nomenclatura, coordenadas e planificação de sistema para formação da Épura.
- **Conceitos Básicos:** Tipos de projeções de planos e retas (faces e arestas do sólido); projeções acumuladas, reduzidas e em Verdadeira Grandeza (VG); Tipos de retas e tipos de plano em função de suas posições particulares em relação ao sistema de projeção Mongeano; Pertinência e posições relativas entre retas (concorrentes em um ponto, reversas e paralelas); Pertinência e posições relativas entre planos; Representação da Visibilidade de arestas e faces.
- **Mudanças de Sistema de Referência Primária:** Princípios; Aplicações para obtenção de VG de arestas oblíquas e obtenção de VG de faces acumuladas do sólido; Aplicações para acumular as projeções de arestas e faces.

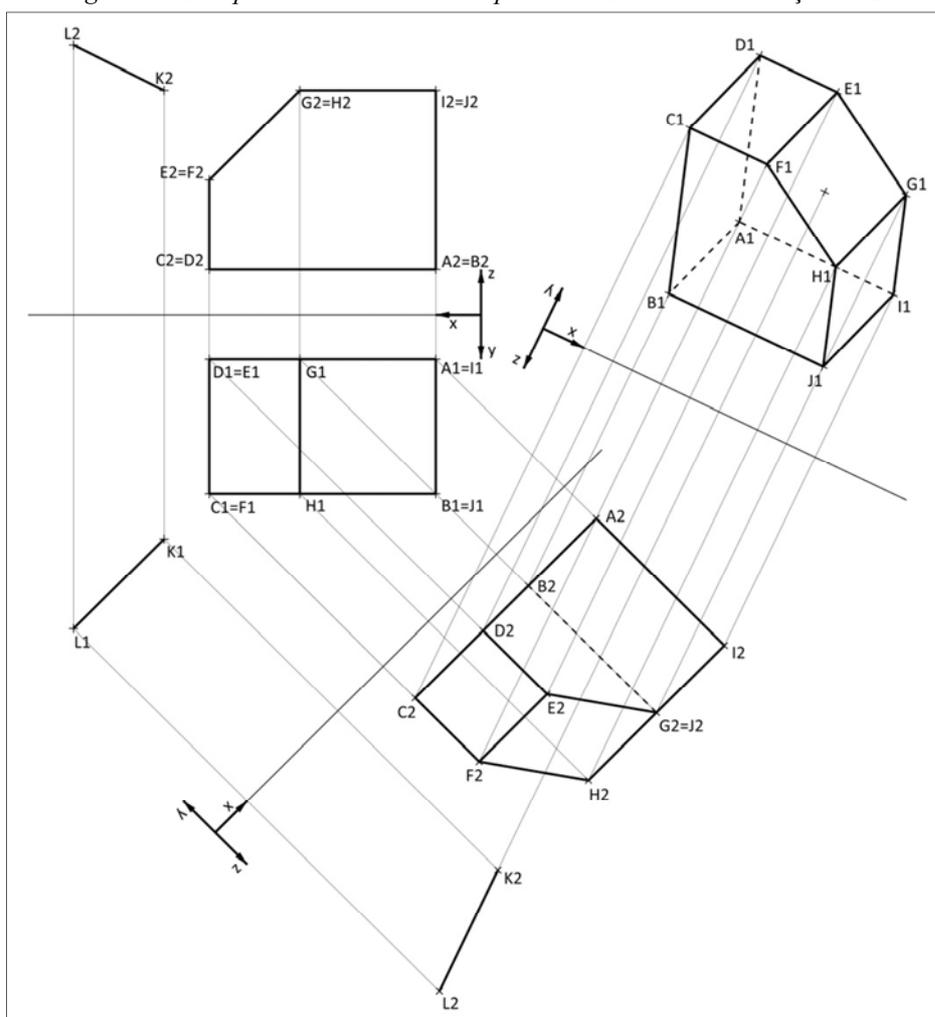
- **Mudanças de Sistema de Referência Sucessivas:** Princípios; Aplicações para obtenção de VG de faces do sólido, obtenção de ângulo real entre arestas e entre faces; Aplicações para obtenção de vistas perspectivas axonométricas; Aplicações para obtenção das vistas principais de um sólido.
- **Modelagem de sólidos:** Perpendicularismo e Paralelismo entre arestas e faces de um sólido; Distância; Extrusão; Cortes do sólido a partir de planos; Interseção entre reta/plano e plano/plano.

Todos os conceitos básicos da GD foram incluídos no programa inclusive com respeito a hierarquia do traçado das linhas, onde os objetos de desenho (projeção dos pontos, arestas e faces) têm um traço mais largo e linhas de construção (linhas de chamada) tem um traço mais fino. A chamada “Mudança de sistema de Referência” (MSR) é uma nova nomenclatura para a tradicional “Mudança de Plano” com a intenção de aproximar a disciplina se suas bases matemáticas, fazendo a relação com outras disciplinas da Matemática que fazem parte dos currículos de graduação (Vetores e Geometria Analítica, por exemplo), bem como para identificar estes conceitos quando as disciplinas de Computação Gráfica forem cursadas mais adiante, como é o caso dos cursos de Design Visual, Design de produto e Arquitetura. O processo de Extrusão também foi adicionado aos conceitos de GD para preparar o aluno para a modelagem geométrica trabalhada nas disciplinas de Computação Gráfica dos semestres seguintes.

Assim, esta mudança de nomenclatura e inclusão de novos conceitos favorece a criação de vínculos com as demais disciplinas dos cursos de Engenharia, Arquitetura e Design, tornando aquele conteúdo significativo para o aluno. Além dos conceitos básicos, foram adicionadas aplicações para as MSR para obtenção de perspectivas Axonométricas, que normalmente não estão no currículo da disciplina.

A Figura 56 mostra a épura de uma perspectiva axonométrica do sólido considerando a reta KL como o vetor de visualização a partir de duas MSR, a primeira linha de terra colocada paralela ao vetor de visualização (reta KL) para encontrar a VG do vetor e a segunda Linha de Terra colocada perpendicular ao vetor de visualização para acumular o mesmo. Neste caso é preciso considerar a direção de observação do vetor, para que a perspectiva obtida tenha a visibilidade correta.

Figura 56: Perspectiva Axonométrica a partir de K olhando na direção de L.

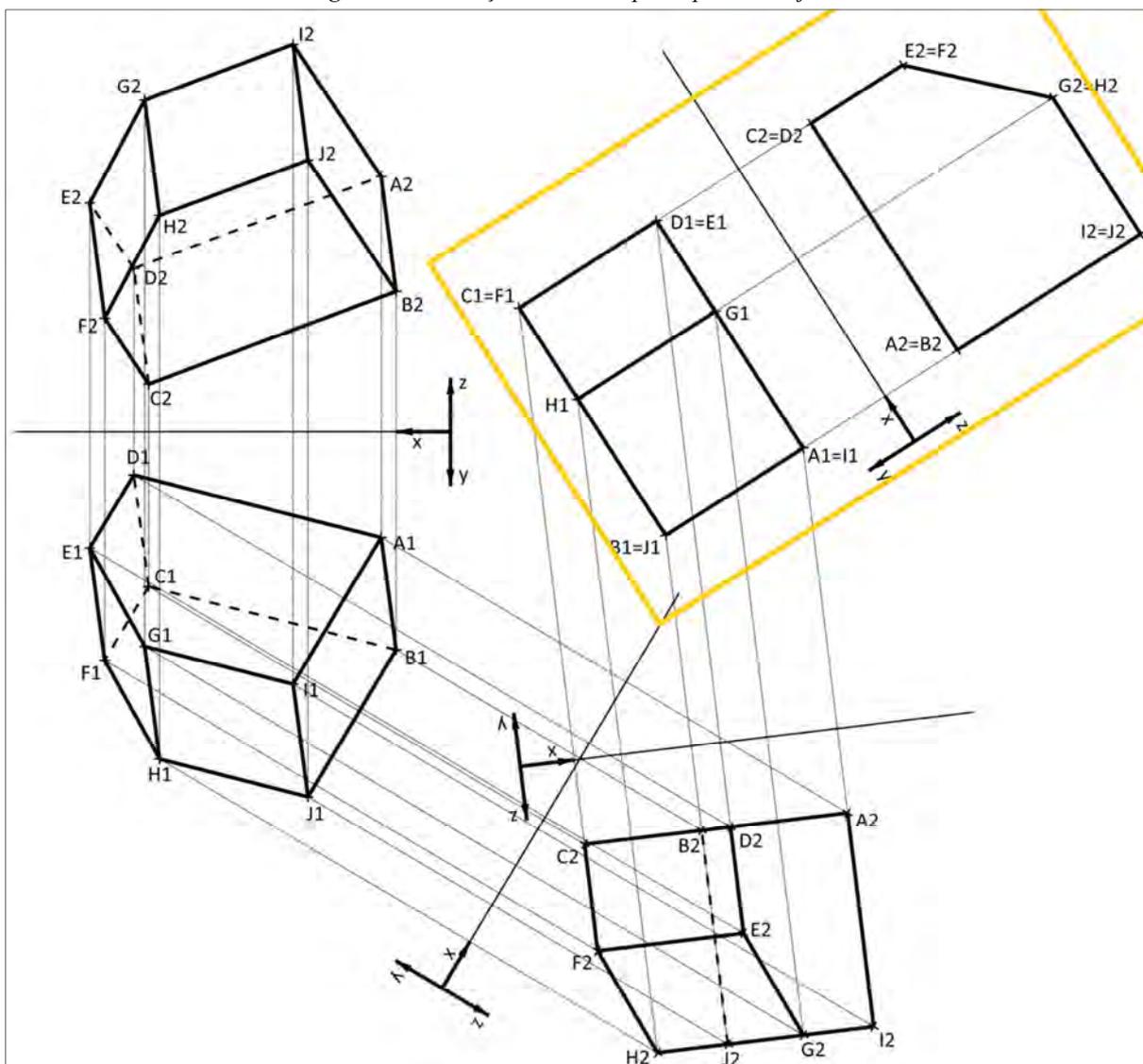


Fonte: O Autor.

A partir da criação de um “Vetor de visualização” (uma reta no espaço apontando para o sólido), com sucessivas MSR é possível acumular este vetor e obter a vista axonométrica do objeto segundo a direção da reta, considerando o observador na ponta da reta olhando para o sólido. Ainda relacionado a este tópico é a obtenção das vistas principais do objeto (superior e frontal) a partir de duas vistas oblíquas através de sucessivas MSR, que é o mesmo processo no sentido inverso da obtenção da perspectiva. A Figura 57 ilustra a obtenção das vistas principais do objeto a partir de vistas em perspectiva.

A partir da análise destes conceitos, observou-se que o conceito de projeção é a base para as transformações e a representação, está em um nível mais baixo. Em um nível intermediário se encontram a épura e o sistema de referência, que dependem das projeções. E em um nível mais alto estão os conceitos de cortes e interseções que utilizam os sistemas de referência como base.

Figura 57: Obtenção das vistas principais do objeto.



Fonte: O Autor.

Para que pudessem ser implementados, estes conceitos foram desdobrados em operações vetoriais correspondentes para simular em um ambiente computacional os mesmos processos gráficos utilizados na GD.

#### 4.1.3.2 SÍNTESE DAS PRINCIPAIS OPERAÇÕES VETORIAIS

Os itens a seguir demonstram as principais abordagens para criação das ferramentas necessárias: sistema de projeção virtual, MSR, a representação das linhas ocultas como tracejadas, a representação em Épura e a interseção com planos.

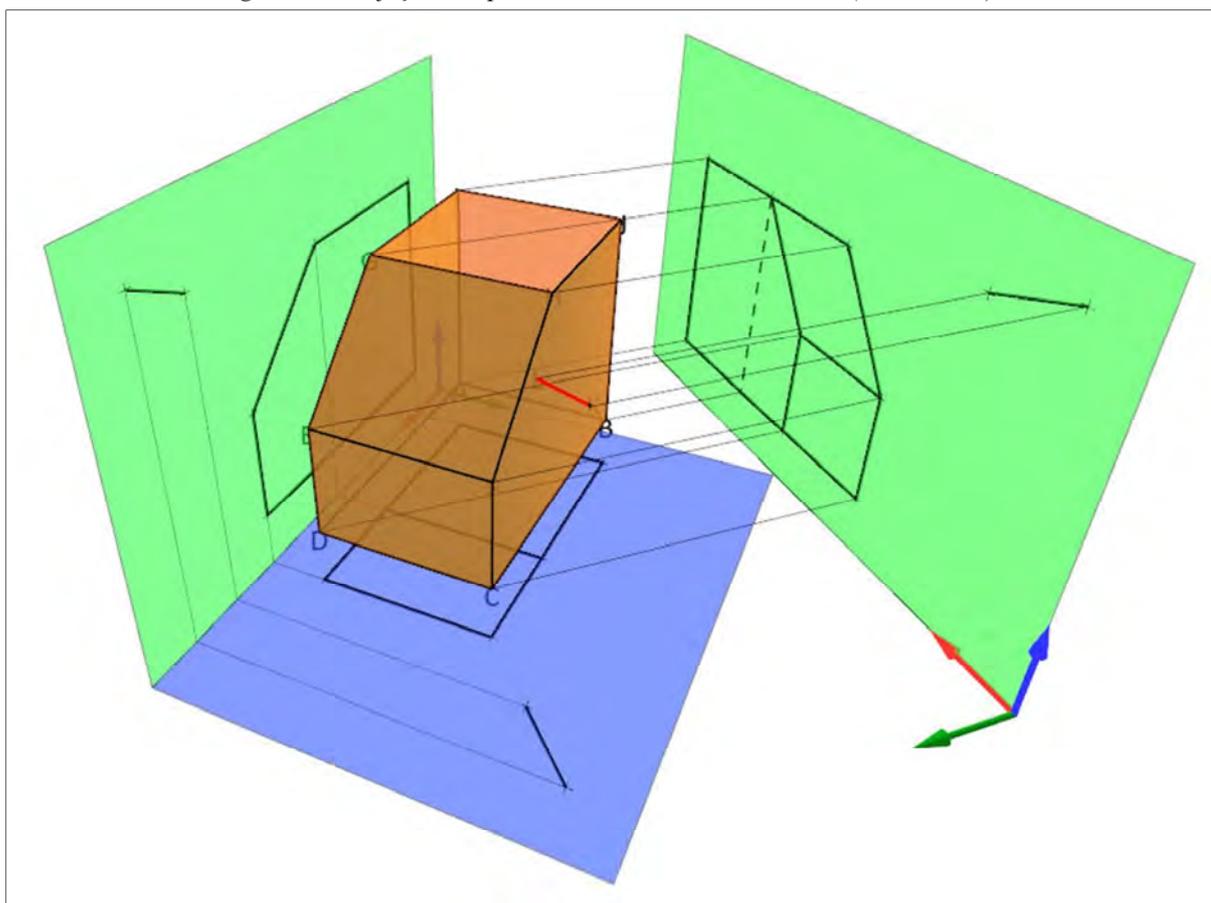
##### A. Sistema de Projeção Virtual

A partir de operações vetoriais simples, como produto escalar e produto vetorial, é possível simular os processos gráficos utilizados na GD. O produto vetorial entre dois vetores tem

como resultado um terceiro vetor perpendicular a ambos, a partir deste conceito é possível se construir um sistema de referencia com três vetores perpendiculares entre si (X,Y e Z). Desta forma é criado um sistema de referencia Global (SRG) onde as coordenadas dos pontos do sólido serão inseridas e o sólido criado. Utilizando a mesma técnica, quando duas arestas de uma face são os vetores originais, o vetor resultante é um vetor normal à face, criando assim um sistema de referencia local (SRL), onde X e Y pertencem ao plano da face e Z é perpendicular a ela. Já o produto escalar entre dois vetores tem como resultado a projeção de um vetor sobre o outro. Isto permite que, quando combinado a um sistema de referencia, as projeções de um vetor sobre cada um dos eixos deste sistema sejam representadas, obtendo, assim, as coordenadas de um ponto em um sistema e referencia qualquer.

Na Figura 58, é possível notar a projeção dos pontos do sólido em um novo sistema de referencia sendo criado paralelo à reta KL (indicada em vermelho no centro da imagem).

*Figura 58: Projeção dos pontos em um novo sistema local (Novo Plano).*



*Fonte: O Autor.*

Desta forma, é possível criar sistemas de referencia em qualquer posição do espaço (perpendiculares ou paralelos a qualquer reta) e obter as projeções dos pontos em qualquer um

destes sistemas. As projeções dos objetos sobre o plano de projeção (como utilizado na GD) são obtidas quando as coordenadas Z locais dos pontos são igualadas a zero, isto faz com que os pontos projetados fiquem sobre o plano XY local. Uma vez projetados sobre o novo plano, as coordenadas locais são novamente transformadas para as coordenadas globais e as projeções dos pontos são conectadas segundo a topologia do modelo sólido. Por serem cálculos simples, este procedimento é rápido e eficiente.

No HyperCAL<sup>3D</sup>, assim como no sistema Mongeano, os novos planos de projeção são sempre perpendiculares a um plano existente, são pares de planos ortogonais (um horizontal – Azul, e outro frontal – Verde), formando um diedro de dupla projeção. A estrutura de classes do HyperCAL<sup>3D</sup> permite a criação ilimitada de uma ou mais sequencias de novos planos de projeção, cada um com seu próprio sistema de referencia e as respectivas projeções locais.

## **B. Mudança do Sistema de Referência**

Na nomenclatura tradicional da Geometria Descritiva, a mudança de plano de projeção é o processo gráfico onde uma nova linha de terra é posicionada ao redor de uma das projeções do objeto, e linhas de chamada (perpendiculares a essa linha de terra) são traçadas sobre as projeções dos pontos e as coordenadas (distâncias) são transportadas do plano anterior para o novo plano, gerando a nova projeção do objeto, estes planos de projeção são chamados de  $\pi_0$ (Pi Zero),  $\pi_1$ (Pi Um),  $\pi_2$ (Pi Dois), etc. Na nova metodologia empregada na UFRGS, este método é chamado de Mudança do sistema de referencia (MSR), para relacionar a GD às outras disciplinas matemáticas e aos *softwares* de computação gráfica que utilizam o sistema Cartesiano com referência, e os plano de projeção são XY (ou Plano horizontal de projeção - PHP, ou vista superior), XZ (ou plano Frontal de projeção – PFP, ou vista frontal) e YZ (ou Plano lateral de Projeção – PLP, ou vista Lateral).

Como demonstrado anteriormente, o HyperCAL<sup>3D</sup> utiliza o correspondente vetorial ao processo de projeção utilizado na GD. Graças a sua estrutura de dados e a sua abordagem vetorial, o programa já comporta múltiplos MSR simultâneos, inclusive com a identificação de relações de perpendicularismo e paralelismo, fundamentais para os processos gráficos da GD. Atualmente, a definição destes novos sistemas de referência é toda feita no modelo tridimensional utilizando a interface gráfica com manipulação direta do modelo 3D, em tempo real e de forma interativa utilizando o cursor.

Considerando que todo o processo gráfico é baseado em cálculos vetoriais, alguns cuidados são necessários para que se obtenham os resultados esperados. Para que se possa

definir um novo sistema de referência (um novo plano de projeção) é necessário seguir algumas diretrizes (TEIXEIRA e SANTOS, 2013):

- O novo plano de projeção é sempre perpendicular a um plano de projeção já existente.
- O vetor normal do novo plano de projeção (paralelo ao plano existente escolhido) sempre aponta para o centro do sólido, sua direção é definida pela projeção do centro do sólido no novo plano de projeção.
- O plano de projeção é sempre orientado de tal forma que o sólido fique posicionado no primeiro diedro (esta diretriz define a posição/orientação da origem do sistema de referência, onde se encontram os eixos).

A partir destes parâmetros o posicionamento do novo plano de projeção pode ser feito de forma dinâmica e interativa, já mostrando as projeções resultantes na medida em que se movimenta o plano no espaço tridimensional, pois os cálculos vetoriais são simples e rápidos de serem processados (TEIXEIRA e SANTOS, 2013). O processo interativo para definição do novo sistema de referência pelo usuário segue os seguintes passos depois de acionado o comando para a criação do novo SR:

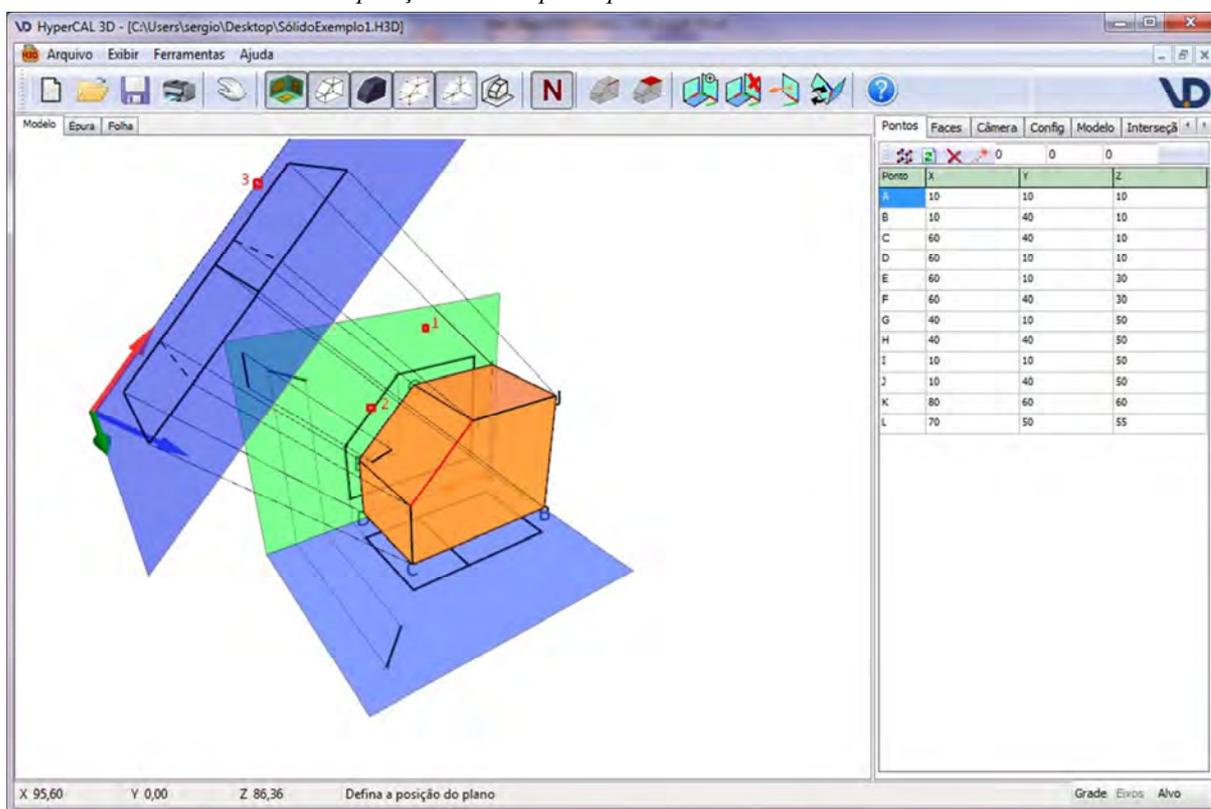
- O usuário seleciona um plano de projeção de referência clicando em plano existente.
  - Uma vez selecionado o plano de base, o usuário pode definir a posição do novo plano, que já mostra as projeções resultantes na medida em que ele movimenta o cursor.
  - O vetor normal do novo plano sempre aponta para o centro da projeção do plano original.
- O usuário clica novamente sobre o plano para definir a posição desejada do novo plano.
  - Alternativamente, pode-se clicar sobre uma das linhas projetadas no plano original para escolher uma posição específica do novo plano, perpendicular ou paralela àquela projeção escolhida.

Como a interface do programa permite a seleção de objetos, pode-se escolher uma determinada linha da projeção do sólido, assim o ângulo entre a direção da linha escolhida e a direção de projeção do novo plano pode ser computado por um produto escalar entre estes

dois vetores. Uma projeção tendendo a verdadeira grandeza do vetor define o paralelismo e uma projeção tendendo a zero define o perpendicularismo entre eles, foi definida uma determinada tolerância para facilitar a manipulação direta pelo cursor. Assim, os processos gráficos de mudança do plano de projeção que, frequentemente, usam como referências posições paralelas ou perpendiculares a alguma reta (dependendo do resultado esperado) podem ser reproduzidos com exatidão e mostrados em 3D (o que normalmente não acontece em sala de aula no ensino tradicional da GD).

O exemplo a seguir mostra uma mudança simples do sistema de referência para obter a VG de uma face. A Figura 59 mostra o posicionamento do plano no modelo tridimensional.

Figura 59: No modelo 3D: 1) Definição do plano de referência. 2) Definição da linha de projeção. 3) Definição da posição do novo plano paralelo a linha escolhida.



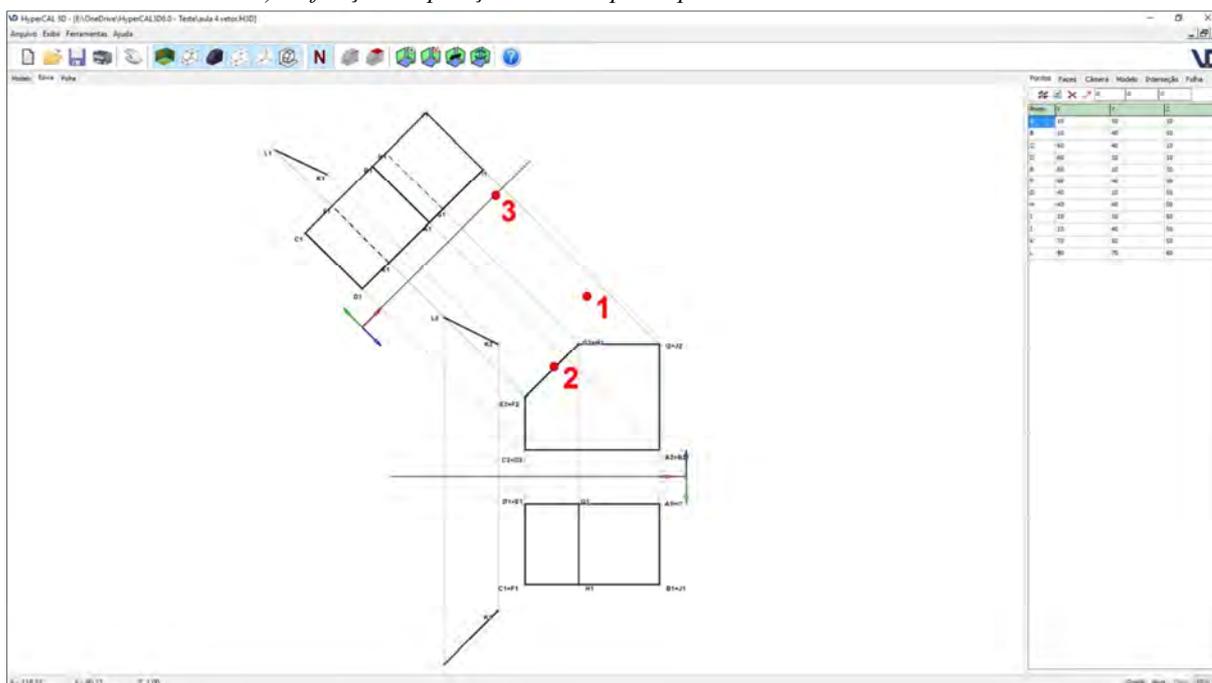
Fonte: O Autor.

A ferramenta para criação de um novo plano de projeção (um novo sistema de referência) segue uma sequência simples de três passos (todos eles comunicados no seu devido tempo na Barra de Status do programa): 1) seleciona-se uma “vista de referência”, um plano ao qual o novo plano de projeção será perpendicular; 2) seleciona-se uma “projeção de referência”, uma linha projetada no plano de referência a qual se queira alguma relação de perpendicularismo ou paralelismo (caso nenhuma linha seja escolhida, pode-se se posicionar o plano

normalmente e encerrar o comando); 3) uma vez que alguma linha de referência tenha sido escolhida pode-se escolher a posição final do plano considerando que o plano vai identificar os alinhamentos paralelos e perpendiculares àquela linha.

A Figura 60 ilustra como seria realizada esta mesma operação caso fosse utilizado o ambiente bidimensional (Épura). Esta operação ainda não pode ser realizada no ambiente da Épura, foi demonstrada aqui apenas para mostrar a relação entre o ambiente do modelo e ambiente da épura.

Figura 60: Correspondente em épura: 1) Definição do plano de referência. 2) Definição da linha de projeção. 3) Definição da posição do novo plano paralelo a linha escolhida.



Fonte: O Autor.

Como pode ser observado nas imagens acima, para a correta interpretação do modelo no ambiente da épura é fundamental a representação da visibilidade das linhas nas projeções em função do sentido de projeção. A seguir é descrito como este problema foi resolvido no HyperCAL<sup>3D</sup>.

### C. Representação de linhas Ocultas

Para que a forma dos objetos sólidos seja interpretada de forma correta pelo observador e com o máximo de detalhes é necessária a representação das linhas ocultas, aquelas não visíveis daquele determinado ponto de vista. Esta característica é tão importante que foi implementada tanto no modelo 3D quanto nas vistas projetadas. Em ambos os casos adotou-se a mesma

abordagem utilizada na Geometria Descritiva para análise de visibilidade nas projeções de arestas na Épura.

A verificação de visibilidade no modelo 3D considerou ainda uma agravante que era a distorção perspectiva quando a câmera está no modo de perspectiva cônica. Esta distorção pode ser observada nas imagens a seguir (Figura 61 e Figura 62). A verificação de visibilidade em vistas na épura é feita no cruzamento de duas linhas, onde frequentemente uma delas está oculta pelas faces que tem a outra linha como borda, neste caso, encontra-se o ponto de cruzamento em cada uma das arestas na outra vista, a que estiver mais longe da linha de terra está mais perto do observador, portanto é visível e a outra pode estar total ou parcialmente invisível (TEIXEIRA e SANTOS, 2013).

Para que este processo pudesse ser implementado no programa foi necessária a utilização de um algoritmo do tipo Ray Casting, que faz parte da biblioteca gráfica OpenGL (G., RICHARD S. WRIGHT e HAEMEL, 2013) usada no programa. Este algoritmo cria uma reta que liga um ponto qualquer na cena com a origem da câmera (posição observador) e identifica a interseção desta reta com objetos da cena, caso não haja interseções aquele ponto é visível. Ao identificar a interseção com os objetos da cena (caso onde o ponto é invisível) pode-se ainda saber a distância entre estas interseções e o ponto analisado. Isto é importante para evitar casos específicos onde uma aresta pertence à face analisada pelo algoritmo, neste caso, o algoritmo acusa uma interseção com a face, mas como a distância entre eles é desprezível (ou até nula) não pode ser considerada pois a aresta e a face estão no mesmo lugar, portanto é visível.

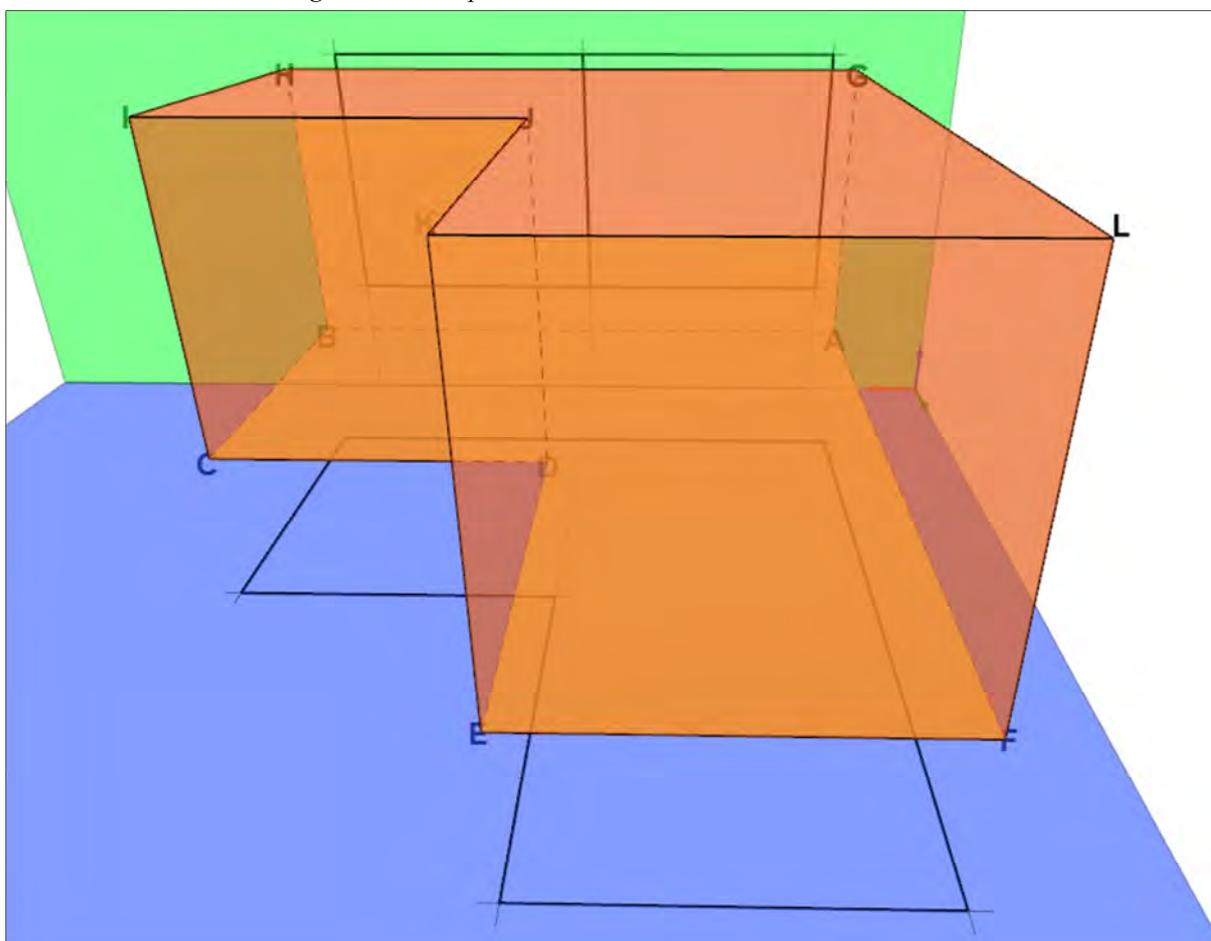
Assim, é feita uma amostragem de pontos ao longo de uma aresta, desta amostragem podem surgir três casos de visibilidade da aresta: visível, invisível ou parcialmente visível. Caso todos sejam visíveis, a aresta é considerada visível. O mesmo acontece no caso da invisibilidade total. Nestes casos, o tipo de linha a ser usado para a representação já definida nesta fase, linha contínua para as arestas visíveis e linha tracejada para as arestas invisíveis.

No caso da aresta ser parcialmente visível, é necessário ainda definir o ponto da aresta onde existe a mudança de visibilidade, ou seja, qual porção (ou quais porções) é visível e qual é invisível. Este ponto é encontrado da mesma forma, subdividindo a trecho entre os dois pontos que tiveram diferença de visibilidade, aumentando assim (a cada iteração) a precisão. O processo se repete até que a dimensão do trecho analisado seja inferior a um limite de tolerância definido.

Como esta análise iterativa é feita seletivamente apenas nos trechos necessários, este algoritmo tem o processamento muito rápido e com resultados precisos, permitindo que seja utilizado em tempo real para as diferentes posições de câmera escolhida pelo usuário. Por padrão, durante o movimento da câmera a visibilidade é desligada e é reprocessada e mostrada novamente assim que o usuário para de mover a câmera. Este padrão foi adotado para permitir a utilização do programa em computadores mais lentos e ou dispositivos com menor poder de processamento gráfico, especialmente quando são visualizados modelos complexos (muitos vértices e arestas).

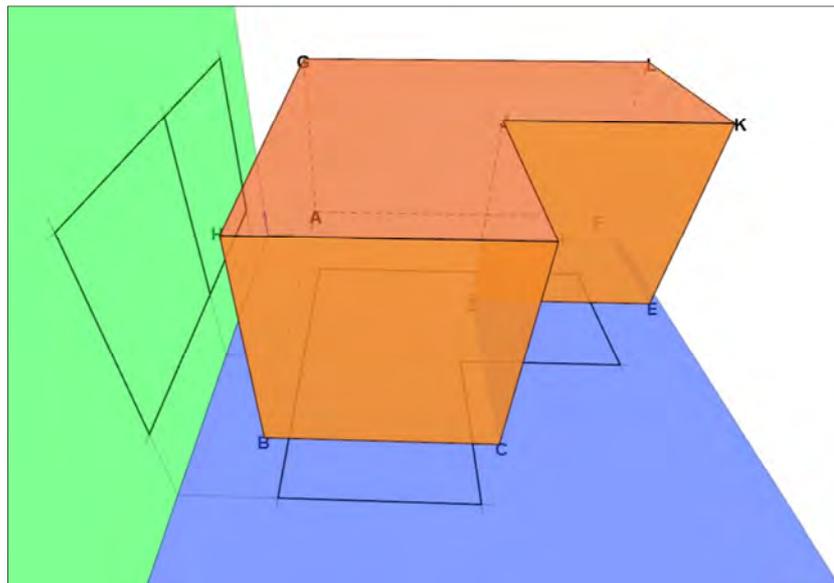
No exemplo a seguir (Figura 61), a aresta CD esta parcialmente visível enquanto a aresta DE esta totalmente invisível (tracejada). Na Figura 62 o mesmo sólido é visto de outro ponto de vista, mudando assim a visibilidade das arestas citadas, neste segundo exemplo, a aresta CD esta totalmente invisível enquanto a aresta DE está parcialmente visível.

*Figura 61: Exemplo mostrando as visibilidades das arestas.*



*Fonte: O Autor.*

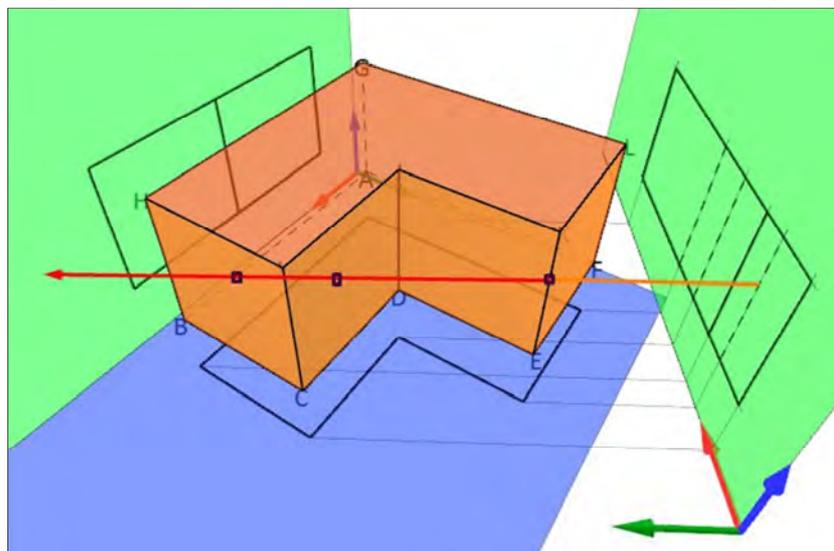
Figura 62: Outro exemplo de visibilidade.



Fonte: O Autor.

A visibilidade das arestas nas projeções em *épura* adota um processo semelhante, no entanto a análise é feita a partir da reta que sai de um ponto na aresta do sólido e se afasta do plano de projeção (perpendicular a ele), caso haja interseção com alguma face do sólido aquele ponto é invisível. Para os casos onde existe visibilidade parcial da aresta, o ponto exato de mudança de visibilidade é determinado na própria projeção pela interseção das linhas que se cruzam, a partir de então a aresta é subdividida e a visibilidade de cada trecho é determinada a partir do sólido. A Figura 63 ilustra o processo de verificação de visibilidade na projeção, uma reta perpendicular ao plano de projeção sai de um ponto na aresta do sólido, e ao encontrar uma ou mais faces do sólido determina a invisibilidade daquele ponto.

Figura 63: Determinação da visibilidade de arestas na projeção em *épura*.



Fonte: O Autor.

A visibilidade das arestas nos planos de projeção é atualizada em tempo real durante o posicionamento do plano, já mudanças na posição do observador (posição da câmera) não afetam a visibilidade dos planos de projeção, pois a projeção é sempre perpendicular ao plano. As projeções em nos planos são atualizadas apenas quando existe alguma mudança no sólido. Uma vez que o modelo é projetado nos planos de projeção no espaço tridimensional, é possível a criação bidimensional em *épura*, simulando a representação convencional na Geometria Descritiva.

#### **D. Representação em *Épura***

O HyperCAL<sup>3D</sup> traz duas possibilidades de visualização do objeto em estudo, o ambiente do modelo (3D) e o ambiente de *Épura* (2D). Toda a interação, criação e eliminação dos planos de projeção, e seleção dos elementos do modelo (arestas e faces) é feita no ambiente do modelo tridimensional, e seu correspondente bidimensional pode ser apenas visualizado no ambiente em *Épura* (TEIXEIRA e SANTOS, 2013). Além disto, os dois ambientes não podem ser visualizados ao mesmo tempo, ou o ambiente tridimensional está ativo e visível ou o ambiente de *Épura* está visível. Isto acontece porque o ambiente de *Épura* é o próprio modelo 3D planificado. Como todas as projeções já estão construídas no ambiente 3D, no ambiente em *épura* estas projeções são rebatidas uma a uma, simulando exatamente a planificação do Sistema Mongeano de projeção.

Para a que a planificação fique correta, os planos são rebatidos seguindo a ordem inversa de sua criação (os últimos a serem criados são os primeiros a serem rebatidos) e é considerada ainda a hierarquia de criação, cada plano é rebatido até que fique coplanar ao seu plano antecessor, levando consigo todos sucessores já rebatidos até que todo o sistema esteja planificado no plano horizontal original. Cada plano é rotacionado 90° em torno da linha de Terra, considerando o vetor normal do plano que indica que lado deve ficar para cima.

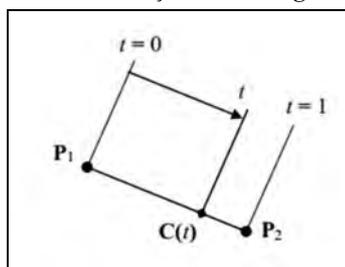
Em termos de estrutura de dados, as projeções dos vértices e arestas (inclusive as linhas de chamada) pertencem ao plano de projeção e são orientadas em função dele, quando o plano de projeção é rotacionado, todos os objetos que ele contém também o são seguindo sua orientação, produzindo assim uma *épura* precisa e de grande qualidade gráfica.

Apesar deste ambiente bidimensional preciso, as únicas interações possíveis no momento são as relativas à visualização (*Zoom* e *Pan*), não sendo possível a seleção de objetos ou criação de novos sistemas de referencia neste ambiente.

### E. Interseção com planos

O conceito de interseção entre retas e planos é o fundamento de muitos conceitos importantes em GD, inclusive do conceito de projeção. O conceito utilizado aqui é o mesmo proposto por Teixeira (2004) e já demonstrado no item “Sistema de Projeção Virtual”, onde um SR é vinculado ao plano de interseção de tal modo que seu plano XY seja coplanar ao plano de projeção. A partir disto, cada aresta é analisada, e são calculadas as coordenadas de seus vértices neste SR local, caso as coordenadas Z dos vértices sejam ambas positivas ou ambas negativas, não existe interseção, caso os vértices tenham sinais diferentes, a aresta é cortada pelo plano (considerando sempre um plano infinito, não apenas a área de uma face). Internamente todos os objetos tem uma representação Paramétrica, no caso das arestas, é a representação paramétrica de uma reta em função de  $t$  (entre 0 e 1), sendo o vértice inicial (P1)  $t = 0$  e o vértice final (P2)  $t = 1$ , e a partir das coordenadas Z locais é possível definir o ponto da aresta onde  $Z = 0$ , definindo-se o ponto exato da interseção. A Figura 64 apresenta um esquema da representação da reta.

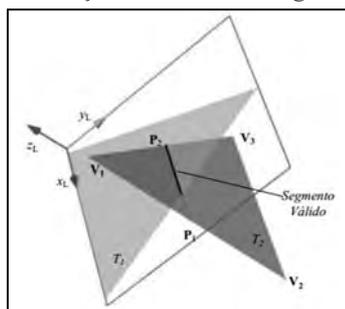
Figura 64: Parametrização de um segmento de reta.



Fonte: (TEIXEIRA, 2004).

Desenvolvendo este conceito, é possível determinar a interseção entre triângulos (elementos básicos que compõe as superfícies/malhas dos objetos). O segmento de interseção entre dois triângulos é obtido a partir da análise de interseção das arestas de um triângulo com outro. A Figura 65 mostra um esquema do processo.

Figura 65: Interseção entre dois triângulos no espaço.



Fonte: (TEIXEIRA, 2004)

As representações paramétricas das arestas de um triângulo são utilizadas para definir os pontos nestas arestas cujas coordenadas locais do SR acoplado ao outro triângulo são iguais a zero (P1 e P2). Com isto obtém-se dois pontos que pertencem a reta que contem a interseção. O mesmo procedimento é aplicado ao outro triângulo encontrando outros dois pontos que pertencem a reta de interseção. O segmento comum aos dois planos (segmento válido) é a interseção entre eles.

#### 4.1.4 ESTRUTURA DE CLASSES DO HYPERCAL<sup>3D</sup>

O Programa é baseado em uma estrutura de classes hierárquica que suporta tanto a representação dos objetos como as operações sobre eles. Esta estrutura foi implementada utilizando a Linguagem Embarcadero Delphi® que permite a Programação Orientada a Objetos e apresenta um desempenho computacional compatível com aplicações interativas.

A modelagem geométrica de sólidos depende da relação entre os objetos pertencentes a ele, neste caso são representadas nesta estrutura as seguintes classes básicas: “Vértice, Aresta, Face e Sólido”. Cada uma delas com suas respectivas propriedades e métodos. O “Vértice” tem como propriedades suas coordenadas. A classe “Aresta” tem dois objetos da classe “vértice” como propriedades. A classe “Face” possui uma lista de vértices e uma lista de arestas como propriedade. O sólido, além das listas de vértices, arestas e faces, possuem métodos que garantem a organização e integridade dos dados e calculam a visibilidade no ambiente 3D, entre outros controles globais.

Da mesma forma, uma classe chamada “Sistema de Projeção” administra todos os Sistemas auxiliares de referencia criados de maneira hierárquica através de uma lista de objetos da classe “Plano de Projeção” que tem como propriedades a projeção dos objetos (outra classe à parte). O Sistema de projeção é responsável pela inserção e remoção dos Planos de projeção bem como pelo rebatimento destes planos para criação da épura.

Será apresentado a seguir as principais classes desta estrutura utilizando a Linguagem de Modelagem Unificada (do inglês, UML - *Unified Modeling Language*).

##### 4.1.4.1 UML DAS CLASSES E SUAS RELAÇÕES

Na estrutura do HyperCAL<sup>3D</sup>, a classe mais básica é o *TPonto*, do tipo *record* guarda apenas as 3 coordenadas (X,Y e Z) e o nome do Ponto. Praticamente todas as classes geométricas guardam um ou mais pontos. A classe *TArestaObj* é utilizada para representar genericamente qualquer linha no programa, entre as propriedades que se destacam, ela

registra suas duas extremidades (P1,P2 – *TPonto*) e uma lista de faces a ela que pertence. A Classe *TFaceObj* representa as faces do sólido e entre outras propriedades guarda uma lista das arestas que contém. Todos estes elementos (vértices, arestas e faces) formam um sólido, representado pela classe *TSolido*, que tem como propriedades uma lista de vértices, uma lista de arestas e uma lista faces. A Figura 66 Mostra estas relações.

Figura 66: Classe *TPonto*, *TArestaObj*, *TFaceObj* e *TSolido*.

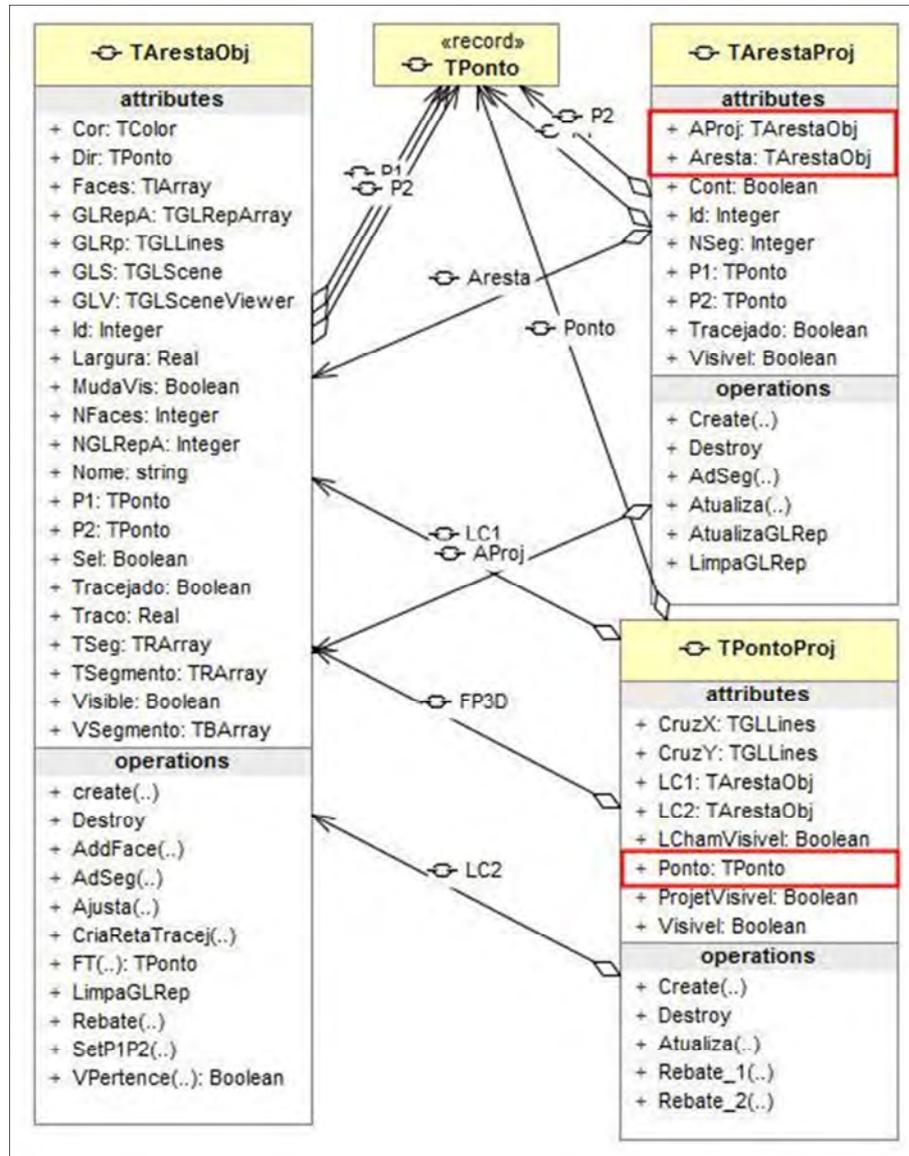


Fonte: O Autor.

As classes acima são predominantemente usadas para representar o modelo 3D, mas para representar as projeções dos pontos e arestas são necessárias novas classes. A classe *TArestaProj* representa a projeção de uma aresta do sólido em um plano de projeção, nesta classe destacam-se duas propriedades: “*Aproj*” – se encarrega do desenho da própria aresta projetada e “*Aresta*” – para saber a aresta do sólido a qual está vinculada. Já a projeção dos pontos é feita pela classe *TPontoProj*, que além do vínculo com o ponto 3D tem também

atributos para desenhar o ponto (a cruz de representação e suas linhas de chamada. A Figura 67 mostra esta duas classes e sua relação com a *TArestaObj* e *TPonto*.

Figura 67: *TArestaProj* e *TPontoProj*.



Fonte: o Autor.

Estes Pontos e Arestas são projetados em Planos de Projeção (*TPlanoProj*) que tem seu próprio sistema de referencia (*TSis*). A classe *TSis* é responsável por todos os cálculos projetivos (coordenadas locais, globais, giros, intersecções, etc). Como um sistema de referencia tem dois planos de projeção trabalhando juntos (horizontal e frontal), cada plano de projeção guarda o seu próprio *TSis* e um apontador para o *TSis* do plano parceiro (*TSispar*). Além disto, ele traz também uma lista dos pontos projetados e uma das arestas projetadas, entre outras propriedades. Por fim, a classe *TSistema* organiza todos os planos de projeção criados em conjunto com o sólido.

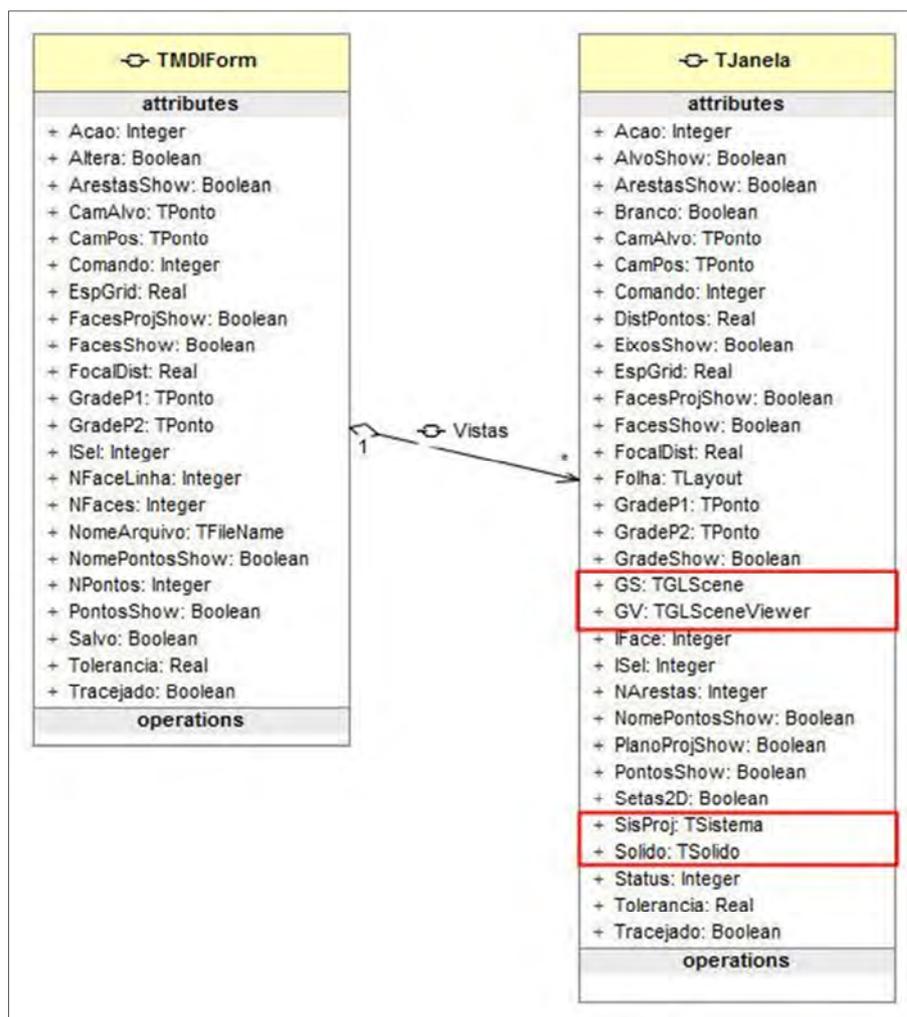
Figura 68: Tsis, TPlanoProj e TSistema.



Fonte: O Autor.

Além das classes geométricas o formulário principal (*TMdiForm*) controla a interface geral do programa (botões, menus, janelas, abas, etc.) e também controla a relação do programa com o sistema operacional (abrir, salvar, imprimir, etc.). Este formulário principal pode conter um ou mais janelas de Trabalho (*TJanela*) que é responsável pela visualização do arquivo aberto, visualização do modelo 3D e da épura. É na janela que os objetos são desenhados. A janela tem como características principais a inclusão da biblioteca gráfica *GLScene* (para permitir o desenho dos objetos) e recebe também o *TSistema* e o *TSolido*, que gerenciam toda a parte geométrica do programa. A Figura 69 mostra as principais propriedades destas classes.

Figura 69: O Formulário principal e a Janela de visualização.



Fonte: o Autor.

Os Pontos e arestas são desenhados utilizando uma classe da biblioteca gráfica chamada *TGLLines*, no entanto, para representar as superfícies das faces do sólido é utilizada outra classe (*TGLFreeform*) que necessita malha de triângulos como parâmetro. A seguir uma breve explanação do como esta malha é representada no HyperCAL<sup>3D</sup>.

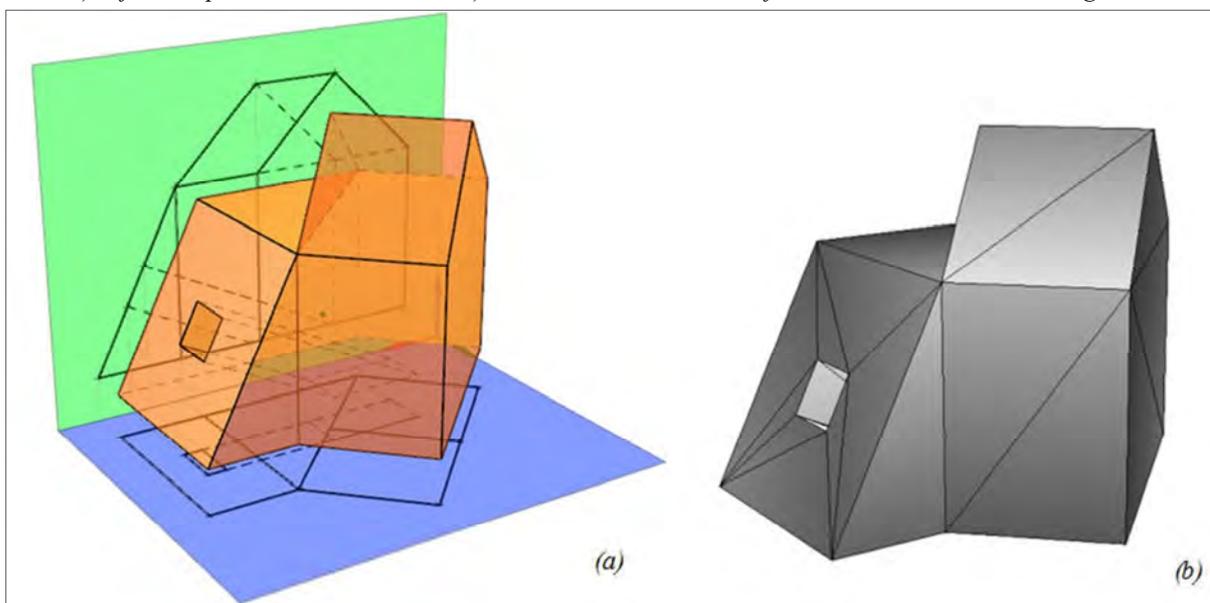
#### 4.1.4.2 REPRESENTAÇÃO DA MALHA

Para a representação das faces foi necessária a criação de uma malha de triângulos (invisível ao usuário) para dar conta de todas as características geométricas possíveis em sólidos não convexos, como furos e reentrâncias, onde sua forma não pode ser representada por um único polígono, permitindo assim a representação de formas complexas. Assim, cada polígono é formado por um ou mais triângulos, dependendo da complexidade da geometria a ser representada, e as arestas dos triângulos que são internas ao polígono não são mostradas ao usuário.

A Figura 70 apresenta como um sólido é mostrado ao usuário (a) e a estrutura real da malha de triângulos (b).

Figura 70: Representação das faces.

a) A forma apresentada ao usuário. b) Na estrutura de dados, as faces são uma malha de triângulos.



Fonte: Adaptado de (TEIXEIRA e SANTOS, 2014).

Um algoritmo baseado em Teixeira (2004) é responsável pela criação das malhas triangulares, este algoritmo utiliza a técnica *Advanced Front* (TEIXEIRA, 2004) e a triangulação de Delaunay (AGOSTON, 2005).

#### 4.1.4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA DE CLASSES

A Estrutura de Classes do HyperCAL<sup>3D</sup> é uma estrutura robusta, que evoluiu ao longo de dez anos de um simples visualizador de sólidos para um programa completo de Geometria Descritiva. Embora esta evolução tenha deixado resquícios no código, hoje já desnecessários e obsoletos, o que é um bom indicador para que se considere uma reestruturação geral do código do programa, a estrutura da interface original permite a implementação da representação biunívoca dos objetos buscada neste trabalho. Uma reestruturação geral neste ponto (durante o trabalho de tese) seria um passo muito grande que certamente comprometeria o sucesso da empreitada.

Desta forma, as mudanças necessárias foram feitas na atual estrutura para comportar a representação biunívoca dos objetos (2D $\leftrightarrow$ 3D) garantindo a interatividade e bom desempenho em ambos ambientes de trabalho, no espaço do Modelo e no espaço da Épura.

## 4.2 INVESTIGAÇÃO: OS USUÁRIOS

Os usuários do programa HyperCAL<sup>3D</sup> são os alunos e professores das disciplinas de Geometria Descritiva. O Departamento de Design e Expressão Gráfica da UFRGS oferece por semestre em média<sup>14</sup>:

- ARQ03317 – Geometria Descritiva IIA : 540 vagas para matrícula.
- ARQ03320 – Geometria Descritiva III : 220 vagas para Matrícula.
- ARQ03004 – Geometria Descritiva aplicada a Arquitetura: 60 vagas para Matrícula.
- ARQ03065 – Geometria Descritiva para Designers: 60 vagas para Matrícula.

Uma vez que o programa é pouco utilizado na disciplina ARQ03320, foram consideradas apenas as vagas das outras 3 disciplinas, totalizando **660 vagas por semestre** em média. Para fins dos testes de usabilidade, os alunos de GD são considerados como usuários novatos. A seleção da amostra de alunos se deu em função da disponibilidade dos professores, dos horários das disciplinas e dos horários disponíveis no Laboratório de Informática que seria utilizado para os testes. A partir da combinação destes fatores foi possível selecionar uma amostra de 56 alunos que participaram dos testes de usabilidade, considerada como uma amostra não probabilística por acessibilidade ou conveniência (PRODANOV e DE FREITAS, 2013). Segundo Tullis e Stetson (2004), a amostra mínima confiável é de um grupo de 12 a 14 respondentes. Os tipos de teste e seus resultados são discutidos no item 4.5 - Avaliação de Usabilidade.

A UFRGS conta ainda com 13 professores que ministram alguma das disciplinas de GD, que neste caso são considerados como usuários experientes do programa por já virem utilizando-o a cada semestre, uns mais outros menos. No entanto, destes 13 professores, 6 não participaram diretamente da coleta de dados sobre os usuários, 4 deles por estarem envolvidos diretamente com este trabalho (o autor, o orientador e dois membros da banca examinadora), e outros 2 por terem sido escolhidos como especialistas para a avaliação de usabilidade, restando, assim, 7 professores que participaram das entrevistas e responderam aos questionários como voluntários da pesquisa (6 respostas).

Para a realização das entrevistas nesta etapa, optou-se por uma amostra não probabilística intencional (PRODANOV e DE FREITAS, 2013), caracterizada pela seleção de um subgrupo considerado representativo dos usuários experientes do sistema, todos os 7 professores disponíveis.

---

<sup>14</sup> *Dados obtidos diretamente com o Departamento de Design e Expressão Gráfica da UFRGS - DEG.*

O Protocolo das entrevistas pode ser visto no Apêndice 4 - Protocolo de Entrevista com Especialista) e os resultados são discutidos no item 4.5 - Avaliação de Usabilidade.

Considerando um universo de 673 usuários (660 alunos + 13 professores), participaram da coleta de dados 63 usuários (56 alunos + 7 professores), equivalente a 9,36% do total de usuários típicos de um semestre letivo, incluindo usuários novatos e experientes. Os 56 alunos que participaram da avaliação utilizando a escala S.U.S. excedem largamente o grupo mínimo indicado como recomendável de 12 a 14 participantes (TULLIS e STETSON, 2004).

### 4.3 ANÁLISE

A fase de análise consiste na investigação das necessidades da disciplina em termos de que tipo de operações serão executadas na Interface bidimensional do programa. Nesta etapa analisa-se também como estas operações são executadas em softwares similares e o quanto elas se adequam às Metas de usabilidade. Por fim, o processo de desenvolvimento do HyperCAL<sup>3D</sup> deve ser considerado para a implementação de uma nova interface compatível com os ambientes já existentes.

#### 4.3.1 ESTILO DE INTERAÇÃO PARA GD

Conforme abordado anteriormente no item “4.1.2- O Uso nas disciplinas de Geometria Descritiva da UFRGS”, o programa HyperCAL<sup>3D</sup> já tem implementada uma interface tridimensional que permite a execução de algumas atividades no estudo da Geometria Descritiva.

Atualmente, o programa conta apenas com a versão Desktop para Windows (computadores PC), portanto utiliza um estilo de interação baseado no uso do mouse controlando o cursor como apontador, bem como o uso de menus, botões e formulários, além da interface tridimensional. Existe a possibilidade de expansão para outras plataformas (IOS, Android, MAC-OS) o que necessitará adaptação do estilo de interação para considerar dispositivos *multi-touch* e diferentes tamanhos de tela, entre outras variáveis.

Considerando o ponto de vista da interação da Interface Original, as atividades já implementadas no programa podem ser agrupadas da seguinte maneira:

#### 1. Criação e modificação da Geometria e Topologia do sólido:

- Definição de Pontos, vértices do sólido: A interação é feita através de um painel lateral (Pontos) com a inserção direta das coordenadas X, Y e Z

(A:10,20,30; B:20,20,40; etc.) para a criação dos pontos, o ambiente tridimensional é atualizado após a criação dos pontos, assim como suas projeções no ambiente de é pura.

- Definição de faces, conectividade dos vértices: A interação é feita através de um painel lateral (FACES) com a definição de quais vértices pertencem a cada face, indicados sequencialmente (face 1 - A, B, C, D; Face 2 - C, D, E, F; etc.). O ambiente tridimensional é atualizado após a criação das faces, assim como suas projeções no ambiente de é pura.

2. **Seleção de objetos:** A seleção de objetos é importante tanto para inspeção e estudo do sólido como para realização de operações descritivas.

- Seleção de Elementos do sólido e das projeções: A seleção é feita pressionando o botão esquerdo do mouse. O usuário pode **selecionar arestas e faces do sólido** no ambiente tridimensional, destacando visualmente através da mudança de cor o elemento selecionado do restante dos elementos que compõem o sólido. Esta seleção acontece tanto no objeto selecionado como em suas projeções, podendo ser visualizado no contexto do sólido ou isoladamente. Outro uso comum é a seleção de elementos da projeção para definir o posicionamento dos planos de projeção (explicado a seguir no item 4).
- Seleção de Sistemas de Referência: Para os comandos de criação, modificação e exclusão de Sistemas de Referência a seleção dos planos envolvidos nestas operações é fundamental.

3. **Visualização e controle de Câmera:** O usuário pode controlar a câmera virtual através do movimento do mouse bem como pode posicionar e controlar aspectos específicos da câmera através do painel lateral (Câmera). Por padrão a câmera aponta sempre para o um alvo no centro do sólido.

- *Zoom:* Girando o rolete do mouse o usuário pode aumentar ou diminuir o zoom.

- *Pan*: Movimentando o mouse enquanto mantêm o rolete do mouse pressionado, pode-se deslocar a imagem em qualquer direção (isto é feito através da translação do alvo da câmera).
  - *Orbit*: Ao movimentar o mouse com o botão direito pressionado é possível orbitar a câmera ao redor do sólido.
  - *Reset* (Restaurar Visualização): Ao clicar duas vezes na área de trabalho (duplo clique) a visualização inicial é restaurada, posicionando a câmera novamente na posição original, com o nível de zoom original. Este comando ajuda na orientação espacial dos alunos que inadvertidamente fizeram mudanças drásticas na câmera impedindo a visualização do objeto.
  - Distorção da câmera: Girando o rolete do mouse com a tecla “ALT” pressionada a distância focal da câmera é ajustada juntamente com a distancia do objeto, o que resulta na mudança da distorção perspectiva do objeto. A imagem passa de uma perspectiva cônica para uma perspectiva axonométrica em poucos giros.
4. **Mudanças de sistemas de referência (MSR)**: a mudança do sistema de referencia é a principal ferramenta descritiva no estudo da GD. O correto posicionamento do novo sistema de referencia depende do objetivo a ser atingido e da seleção de elementos já projetados em outras vistas. A interação no ambiente tridimensional envolve seleção e movimentação de objetos com o uso do cursor.
- Criação de um Novo Sistema de Referência: A criação de um novo SR no ambiente tridimensional **depende da seleção de um plano de base** (o novo plano será criado perpendicular ao plano escolhido e o SR correspondente colocado na interseção destes dois planos).
  - Posicionamento do SR: o posicionamento (durante a criação) fica vinculado ao movimento do mouse, **girando o plano criado ao redor do centro da projeção no plano de base**, mantendo o plano sempre de frente para a projeção. O posicionamento pode depender da seleção de algum elemento da projeção existente, para colocar o plano **perpendicular** ou **paralelo** ao elemento selecionado. Estas posições especiais são automaticamente

reconhecidas pelo programa quando o plano em movimento se aproxima o suficiente. Um último clique com o botão da esquerda define a posição final.

- Outra característica importante para a correta construção da nova vista é saber de qual vista existente as medidas das projeções dos pontos serão transpostas.
- Movimentação do SR: Depois de criado, é frequente a necessidade de **ajustar a distância da linha de Terra** (eixo X do SR) em relação à projeção do plano de base, pois isto tem influência direta no desenvolvimento do sistema planejado (épura). O Programa permite movimentar este novo SR no ambiente tridimensional, mantendo sua orientação original.

Ao se fazer a inspeção de usabilidade para implementação da nova interface, é importante considerar a funcionalidade e estilo de interação adotada no ambiente tridimensional, que vem sendo testada e utilizada com sucesso ao longo de seu desenvolvimento, e caso estejam de acordo, implementar funções e um estilo de interação semelhantes na interface bidimensional, ou em caso de inconformidades, reprogramar ambas interfaces permitindo que as mesmas operações sejam realizadas de forma coerente em qualquer dos ambientes do *software*.

#### 4.3.2 ESTILOS DE INTERAÇÃO EM *SOFTWARES* VETORIAIS 2D

É importante analisar os outros *softwares* gráficos que os alunos de GD terão contato ao longo dos seus cursos e seus estilos de interação para manter uma consistência. Os usuários que já conhecem alguns destes programas se beneficiam por poder usar o conhecimento prévio, e os usuários que terão seu primeiro contato com *softwares* gráficos através do HyperCAL<sup>3D</sup>, poderão associar este aprendizado aos novos programas que serão utilizados no futuro por usar o mesmo estilo de interação.

A Geometria Descritiva é uma disciplina básica dos cursos de graduação de Design, Arquitetura e Urbanismo e de vários cursos de Engenharia. Com base nisto, foram escolhidos para análise os *softwares* mais utilizados pelos profissionais desta área.

Considerando a necessidade de interação com os elementos gráficos em um ambiente bidimensional, foram analisados os estilos de interação de quatro (04) *softwares* distintos. Dois (02) deles são os programas gráficos vetoriais para desenho mais usados no mercado: CorelDraw® (COREL, 2015) e Adobe Illustrator® (ADOBE, 2015). Também foram

analisados os estilos de interação de outros dois (02) programas do tipo CAD: Autocad® (AUTODESK, 2015) e Rhinoceros® (MCNEEL, 2014).

Como, no HyperCAL<sup>3D</sup> a criação de objetos não é escopo deste trabalho e é independente dos ambientes gráficos (tridimensional e bidimensional), continuará sendo feita da mesma forma, portanto, as operações de criação de objetos não foram consideradas nesta análise.

O foco desta análise foram as principais operações de edição descritas no item anterior (item 4.3.1):

- A. **Seleção de objetos:** selecionar os objetos a serem editados, individualmente e em grupo.
- B. **Translação de objetos:** Mover os objetos selecionados.
- C. **Rotação de objetos:** Rotacionar os objetos selecionados.
- D. **Controle de visualização:** *Zoom* (escala do desenho na janela de visualização) e *Pan* (translação do desenho na janela de visualização).

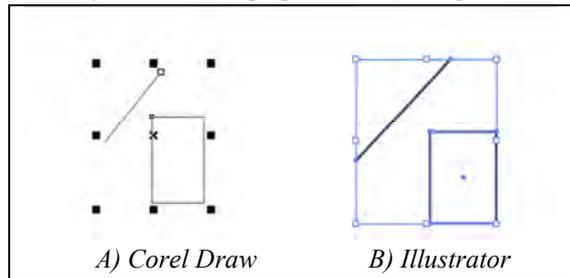
A seguir, será relacionado como cada uma destas operações é realizada nestes respectivos *softwares*.

#### **A) Seleção de objetos**

Em todos os *softwares* analisados os objetos podem ser selecionados individualmente clicando-se diretamente sobre eles com o botão da esquerda do mouse. Normalmente, para a seleção de múltiplos objetos (clicando em cada objeto separadamente) é necessário o uso da tecla *SHIFT* em conjunto com o clique para acrescentar objetos ao grupo de seleção, no Autocad® esta forma de seleção pode ser configurada nas opções, mas por padrão o Autocad® acrescenta objetos no grupo de seleção sem a necessidade do uso simultâneo da tecla *SHIFT*. Ao se utilizar a combinação com a tecla *CTRL* o objeto é retirado do grupo de seleção. Os programas CAD por sua complexidade apresentam ainda mais opções de seleção não descritas neste trabalho.

Nos dois programas gráficos analisados os objetos quando selecionados se destacam dos demais por uma “caixa envolvente” que mostra as alças de edição da seleção, conforme Figura 71.

Figura 71: Dois objetos selecionados formando um grupo de seleção representado por sua Caixa envolvente.

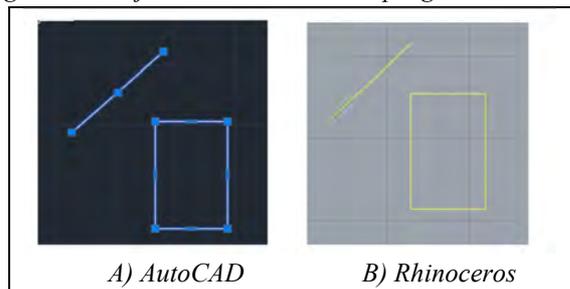


Fonte: O Autor.

Já nos programas CAD os objetos selecionados apresentam diferentes características: No Autocad® os objetos selecionados se destacam por seus pontos de controles dos objetos (frequentemente seus pontos finais – *EndPoints* – e pontos médios – *Midpoints*). No Rhinoceros® os objetos selecionados são representados na cor amarela, a edição dos pontos de controle pode ser feita em uma etapa separada.

A Figura 72 mostra como os objetos selecionados nos programas CAD são representados.

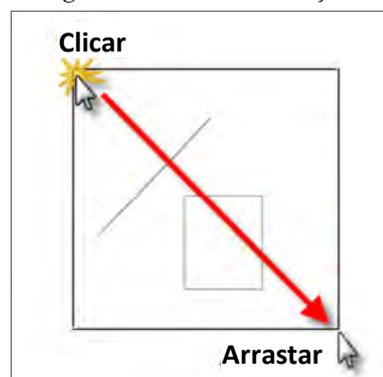
Figura 72: Objetos selecionados nos programas CAD.



Fonte: O Autor.

Além da seleção direta, é possível fazer uma janela de seleção, conforme a Figura 73. No CorelDraw® somente os objetos inteiramente dentro da janela são selecionados, no Illustrator® qualquer objeto tocado pela janela é selecionado.

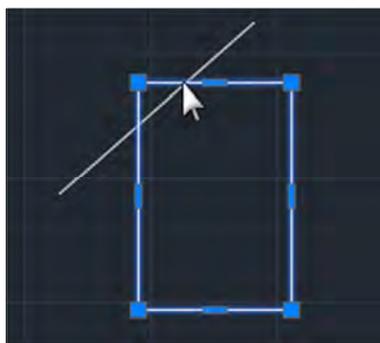
Figura 73: Janela de seleção.



Fonte: O Autor.

Nos programas CAD, a janela também é uma forma comum de seleção. Tanto no Autocad® quanto no Rhinoceros® a janela funciona de forma semelhante, quando feita da esquerda para direita (como na Figura 73) somente os objetos inteiramente dentro da janela são selecionados, quando feita da direita para a esquerda, qualquer objeto tocado pela janela (ainda que não esteja inteiramente dentro dela) é selecionado. Com relação à ordem de seleção dos objetos quando sobrepostos, os dois programas se comportam de modo diferente. No Autocad® quando dois objetos estão sobrepostos um ao outro, no pixel selecionado pelo cursor, os programas selecionam o último objeto desenhado, ou o que está “mais em cima” na ordem desenho na tela. Na Figura 74, quando o cursor clica sobre a interseção dos dois objetos no Autocad®, somente o retângulo é selecionado, por ter sido o objeto mais recente a ser desenhado, portanto está sobre a linha.

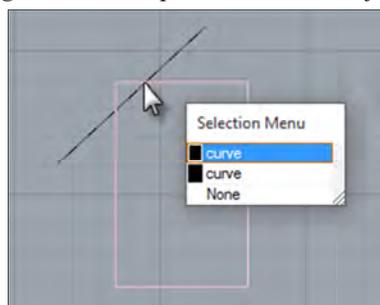
Figura 74: Seleção de objetos sobrepostos.



Fonte: O Autor.

O Rhinoceros® apresenta uma solução diferente para este problema, mostrando ao usuário uma lista dos objetos encontrados abaixo do cursor naquele ponto, permitindo que se escolha qual deles será selecionado. A Figura 75 mostra a mesma situação da figura anterior, neste caso com a lista suspensa para a escolha do objeto, o objeto mostrado em rosa é o objeto selecionado na lista, uma vez que a escolha tenha sido feita, a lista desaparece e o objeto é selecionado em definitivo.

Figura 75: Lista para escolha do objeto.



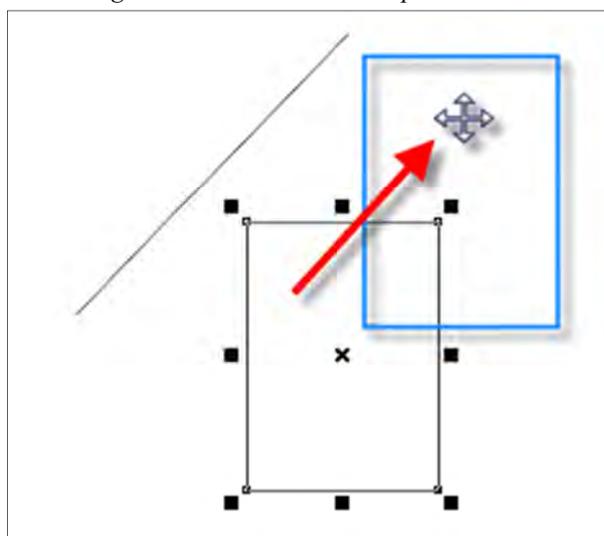
Fonte: O Autor.

A representação de objetos sobrepostos é uma situação comum nas vistas em GD, frequentemente arestas têm projeções sobrepostas em uma determinada vista e poder diferenciar qual delas se pretende selecionar é uma propriedade importante.

## B) Translação de objetos

Em todos os *softwares* analisados (tanto os gráficos quanto os CAD) os objetos podem ser movidos diretamente com o cursor, ao clicar sobre o objeto e arrastar (mantendo o botão pressionado) o objeto se move conforme o movimento do cursor. A Figura 76 mostra a translação de um retângulo, movendo-o diretamente com o cursor no *software* CorelDraw®.

Figura 76: Clicar e arrastar para mover.



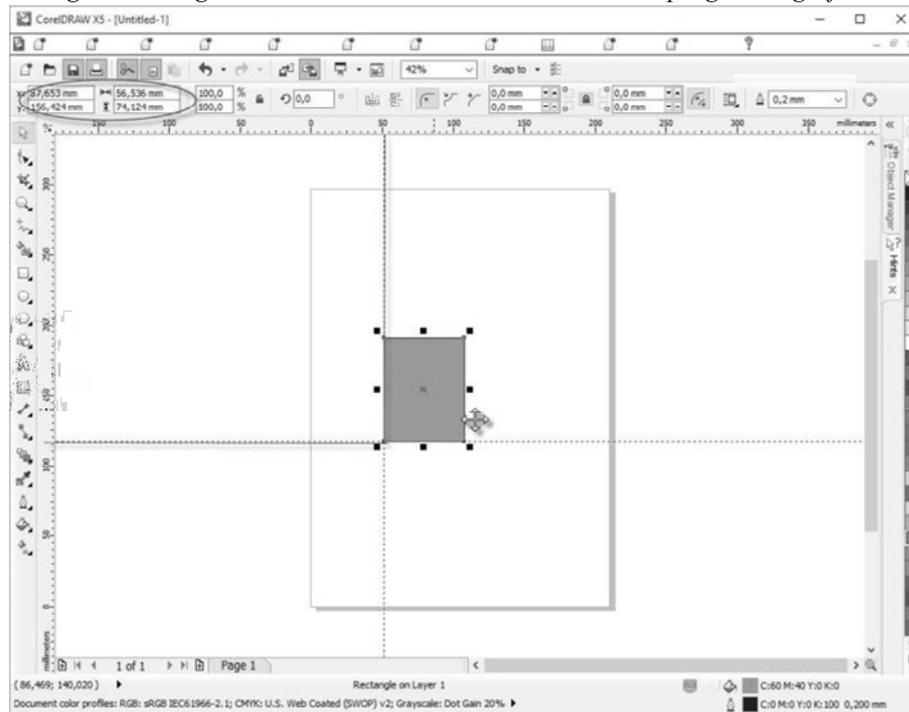
Fonte: O Autor.

Nos dois *softwares* gráficos isto é feito com a mesma ferramenta de seleção, já nos *softwares* CAD, embora também permitam este tipo de edição, eles têm comandos específicos para esta operação permitindo a seleção do ponto de referencia, bem como diferentes maneiras de informar o deslocamento (Coordenadas cartesianas ou polares, absolutas ou relativas).

Os programas gráficos também permitem o movimento com alguma precisão uma vez que os objetos estão referenciados a duas régua (horizontal- X e vertical- Y), e as caixas editáveis permitem que se insiram os valores precisos da posição na folha.

A Figura 77 apresenta a interface do CorelDraw® com as régua e as caixas editáveis com a posição do objeto selecionado. Alterando-se os valores de X e Y nestas caixas também é possível mover os objetos.

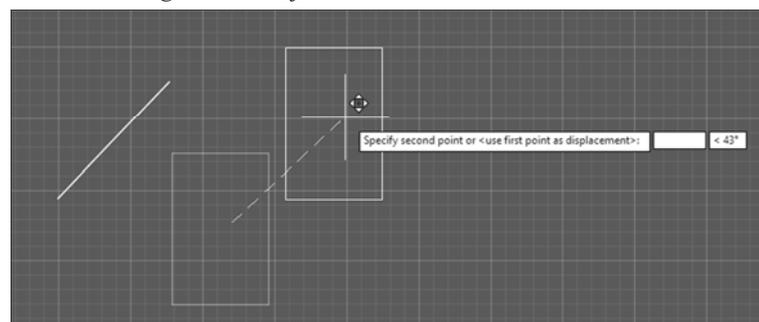
Figura 77: Régua vertical e horizontal são comuns em programas gráficos.



Fonte: O Autor.

Nos programas CAD, o Rhinoceros® permite que se insiram os valores (coordenadas) do deslocamento durante a manipulação direta, permitindo que o deslocamento seja feito de forma intuitiva e precisa. Já o Autocad® permite este deslocamento direto mas sem precisão, para mover objetos com precisão é necessário o uso de um comando apropriado (comando *move*). A Figura 78 mostra um objeto sendo deslocado com o comando *move*. A posição original do objeto é mostrada esmaecida como referência, uma linha tracejada representa a direção e magnitude do deslocamento, o objeto na nova posição é mostrado instantaneamente na medida em que se movimenta e o ícone do cursor muda para refletir a operação sendo realizada. Estes são Feedbacks visuais importantes para o usuário e estão relacionadas às metas de usabilidade do item “2.2.2 – Metas do design de interação”.

Figura 78: Objeto sendo movido no Autocad®.



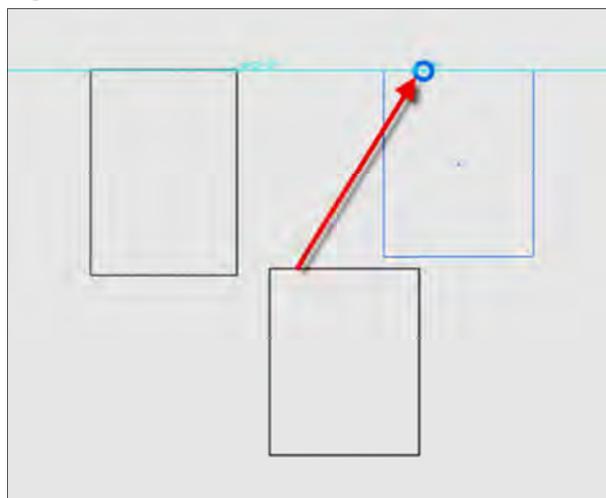
Fonte: O Autor.

Além destes aspectos relacionados à usabilidade já citados, destaca-se ainda que na interface do Autocad® as informações relevantes a esta operação aparecem logo abaixo do cursor, no foco de interesse do usuário, diferente dos outros programas onde os valores de deslocamento ficam em barras de ferramentas ou barras de status na periferia da área de trabalho.

Outro aspecto importante com relação à translação dos objetos é o reconhecimento do alinhamento automático pelos programas. Todos os programas analisados reconhecem o alinhamento de pontos importantes entre objetos: horizontal, vertical, 45°, alinhamento superior, inferior, esquerdo, direito, etc.

Ao mover o objeto estes alinhamentos são destacados quando o objeto se encontra em uma posição específica permitindo que o usuário utilize-os como um “ajuste fino” da nova posição do objeto. A Figura 79 mostra um exemplo do reconhecimento automático superior ao se mover um retângulo ao lado de outro no Illustrator®.

*Figura 79: Reconhecimento do alinhamento automático.*



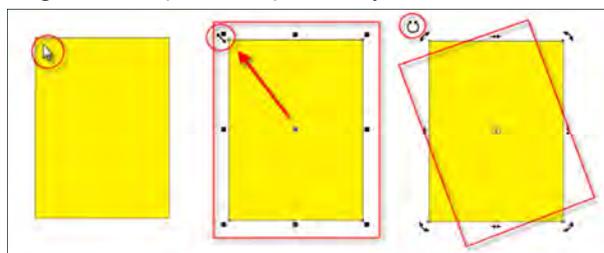
*Fonte: O Autor.*

### **C) Rotação de objetos**

A rotação dos objetos nos programas gráficos é feita (normalmente) de modo direto, sem a necessidade de uma ferramenta especial para isto, embora estes programas também tenham uma ferramenta de edição que permite a rotação do objeto a partir da definição do ângulo. No CorelDraw®, ao selecionar o objeto, a caixa envolvente com as alças de edição de escala se torna visível, ao clicar novamente sobre o objeto estas alças de escala se tornam alças de rotação (nos cantos do objeto) e distorção (no meio das arestas), permitindo que o usuário rotacione o objeto a partir dos cantos. O centro de rotação do objeto normalmente é um ponto

no centro do objeto, mas este ponto pode ser movido para qualquer lugar, dentro ou fora do objeto. A Figura 80 mostra três estágios de um objeto, antes da seleção, depois do primeiro clique (quando é selecionado) e depois do segundo clique com as alças de rotação ativadas.

Figura 80: Alças de edição do objeto no CorelDraw®.

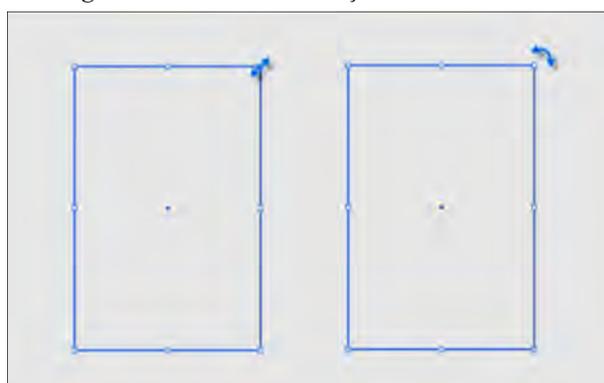


Fonte: O Autor.

O cursor ao se aproximar do canto do objeto assume diferentes ícones conforme o estado de edição do objeto, ele aparece como uma seta simples antes da seleção, como uma seta dupla (indicando que pode mudar escala do objeto) quando o objeto está selecionado ou como uma seta dupla curvada (indicando que pode rotacionar o objeto) quando as alças de edição estão ativadas para rotação. O Ângulo de rotação acompanha livremente o movimento do cursor, quanto combinado com a tecla *CTRL* restringe o movimento a intervalos de 15° facilitando a precisão do movimento.

O Illustrator® adota um estilo semelhante, também fazendo uso das alças de edição na caixa envolvente do objeto. No entanto, não é necessário clicar novamente sobre o objeto já selecionado para ativá-las. O programa reconhece a posição do cursor em relação ao canto do objeto, se o cursor está sobre o canto ele muda para edição de escala (seta dupla diagonal), mas se o cursor se afasta do canto para fora do objeto (dentro de um determinado limite) ele muda para edição de rotação (seta dupla curvada). A Figura 81 mostra no canto superior direito os dois diferentes ícones conforme a posição do cursor.

Figura 81: Estilo de interação do Illustrator®.

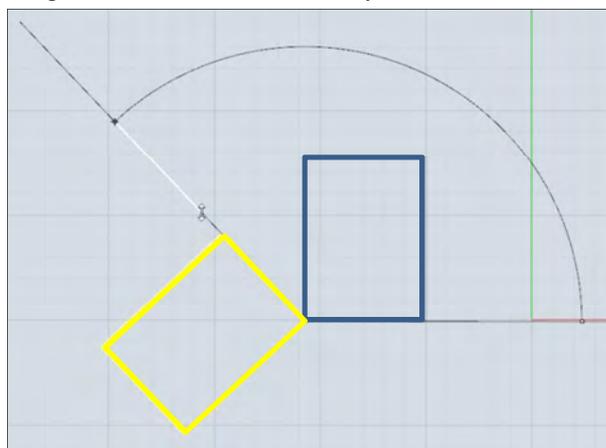


Fonte: O Autor.

Os programas CAD, por sua natureza mais técnica, trabalham com comandos específicos para a rotação dos objetos. No entanto, ainda que usem um comando específico, é possível usar a manipulação direta para esta operação. Tanto o Rhinoceros® como o Autocad® trabalham da mesma forma, a rotação depende da seleção de um ou mais objetos a ser rotacionados, da definição do centro de rotação e de um ângulo de rotação.

A Figura 82 apresenta a rotação de um objeto no Rhinoceros® usando o comando *Rotate*, depois de informado o centro de rotação, o sentido e o ângulo de rotação pode ser informado diretamente com o movimento do mouse. Se apenas for informado o ângulo de rotação, os programas CAD assumem que o sentido de rotação é o sentido trigonométrico (anti-horário).

Figura 82: Rotacionando um objeto no Rhinoceros®.



Fonte: O Autor.

#### D) Controle de visualização

O controle de visualização do documento está relacionado a duas operações fundamentais: o controle de *Zoom*, a escala de visualização do desenho, e o controle de *Pan*, o deslocamento do desenho na tela. Todos os programas têm ferramentas específicas para controle do *Zoom* (janela, lupa, +, -, etc.) e todos também têm algum acesso direto aos controles de visualização através do mouse.

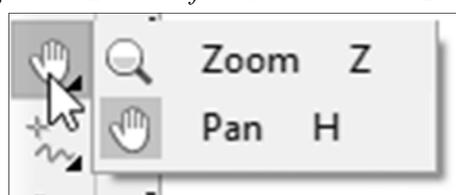
Cada um dos programas usa uma combinação única para o controle de visualização, mas todos eles fazem uma variação de um mesmo estilo: combinar estas funções no botão *SCROLL* do mouse com algumas teclas (*SHIFT*, *CTRL*, *ALT*) do teclado.

Três dos programas (Autocad®, Rhinoceros® e CorelDraw®) usam o giro do botão *SCROLL* para fazer o *Zoom In-Out* (aumentado ou diminuindo a escala de visualização do

desenho). O Illustrator® usa este movimento do botão do mouse combinado com a tecla *ALT* para fazer este *Zoom In-Out*. Frequentemente o ícone do cursor para este tipo de *Zoom* é uma Lupa com sinal positivo (+) ou negativo (-) conforme o sentido do *Zoom*.

O Autocad® e o CorelDraw® usam o *SCROLL* pressionado para arrastar o cursor a fazer *Pan*, movimentando o desenho na tela. O Rhinoceros® usa o botão da direita para este fim e o Illustrator® tem uma ferramenta dedicada que pode ser acessada pelo teclado com letra “H” (da mesma forma que no CorelDraw®). Frequentemente o ícone usado no cursor para este tipo de operação é uma “mão” estendida. A Figura 83 mostra a barra de ferramentas do CorelDraw® com as ferramentas de *Zoom* e *Pan*.

Figura 83: Barra de ferramentas do CorelDraw®.



Fonte: O Autor.

Ao longo deste item foram analisadas as principais operações de interação que poderiam ser utilizadas para a construção da experiência de interação na nova interface do HyperCAL<sup>3D</sup>. Foram analisadas 4 tipos de operações interativas: Seleção de objetos, Translação de objetos, rotação de objetos e operações de controle de visualização (controle de câmera). A partir das operações analisadas, algumas ideias foram diretamente incorporadas nas intervenções da nova interface, outras não foram utilizadas neste momento por requerer uma estratégia mais aprofundada de “como” e “porque” editar os objetos na GD, e qual o objetivo educacional destas operações. Assim as operações de Translação de objetos e rotação de objetos, neste momento ainda não foram utilizadas porque envolvem a alteração das coordenadas dos elementos e isto influenciaria, também, a maneira como os elementos geométricos e, possivelmente, o sólido é criado. Conforme estipulado no início do trabalho, a criação e alteração da Geometria e topologia do sólido esta fora do escopo deste trabalho.

Por outro lado, a análise das operações de seleção de objetos gerou uma das principais intervenções na nova interface, o menu de seleção de faces e arestas encontradas abaixo do clique do mouse (item 4.4.2.3) que utiliza o mesmo estilo de interação do Rhinoceros®. Outras duas funcionalidades incorporadas dos controles de visualização foram o *Pan* Transparente (item 4.4.2.8) e o *zoom* de contexto (item 4.4.2.9). O *Pan* Transparente permite que o comando *pan* (translação da câmera) seja executado durante a execução de outros

comandos, sem atrapalhar o que o usuário estava fazendo, e o *Zoom* de contexto permite ampliar e reduzir a imagem mantendo o foco no cursor, ou seja, o ponto abaixo do cursor fica fixo enquanto o resto da imagem ajusta sua proporção, isto evita a desorientação do usuário e é usado nos programas CAD analisados.

Além destas, também foram utilizadas a mudança de cursores como uma forma de *FeedBack* Visual e a exibição das informações relevantes para o usuário próximas ao cursor, além da tradicional Barra de Status na base da Tela. Estas novas intervenções foram descritas no item 4.6.

Além das operações interativas utilizadas em *softwares* vetoriais, esta interação também foi analisada sob a lente da usabilidade.

#### 4.3.3 ADEQUAÇÃO ÀS METAS DE USABILIDADE

Na medida em que o funcionamento destas operações foi sendo descrito, também foi analisado o quanto estas operações contemplam as metas de usabilidade descritas no “item 2.2.2” (Metas do design de interação).

É importante salientar que os programas gráficos (CorelDraw® e Illustrator®) tem objetivos diferentes dos programas CAD (Autocad® e Rhinoceros®) no que se refere à precisão do desenho. Nos programas gráficos a precisão necessária é máximo visível em uma impressão em papel, enquanto que os programas CAD são mais rigorosos com a precisão, trabalhando com unidades independentes da impressão que se referem ao projeto sendo representado.

Estas características também definem a expectativa dos usuários com relação aos programas utilizados, as tarefas que se propõem a realizar e conseqüentemente o sucesso das operações. A seguir, as mesmas operações são analisadas sob a lente da usabilidade, conforme as metas de usabilidade descritas no item 2.2.2.

- **Ser eficaz no uso:** se refere a quanto um sistema é bom em fazer o que se espera dele.

A seleção de objetos em todos os programas é muito bem resolvida, pois permite a seleção de um único objeto, permite acrescentar (ou retirar) individualmente objetos do grupo de seleção ou mesmo selecionar um grupo de objetos por meio de uma janela.

A translação direta de objetos através do movimento do cursor é certamente uma característica importante, bem como a possibilidade de fazer este movimento de forma precisa através de um comando específico ou através dos valores de coordenadas ou deslocamento nas caixas apropriadas. Cada uma destas possibilidades tem seu uso e atendem a uma necessidade diferente.

Da mesma forma, a rotação direta atende melhor aos propósitos dos programas gráficos, mas para precisão necessária aos sistemas CAD, o comando de rotação, com a inserção de informações específicas, é mais adequado ao que espera da tarefa.

Quanto ao controle de visualização, vincular os comandos de câmera (*Zoom* e *Pan*) a um botão específico do mouse (*SCROLL*) é uma estratégia muito eficaz, pois torna o acesso a estas operações direto e transparente ao trabalho sendo executado no momento (pode ser feito durante outras operações, simultaneamente).

- **Ser eficiente no uso:** se refere à maneira como o sistema auxilia os usuários na realização de suas tarefas;

Os objetos selecionados são destacados visualmente dos demais objetos bem como as alças de edição do objeto selecionado ou os pontos importantes (*EndPoints* e *MidPoints*) dando pistas visuais aos usuários que mais operações podem ser realizadas a partir daqueles pontos.

A translação direta (clicar e arrastar) se torna muito mais precisa com o auxílio dado pelo reconhecimento automático dos alinhamentos, que é fundamental para os programas de composição visual.

Nos programas gráficos, a rotação pode ser feita livremente ou auxiliada pela tecla *CTRL* restringindo os ângulos a intervalos de 15°. Nos programas CAD, o comando específico permite a definição exata dos parâmetros de rotação, evitando a necessidade de edições posteriores.

O controle de visualização transparente aos outros comandos é a principal característica de um sistema que auxilia os usuários na realização das suas tarefas, pois permite que o usuário visualize a porção desejada do desenho sem a necessidade de parar o que está fazendo para realizar esta tarefa.

- **Ser segura no uso:** Implica em proteger o usuário de condições perigosas e situações indesejáveis;

Quanto à seleção de objetos, além de destacar visualmente os objetos selecionados alguns dos programas também descrevem na barra de Status quais e quantos objetos estão selecionados, alertando os usuários de quais objetos serão afetados pelas edições futuras.

A translação e a rotação nos programas CAD, ao serem executadas por comandos específicos, evitam potenciais enganos de alinhamentos ou precisão tão importantes em sistemas CAD.

Quanto ao controle de visualização, além das ferramentas de *Zoom* e *Pan* descritas anteriormente, todos os programas tem algum comando para mostrar a página inteira (no caso dos programas gráficos) ou todos os objetos desenhados (no caso dos programas CAD). Estas ferramentas são muito úteis quando a janela de visualização não mostra nenhuma referência que possa orientar o usuário de onde ela se encontra sobre o desenho.

- **Ser de boa utilidade:** refere-as a medida na qual o sistema oferece o tipo de funcionalidade, de modo que os usuários possam realizar suas atividades;

Todas as operações analisadas são extremamente uteis e fundamentais para desempenho das funções a que os programas se destinam, neste caso, nenhuma destas ferramentas poderia ser considerada como supérflua.

- **Ser fácil de aprender:** refere-se à quão fácil é aprender a usar um determinado sistema;

A seleção de objetos associada a translação e rotação (através das alças de edição) é um sistema muito fácil de aprender, os sinais visuais de mudança do ícone do cursor quando passa sobre as alças já indicam as possibilidades de edição e logo após os primeiros testes se entende perfeitamente o funcionamento da ferramenta.

O controle de visualização vinculado ao botão SCROLL do mouse também é muito intuitivo, basta testar rapidamente para entender e associar as funções aos movimentos do botão.

Ainda, todos os programas trazem uma espécie de “tela de boas vindas”, com links para ajuda sobre as funcionalidades básicas do programa (criação, seleção, edição e visualização) para os usuários iniciantes.

- **Ser fácil de lembrar como se usa:** refere-se à facilidade de lembrar como utilizar um sistema, depois de já ter aprendido a fazê-lo (algo extremamente importante para sistemas interativos que não são usados com muita frequência).

O fato de todos estes programas usarem estilos semelhantes facilita muito o aprendizado de um programa quando já se conhece outro programa da mesma linha, bem como facilita a memorização.

Por serem programas visuais, a manipulação direta dos objetos através do cursor é a primeira ação que um usuário inexperiente tenta fazer com a intenção de realizar alguma modificação no objeto (selecionar, mover, Rotacionar, etc.). O fato de todos os programas responderem a estas ações de alguma forma é muito significativo e importante para o aprendizado e memorização.

A manipulação direta através de alças de edição, com ícones de cursor específicos para cada ação e o mapeamento de funções básicas do mouse como: clique, duplo clique, rolar o *SCROLL* e clicar e arrastar, são fundamentais, pois mesmo que o usuário não lembre diretamente qual função um determinado botão executa, é muito simples e rápido testar o funcionamento do mouse e a combinação de teclas para saber qual deles fará o que se quer.

Sempre que necessário, devido à complexidade da operação, o uso de comandos específicos também é bem vindo. Estes podem estar mapeados em barras de ferramentas visíveis na interface ou categorizados e agrupados em menus como: desenho, edição, entre outros.

Muitos destas diretrizes de usabilidade já foram incorporadas ao HyperCAL<sup>3D</sup> ao longo dos anos, tanto na interface do programa quanto no ambiente tridimensional a partir dos frequentes retornos dados por professores e alunos.

Para que a nova interface 2D seja tão interativa quanto a interface 3D e mantenha uma relação biunívoca com ela, é necessário entender os modelos conceituais de ambas as interfaces.

#### 4.3.4 O MODELO CONCEITUAL

Ao utilizar um *software*, os usuários aplicam um Modelo mental de como a interface funciona e o que eles podem fazer (ou não fazer) nela. No HyperCAL<sup>3D</sup> o que podia ou não ser feito no programa se ampliou muito ao longo do seu desenvolvimento.

Inicialmente concebido para criar e visualizar volumes prismáticos, o programa apresentava uma única interface de trabalho 3D onde o sólido era visualizado em VRML, a única interação possível era em termos de movimento da câmera. Quando o programa passou a usar a biblioteca gráfica *OpenGL* esta janela 3D, onde o sólido era visualizado, passou a permitir a seleção de objetos.

Assim, a interface 3D interativa foi desenvolvida com base no modelo conceitual dos programas de modelagem CAD 3D, com os mesmo movimentos orbitais de câmera, *Zoom* e *Pan* onde o alvo da câmera é o próprio objeto modelado. O método Mongeano é todo baseado em projeções do Sólido em planos de projeção posicionados ao redor deste modelo, e posteriormente rebatidos pela linha de terra para serem vistos em um único plano. Deste modo é perfeitamente possível (e desejável) representar o modelo, os planos e suas projeções em 3D. Um dos objetivos da disciplina é desenvolver este raciocínio espacial nos alunos.

A interface 2D (épura) original existente no programa (anterior a intervenção) é na verdade o próprio sistema 3D que foi rebatido e planificado, por esta razão eles estão dispostos em abas separadas no programa, pois é impossível mostrar os dois modos ao mesmo tempo. E como na épura o sistema 3D está planificado, não permite a interatividade com os elementos, pois estes já não estão em suas posições originais em 3D, assim toda a relação espacial entre eles está mudada.

A nova interface 2D se baseia na metáfora do desenho em épura, usa o próprio sistema mongeano como metáfora de interface. Após as primeiras aulas de GD o sistema mongeano já foi apresentado ao aluno, ele já desenhou a épura de algum sólido, então já está minimamente familiarizado com aquele modo de representação (o mesmo trabalhado em outras disciplina do desenho técnico). Ao identificar o trabalho na interface 2D com o seu próprio desenho, o aluno pode mais facilmente relacionar o que acontece na Interface 2D com o que acontece na interface 3D. **A interface 2D passa a ser um mediador entre o papel e o ambiente 3D.** Ambas interfaces são importantes para o raciocínio espacial, por isso elas devem coexistir e serem “espelhadas” ou biunívocas, refletindo todas as ações ao mesmo tempo.

A seguir, uma breve descrição do processo de desenvolvimento do programa, que está relacionado às metodologias ágeis descritas no “item 2.3.1”.

#### 4.3.5 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO HYPERCAL<sup>3D</sup>

Conforme apresentado no item “4.1.1- Histórico do HyperCAL<sup>3D</sup>”, este programa foi criado em 2006 para dar suporte a nova metodologia de ensino de Geometria Descritiva Utilizada na UFRGS.

Desde sua criação até a atualidade vem sendo programado na maior parte do tempo por um único desenvolvedor, o Prof. Dr. Fábio Teixeira, com eventuais contribuições feitas por este autor para resolver problemas específicos ou introduzir algumas funcionalidades novas que foram sugeridas pelos professores que utilizam o *software*.

O processo de desenvolvimento do HyperCAL<sup>3D</sup> pode ser relacionado aos princípios das metodologias ágeis pelas seguintes características:

- **Iterativo e Evolucionário:** Por ser utilizado em sala de aula, novas versões são normalmente apresentadas aos professores (que distribuem aos seus alunos) a cada início de semestre. A partir do retorno dos professores sobre o uso do *software*, problemas encontrados, funcionalidades desejadas, etc., o programa vai naturalmente evoluindo durante o semestre letivo, até que uma nova versão esteja pronta para distribuição no semestre seguinte.
- **Equipe pequena:** o desenvolvimento é normalmente feito por um único programador, com eventuais contribuições de um segundo desenvolvedor. Assim, o programa é desenvolvido por uma equipe de, no máximo, duas pessoas. Isto faz com que os diferentes papéis (coordenador, membro, programador, representante do cliente) normalmente encontrados em equipes maiores das metodologias ágeis sejam frequentemente exercidos pela mesma pessoa, tornando reuniões frequentes (como no exemplo do SCRUM) uma prática não aplicável.
- **Testagem contínua:** a cada nova implementação de uma ferramenta, o programa é exaustivamente testado pelo desenvolvedor, e considerando que a distribuição do programa é feita somente aos alunos matriculados nas disciplinas, sempre que alguma correção no código se faz necessária, pode ser facilmente corrigida e redistribuída aos alunos, que são também testadores do programa.

- **Iterações sem um tempo determinado:** embora as versões sejam distribuídas no início do semestre, não existe um ciclo definido para cada iteração entre: definição, implementação, teste e distribuição. O tempo de cada iteração depende muito da complexidade da ferramenta sendo codificada e, principalmente, do tempo de dedicação específica disponibilizado pelo desenvolvedor.

Considerando a peculiaridade do processo de desenvolvimento existente do HyperCAL<sup>3D</sup>, é muito difícil tentar mudar ou adaptar este processo para que se enquadre em alguma metodologia ágil existente (SCRUM, LSD, XP, entre outras), conforme descritas no item “2.3.1 - Metodologias Ágeis”. Mais adequado, e com maiores chances de sucesso, é utilizar um Sistema KANBAN (quadro kanban e diagrama de fluxo cumulativo) para aprimorar o processo existente, permitindo que se registrem as necessidades e se acompanhe o desenvolvimento do programa através desta ferramenta. Este sistema não propõe mudanças radicais, apenas propõe modificações sistemáticas nos processos existentes para incorporar princípios ágeis de desenvolvimento.

#### **4.4 INTERVENÇÃO: NOVA INTERFACE 2D**

O primeiro obstáculo a ser superado para o sucesso da Nova interface bidimensional foi sua representação. Não poderia mais ser o próprio sistema 3D planejado, como era feito até então, pois esta abordagem trazia consigo o problema de que os objetos perdiam suas relações espaciais originais que seriam necessárias para que ambas as interfaces funcionassem interativamente e simultaneamente.

O ambiente de trabalho 3D tem dois componentes básicos: uma janela de visualização, o *TGLSceneViewer* e o componente de cena onde os objetos são criados, o *TGLScene*. Estes dois componentes são vinculados um ao outro, a cena é necessária para criação dos objetos, inclusive da câmera que é utilizada pela janela de visualização para renderizar os objetos criados.

Para a nova interface 2D foi necessária a criação de outra janela (*TGLSceneViewer*) e outra cena (*TGLScene*) para garantir a independência dos dois ambientes. Diferente do ambiente 3D (em perspectiva cônica) a nova câmera já foi criada no modo ortogonal de projeção, condizente as projeções utilizadas no sistema Mongeano.

A segunda decisão importante a ser tomada foi: quanto do sistema 3D precisava ser duplicado para que as interfaces funcionassem como o esperado? A resposta a esta pergunta não era simples. A estrutura de dados é organizada em níveis: A classe *Tsistema* (sistema de planos de projeção) controla todos os planos de projeção criados; A classe *TplanoProj* (plano de projeção) contém um sistema de referência e todas as arestas e pontos projetados; A classe *TArestaProj* (projeção da aresta) contém sua representação *OpenGL* (o que vemos na tela), o mesmo acontece para a Classe *TPontoProj* (projeção do ponto).

Após muito debate entre a equipe de desenvolvimento e depois de duas abordagens sem sucesso, o caminho finalmente escolhido (e que resolveu o problema) foi duplicar apenas o estritamente necessário para a representação em *épura* no nível mais raso possível. Assim, tanto a classe *TPontoProj* quanto a classe *TArestaProj* passaram a ter duas representações, uma em 3D e outra em *Épura*. Para que isto fosse possível o *TPlanoProj* passou a ter dois sistemas de referência (*Tsis* e *Tsis\_ep*), onde um ficava posicionado em 3D e o outro era rebatido em relação ao sistema original já na criação. Desta forma a árvore de planos de projeção (*Tsistema*) era a mesma em termos estruturais, mas duplicada na sua representação.

O Plano de projeção (*TplanoProj*) que contém dois sistemas de referências se encarrega de fazer correspondência entre os dois ambientes em tempo real. Os objetos no ambiente 3D são desenhados usando as coordenadas globais, estas coordenadas globais são transformadas em coordenadas locais do sistema de referência *Tsis* (3D), as coordenadas locais são repassadas para o sistema de referência *Tsis\_ep* (*épura*) que transforma tudo para coordenadas globais da *épura*. No sentido inverso ( $2D \leftrightarrow 3D$ ) o funcionamento é o mesmo. Os dois Sistemas de referência trocam informações através de suas coordenadas locais (que são idênticas) e os ambientes 3D e 2D transformam em coordenadas Globais para renderizar na tela.

Além das classes das Arestas e Pontos projetados também foi necessária a duplicação dos nomes dos pontos ( $A^1$ ,  $A^2$ ,  $B^1=D^1$ , etc.), pois estes são desenhados em todos os planos de projeção.

Uma nova Classe foi criada para agrupar tudo o que seria desenhado em *épura* para cada plano de projeção. Além das projeções dos Pontos (com suas marcações em cruz e linhas de chamada) e das projeções das Arestas (com trechos tracejados ou não) e dos Nomes dos Pontos (que calcula automaticamente a existência de pontos sobrepostos naquela projeção) a *épura* também tem elementos próprios a serem desenhados, como a linha de terra, as 3 setas

dos eixos e o nome dos eixos (X, Y e Z), todos com suas respectivas cores (vermelho, verde e azul – *Red, Green and Blue* – RGB). A rotina de desenho destes elementos difere dependendo se o plano criado é um plano Horizontal ou é um plano Frontal.

Esta dupla representação independente em 3D e 2D tornou possível que ambas interfaces funcionassem simultaneamente lado-a-lado, que não tinha sido considerado na proposta original mas se considerou um recurso valioso, especialmente para fase inicial da disciplina quando se está construindo o conceito da representação Mongeana 2D do espaço 3D. Foi implementado também botões de controle de visualização em ambas janelas para que o usuário possa visualiza-las lado-a-lado, ampliar uma janela (reduzindo a outra) ou mesmo ocultar uma janela totalmente.

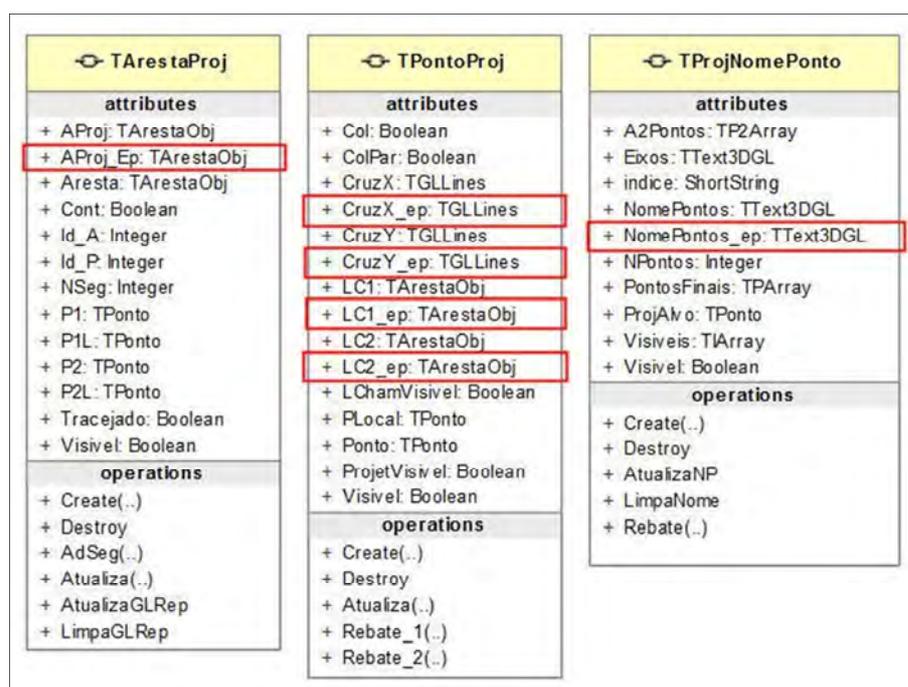
#### 4.4.1 UML DAS MUDANÇAS NA ESTRUTURA

A seguir a representação em UML das Classes modificadas e da nova classe *Épura*.

##### 4.4.1.1 NOVA REPRESENTAÇÃO “\_EP”

Toda Classe geométrica que é desenhada na cena 3D recebeu também uma representação para ser desenhada na *épura*. Isto significa uma duplicação do elemento desenhado que representa visualmente aquela classe.

Figura 84: Classes *TArestaProj*, *TPontoProj* e *TprojNomePonto* Modificadas.



Fonte: O Autor.

A Figura 84 exibe as classes afetadas por esta mudança: Aresta Projetada, Ponto Projetado e Nome dos Pontos projetados. Na Aresta projetada (Classe *TArestaProj*) foi acrescentada uma nova aresta projetada a ser desenhada na écura (*AProj\_Ep: TArestaObj*). Esta aresta é idêntica a aresta projetada do 3D, desenhada com as mesmas coordenadas locais e controladas pelos mesmo indicadores (seleção, visibilidade, tracejado, etc.). Da mesma forma as entidades desenhadas do Ponto de Projeção (*TPontoProj*) foram duplicadas para serem renderizadas na écura. Para o Nome dos pontos só o que precisava ser duplicado era a propriedade *NomePontos\_Ep*, que utiliza uma fonte específica para ela definida no Plano de projeção.

#### 4.4.1.2 NOVAS PROPRIEDADES DO PLANO E PROJEÇÃO

Na mudança de sistema de referência no ambiente 3D um novo plano de projeção é sempre criado a partir de um plano já existente, por isto é importante que o plano guarde além do seu próprio sistema de referência (*Sis: Tsis*) o sistema de referência do plano existente que forma um par com ele (*SisPar: Tsis*). Da mesma forma no ambiente de Écura foi necessária a criação de sistema de referência da Écura (*Sis\_Ep: Tsis*) e do sistema existente (*SisPar\_Ep*).

Além disto os planos de projeção também precisam ter a informação de onde construir e renderizar seus objetos, por isto foram acrescentados, além da janela 3D (*GLSV: GlsceneViewer*) e da cena 3D (*Glsc: TGlscene*) a Janela e cena da écura (*GLSV\_Ep: GlsceneViewer* e *Glsc\_Ep: TGlscene*). Estas mudanças podem ser vistas na Figura 85.

#### 4.4.1.3 MUDANÇA NAS ROTINAS DE “COMANDO”

As ações executadas na interface estão diretamente ligadas ao ambiente em que são executadas, as janelas de trabalho 3D e Écura. Cada vez que o usuário clica em um botão para executar uma determinada tarefa o programa entra em um “estado de trabalho” definido por um comando: Mudança de plano, ajustar o plano, deletar um plano, selecionar arestas, selecionar faces, etc. Cada comando tem “sub-comandos” definidos internamente como ações, por exemplo, para fazer uma mudança de plano são necessários no mínimo 3 passos do usuário (ações) para completar o comando.

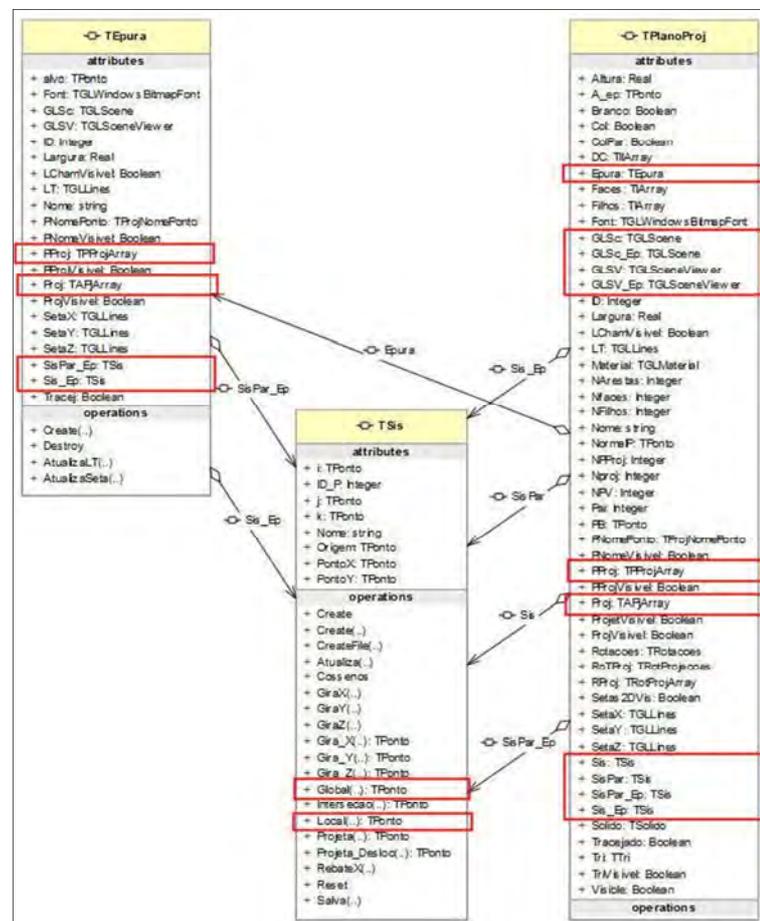
Um comando qualquer normalmente tem duas rotinas associadas a ele, uma rotina *Input* (chamada no evento *MouseDown* na janela de trabalho) que inicia o comando no clique do mouse, e uma rotina *Temp* (chamada e monitorada no evento *MouseMove* na Janela de trabalho) que atualiza os objetos e altera estado das ações intermediárias quando necessário.

Como o programa tinha uma única janela de trabalho Interativa, foram necessárias mudanças nas rotinas (tanto rotinas *Input* quanto rotinas *Temp*) para que elas não ficassem vinculadas diretamente à janela de trabalho 3D, mas sim ligadas à variáveis que eram igualmente alteradas pelas duas janelas de trabalho (3D e épura) nos eventos *MouseDown* e *MouseMove* de ambas interfaces. Desta forma foi possível manter as mesmas rotinas de “comando” já existentes sem a necessidade de duplica-las para a nova interface bidimensional (que foi a ideia original e posteriormente descartada).

#### 4.4.1.4 CLASSE ÉPURA

A Classe *TEpura* agrupa todos os elementos que serão desenhados na Cena da épura, como a Linha de terra, as fonte usada nos nomes dos pontos, as setas dos eixos, os nomes dos eixos, uma lista de arestas e uma lista de pontos, entre outros. Todo plano de projeção tem uma classe épura que está relacionada aos seus novos sistemas de referência (*Tsis\_ep* e *Tsispar\_ep*). A Figura 85 mostra A classe *TEpura* e sua relação com o plano de projeção e o sistema de referência.

Figura 85: UML da classes *TEpura*, *Tsis* e *TPlanoProj* modificadas.



Fonte: O Autor.

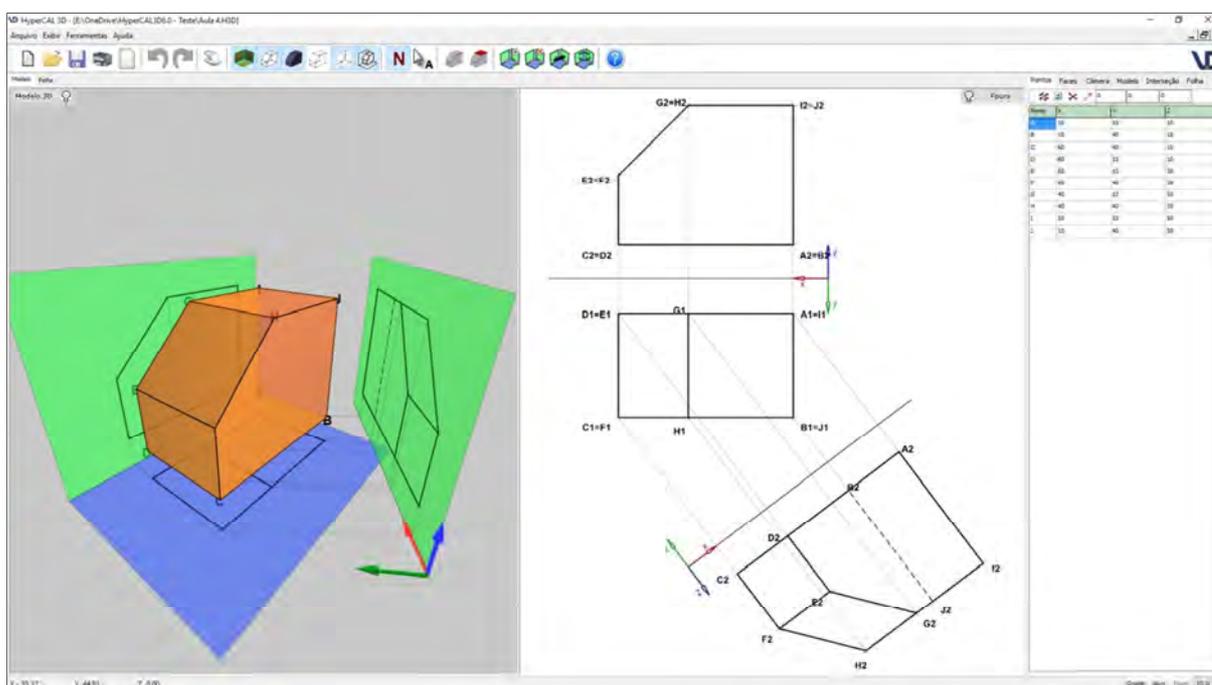
#### 4.4.2 MUDANÇAS NAS FUNCIONALIDADES EXISTENTES

A partir do momento em que se alcançou a representação biunívoca esperada entre as duas interfaces, foi possível a implementação de muitas melhorias em termos de usabilidade da interface. A seguir são apresentadas as mudanças feitas até a apresentação do primeiro protótipo para os professores.

##### 4.4.2.1 CONTROLE DAS JANELAS DE VISUALIZAÇÃO.

A primeira mudança (e talvez a mais radical em termos visíveis) foi a adoção das duas interfaces interativas lado-a-lado. A Figura 86 mostra a nova interface do programa com os dois ambientes de trabalho, o ambiente do modelo 3D à esquerda e o ambiente da época à direita.

Figura 86: Nova Interface mostrando as duas janelas de trabalho.



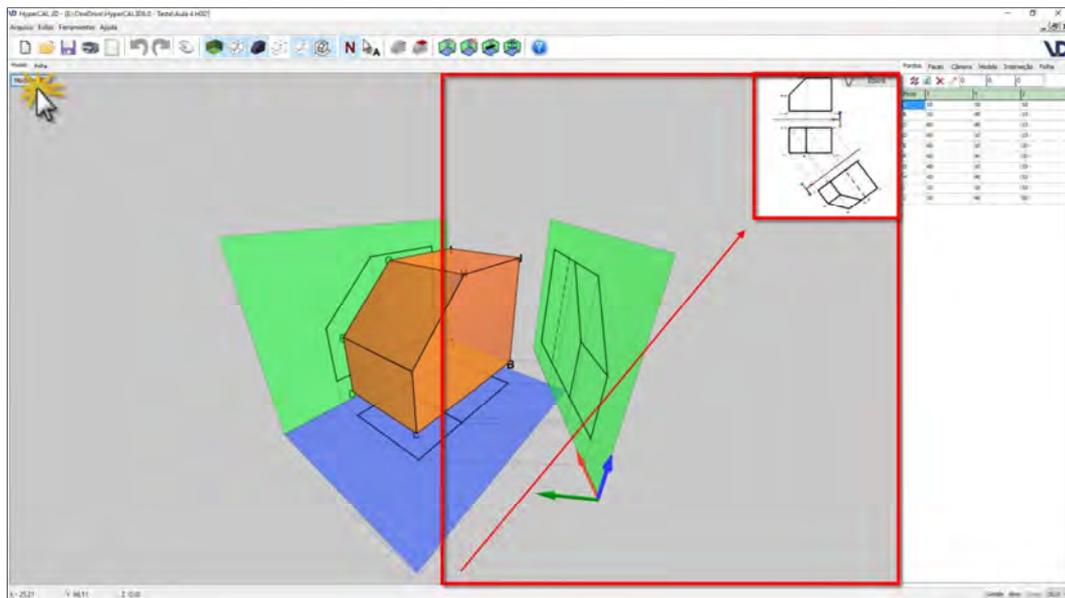
Fonte: O Autor.

Qualquer comando pode ser executado em qualquer uma das duas interfaces, pode-se inclusive começar o comando em um ambiente de trabalho e terminar no outro sem nenhum prejuízo. Esta representação lado-a-lado é importante, especialmente no início da disciplina, para que se visualize a relação entre 3D e 2D, já que ambas as interfaces são interativas e mostram as ações em tempo real, ou seja, quando um plano está sendo movido no 3D, a vista correspondente na época está se movendo também de maneira análoga e simultânea, e o mesmo acontece para as ações realizadas no ambiente 2D, são simultaneamente representadas

no ambiente do Modelo 3D. Esta reciprocidade e atualização em tempo real torna mais claro o processo da Mudança de plano.

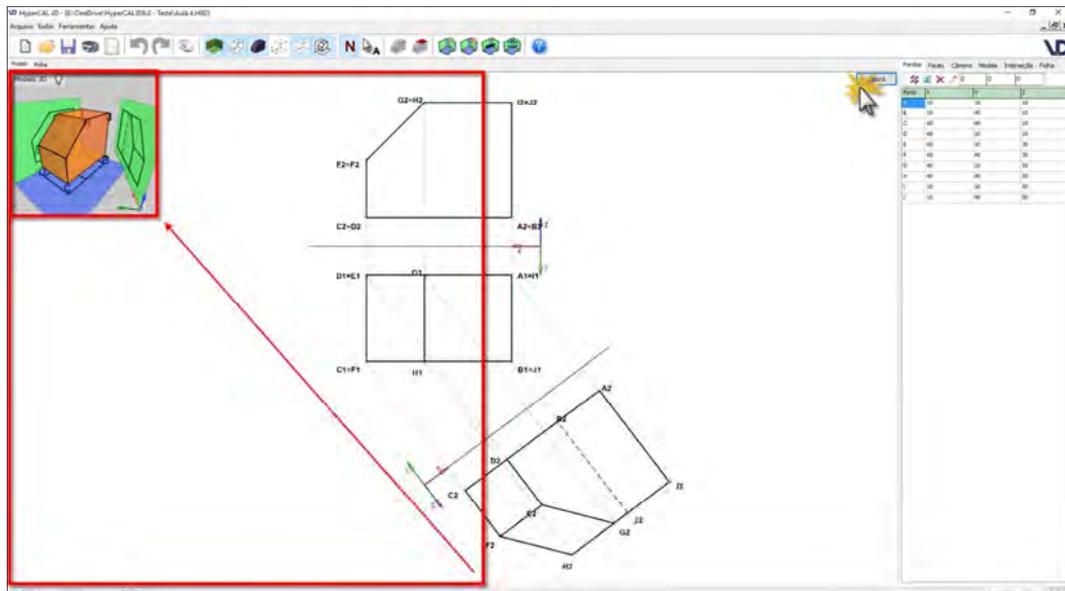
Em outros momentos da disciplina onde esta relação  $3D \Leftrightarrow 2D$  é menos importante é possível aproveitar melhor a área de trabalho maximizando a janela de interesse. Cada uma das janelas de trabalho tem dois botões: um para maximizar a janela de trabalho e outro para desligá-la. Ao clicar no botão com o nome da janela, ela é maximizada, como ilustrado na Figura 87, automaticamente diminuindo a outra janela em direção ao canto superior.

Figura 87: Janela do modelo 3D maximizada.



Fonte: O Autor.

Figura 88: Janela do Modelo 3D desligada.



Fonte: O Autor.

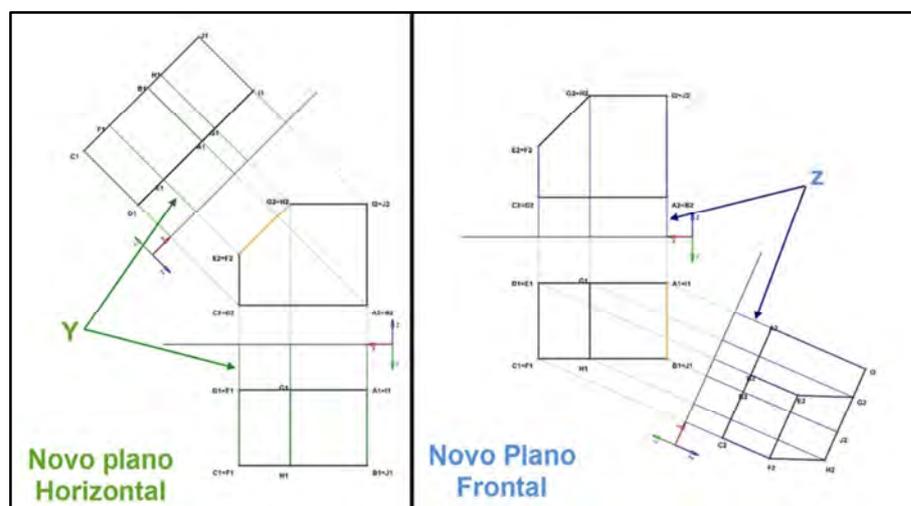
Ambas janelas continuam interativas, ainda é possível visualizar os efeitos de qualquer mudança em quaisquer das duas janelas, no entanto este modo privilegia o uso de uma delas, a janela que está maximizada. Da mesma forma é possível também desligar uma das janelas ao se clicar sobre o ícone da lâmpada para que a outra aproveite o espaço por inteiro, como ilustrado na Figura 88. Neste modo a janela desligada desaparece por completo e a outra janela assume todo espaço da área de trabalho, para fazer com que a janela desligada reapareça, basta um clique em quaisquer dos botões de visualização que as janelas são novamente mostradas lado-a-lado.

#### 4.4.2.2 LINHAS DE CHAMADAS COLORIDAS RELACIONANDO AS MSR

Uma das dificuldades mais frequentes encontradas pelos alunos de GD é saber de onde transportar as coordenadas dos pontos em uma mudança de sistema de referência. Por exemplo, os pontos projetados em um novo plano de projeção horizontal terão suas coordenadas Y (afastamento) transportado do plano Horizontal imediatamente anterior a ele, que faz par com o plano frontal que lhe deu origem. Quando são feitas sucessivas mudança de sistema de referência esta relação entre coordenadas pode ser difícil para os menos acostumados com o processo.

A Figura 89 mostra a criação de um plano horizontal (esquerda) onde as linhas de chamada que correspondem às coordenadas Y são realçadas na cor verde (mesma cor do eixo Y), e a criação de um plano Frontal (direita) onde as linhas de chamada que correspondem às coordenadas Z são realçadas na cor azul (mesma cor do eixo Z).

Figura 89: Linhas de chamadas Verdes e Azuis.



Fonte: O Autor.

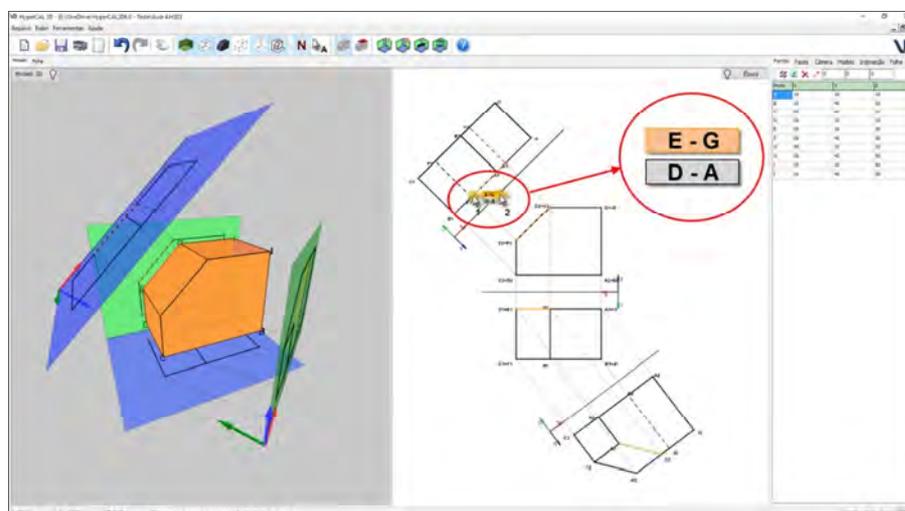
Para facilitar o aprendizado do aluno e reforçar estas relações entre coordenadas na nova interface 2D foram utilizadas cores nas linhas de chamada (as linhas coloridas também têm uma espessura maior) durante a mudança de plano, deixando explícito de onde aquelas medidas são obtidas na é pura. As cores nas linhas de chamada aparecem apenas durante a movimentação do plano, enquanto o usuário escolhe onde ele vai ficar posicionado, uma vez feita a escolha, todas as linhas de chamadas ficam finas e cinza, respeitando a hierarquia de linhas no desenho.

#### 4.4.2.3 SELEÇÃO DE ARESTAS E FACES ATRAVÉS DO MENU

Nas projeções de um sólido em é pura, frequentemente as projeções das arestas ficam sobrepostas umas sobre as outras, ou seja, tem mais de uma aresta no mesmo lugar. Nestes casos foi necessária a criação de um menu que permitisse a escolha precisa da aresta a ser selecionada. Na rotina de seleção o programa reconhece todas as arestas que estão concorrendo no pixel clicado e as organiza neste menu para permitir a seleção. São colocadas no menu apenas as arestas que ainda podem ser selecionadas, caso exista alguma aresta que já foi selecionada antes, esta não entra no menu.

Na Figura 90 o cursor 1 indica que foi clicado em um pixel do desenho que continha duas arestas, neste momento, ao lado do clique se abre um menu com duas possibilidades de seleção, a aresta E-G e a aresta D-A. Ao passar o cursor sobre a opção do menu (cursor 2) esta aresta é realçada (na cor laranja) em todas as projeções (inclusive no modelo 3D) tornando mais fácil sua identificação. Ao se fazer a escolha final, o menu desaparece e a aresta fica na cor vermelha indicando que foi selecionada.

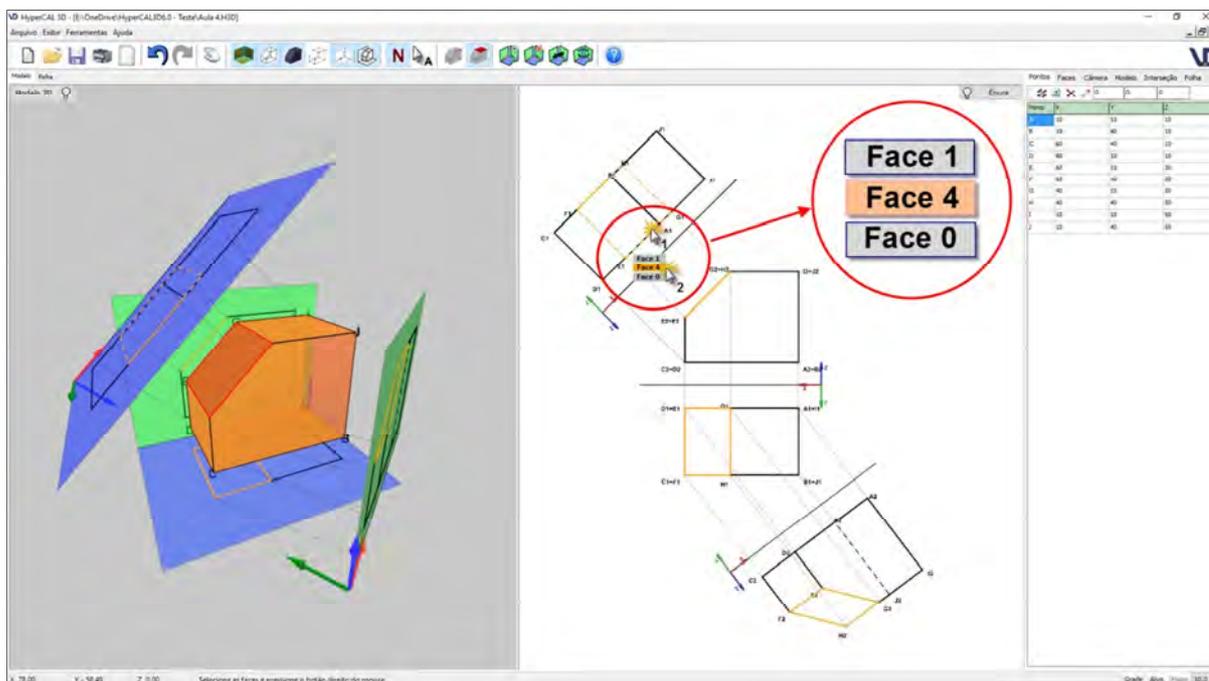
Figura 90: Menu de seleção de arestas.



Fonte: O Autor.

Da mesma forma, a seleção de faces também realça as faces escolhidas no menu. Neste caso, como as faces são representadas por suas arestas, ao se clicar sobre uma arestas é necessário saber a quais faces aquela aresta pertence, e só então construir o menu.

Figura 91: Seleção de Faces pelo menu.



Fonte: O Autor.

Na Figura 91 o cursor 1 indica que foi clicado sobre um pixel que continha duas arestas, cada arestas pertence a duas faces, com uma das faces em comum, foi criado um menu com 3 possíveis faces a serem escolhidas. O cursor 2 quando posicionado sobre o menu (sem clicar) realça na cor laranja as arestas pertencentes aquela face em todas as projeções (no ambiente de é pura e no ambiente 3D) e também no modelo. Ao clicar em uma das opções do menu a face é selecionada e fica vermelha.

Se o usuário clicar em um pixel que tenha apenas uma única opção a seleção já é feita diretamente sem a necessidade do menu.

#### 4.4.2.4 MSR SIMPLIFICADA, DIRETO NA ARESTA

Na interface original, a mudança de sistema de referencia ocorria normalmente em 3 passos: selecionar o plano de referencia (planos verdes ou azuis), selecionar uma aresta de referencia para posicionar o plano paralelo ou perpendicular a ela (este passo era opcional), e finalmente posicionar o novo plano de projeção.

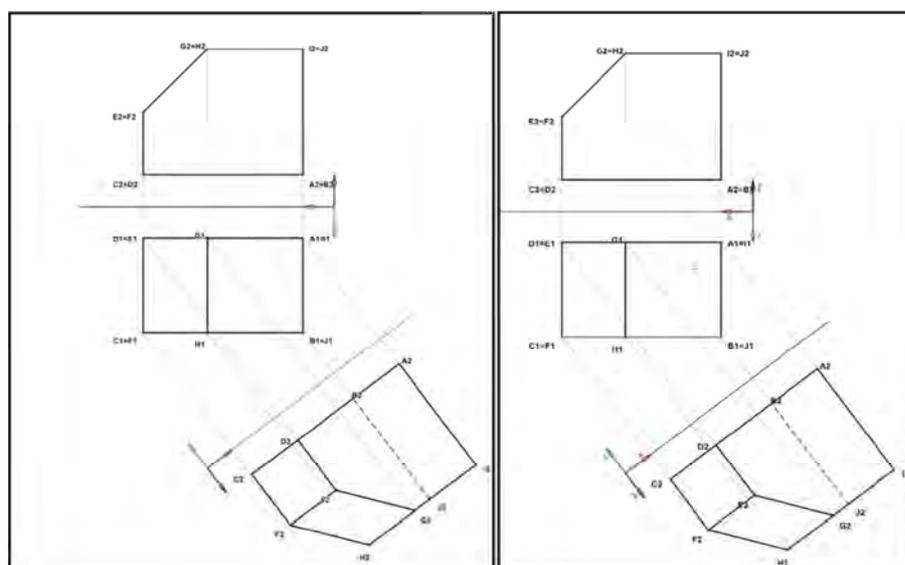
Esta sequencia funciona bem para o ambiente 3D, mas teve de ser adaptada para o ambiente de écura, pois neste ambiente os planos de projeção não são representados diretamente, só o que aparece é o seu sistema de referência (linha de terra e setas dos eixos) e suas projeções das arestas. Para se fazer uma mudança de sistema de referência na écura é necessário apenas dois passos: selecionar a aresta de referencia e posicionar o plano. Desta forma a rotina precisou ser adaptada para permitir as duas formas interação. Para isto o primeiro passo também se tornou opcional, o programa fica esperando que usuário escolha um dos dois: um plano de projeção ou uma aresta projetada. Se um plano for escolhido o usuário ainda pode escolher uma aresta ou já posicionar o plano. Se uma aresta for escolhida primeiro, a rotina já passa para o passo e posiciona o plano.

Toda esta sequencia é controlada pelo Comando *MSRTemp* e suas ações possíveis (0,1 e 2) que são monitoradas nos eventos *MouseMove* de ambas as interfaces.

#### 4.4.2.5 COR NOS EIXOS X, Y E Z E NOME DOS EIXOS NA ÉPURA.

Seguindo o padrão estabelecido pelos sistemas CAD, as setas indicadoras dos eixos na écura receberam as cores Vermelha, Verde e Azul para os eixos X, Y e Z, respectivamente. Este Padrão já era utilizado no ambiente 3D e agora é reforçado no ambiente de écura. As letras dos eixos também foram representadas na nova interface. Estas características podem ser vistas na Figura 92, à esquerda a écura da interface original e à direita a écura da nova interface com as setas coloridas e nome nos eixos (as letras X, Y e Z). Esta distinção de cores também auxilia na transposição de coordenadas para os novos planos de projeção.

Figura 92: Cores Vermelha, Verde e Azul nas setas da Écura.

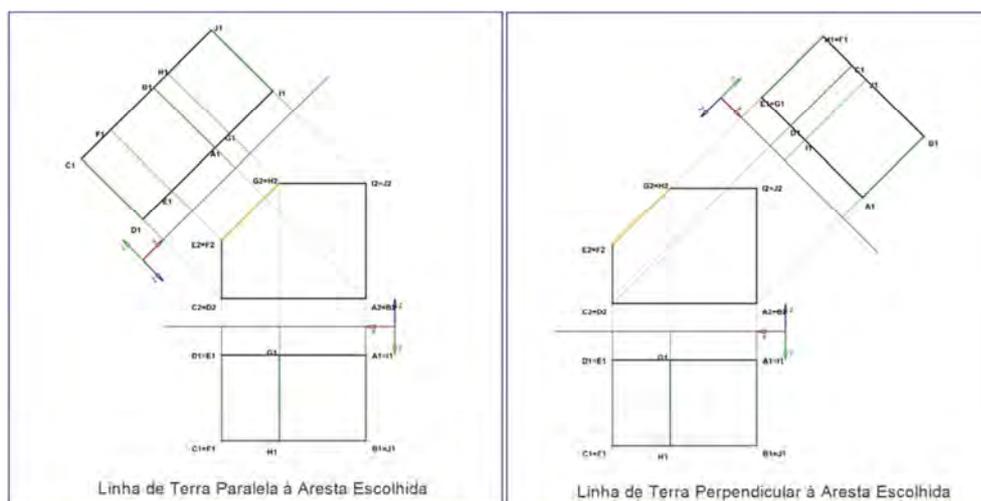


Fonte: O Autor.

#### 4.4.2.6 COR LARANJA DA ARESTA DE REFERÊNCIA NA MSR

Outra mudança significativa da ferramenta de Mudança do Sistema de Referência é o destaque na cor laranja da aresta escolhida como referência para a mudança. Este realce de cor torna mais explícita a relação de paralelismo ou perpendicularismo com a linha de terra do novo plano de projeção.

Figura 93: Aresta de referência realçada na cor laranja.



Fonte: O Autor.

A Figura 93 ilustra esta relação de direção entre a linha de terra e a aresta escolhida. Na parte esquerda da imagem, durante a movimentação da linha de terra, quando o condição de paralelismo é identificada o cursor trava naquela posição, simulando uma condição de magnetismo para as posições do cursor muito próximas, tornando mais fácil a sua identificação. O mesmo acontece para a condição de perpendicularismo, demonstrado na parte direita da figura.

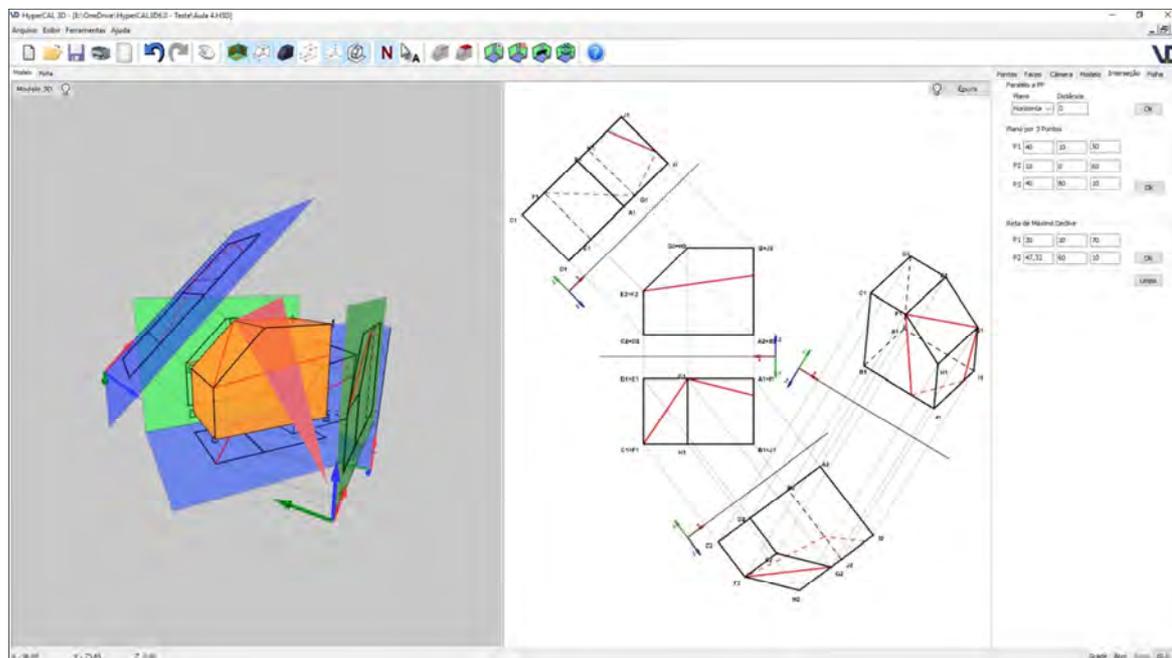
A cor laranja só fica ativa durante a MSR, assim que o comando é finalizado a aresta volta a sua cor normal (preta). Caso o usuário tenha escolhido a aresta errada, ou apenas queira usar outra aresta como referência, é possível cancelar a seleção da aresta escolhida com o botão da direita, assim ela volta a ser da cor preta e o comando volta para a ação anterior (selecionar a aresta de referência).

#### 4.4.2.7 DESTAQUE DAS INTERSEÇÕES

Outro destaque importante é na geração das linhas de interseção do sólido com plano calculadas a partir de 3 pontos que definem este plano. Este comando já estava implementado no programa, o que foi feito foi o destaque das linhas de interseção geradas na cor vermelha em todas as projeções e também no modelo. Como em épura as projeções das arestas ficam

sobrepostas, era difícil de saber onde exatamente passava a interseção em uma determinada vista. A Figura 94 mostra uma interseção determinada através da ferramenta no painel lateral.

Figura 94: Linhas de Interseção vermelhas.



Fonte: O Autor.

#### 4.4.2.8 PAN TRANSPARENTE

Na interface original o comando *Pan* (translação da câmera) era tratado da mesma forma que os outros comandos de edição, assim era impossível executá-lo durante a execução de outro comando. Esta situação é rotineira em softwares de desenho para reposicionar o desenho na janela de visualização, o mesmo acontece com os softwares CAD ao visualizar o modelo.

Através da criação de variáveis de estado que salvam o comando sendo usado e também a ação do comando em que estava naquele momento foi possível a execução do comando *Pan* de forma transparente, ou seja, ele pode ser executado durante outros comandos. Ao clicar no rolete e arrastar o mouse, o programa salva o comando que estava sendo executado e ação em que estava naquele momento em duas variáveis distintas, então executa o *pan* normalmente e ao terminar reestabelece o comando e a ação originais de forma que o usuário não percebe que o comando foi interrompido.

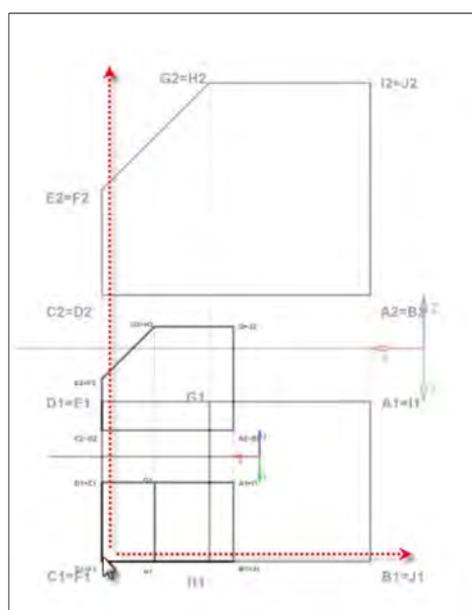
#### 4.4.2.9 ZOOM DE CONTEXTO

O comando *Zoom* altera a escala da imagem vista na janela de visualização. Quando se altera a escala de uma imagem existe sempre um único ponto que se mantém na mesma posição enquanto todos os outros pontos da imagem são deslocados para refletir a mudança de escala. Normalmente, este ponto fixo é o próprio alvo da câmera (centro da janela de visualização).

Ainda que este tipo de comportamento do *Zoom* seja comum, não é a melhor prática, pois quando nosso foco de atenção não está no centro da janela e se faz um zoom com o rolete do mouse este foco de atenção é deslocado, causando desorientação.

Uma boa prática é tornar o cursor como o ponto a ser fixado na imagem, pois frequentemente o próprio cursor é o foco de atenção do usuário. A simulação deste comportamento do *Zoom* pode ser alcançada ao combinar o movimento de *Zoom* e *Pan* em um único comando. É necessário guardar a posição inicial do cursor na imagem, aplicar o zoom e calcular o deslocamento daquele ponto de interesse a cada giro do rolete. Neste momento o programa faz um *Pan* no sentido contrário do deslocamento, trazendo de volta o ponto de interesse para baixo do cursor. Na perspectiva do usuário isto tudo acontece instantaneamente. A Figura 95 ilustra a mudança de escala de visualização (*zoom*) de uma épura onde o cursor é colocado na parte inferior esquerda do desenho, durante a mudança de escala o ponto abaixo do cursor se mantém sempre no mesmo lugar, facilitando a orientação do usuário e causando o efeito desejado.

Figura 95: Zoom mantendo o foco abaixo do cursor.

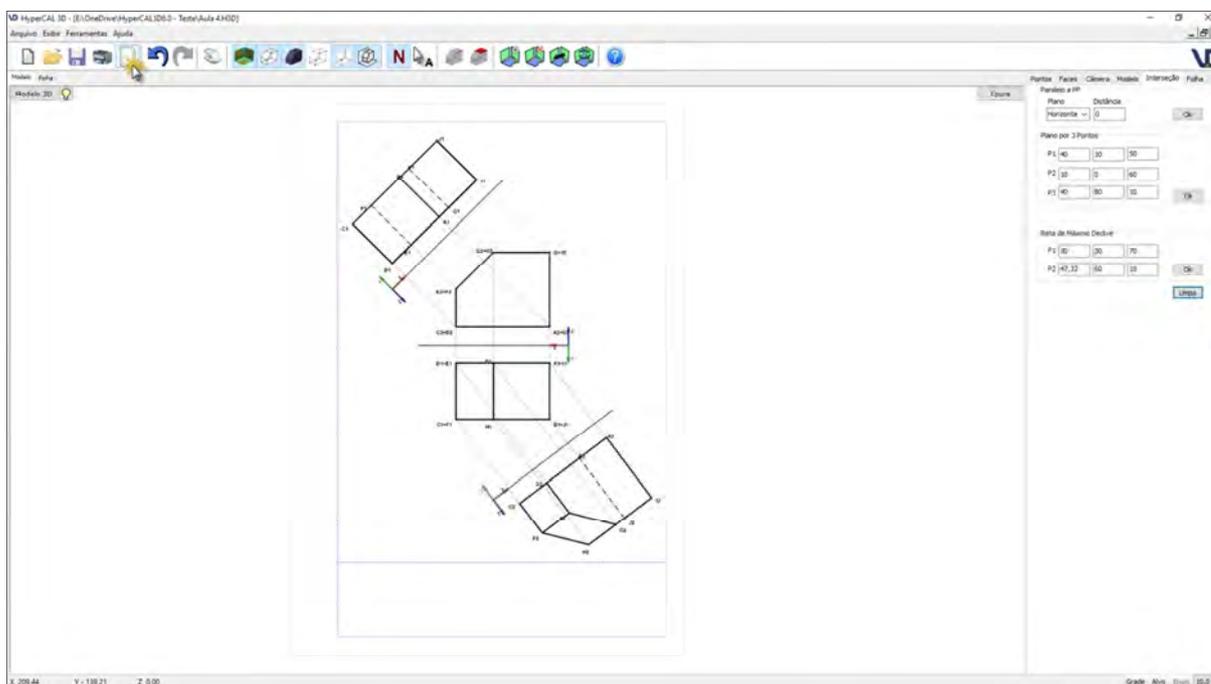


Fonte: O Autor.

#### 4.4.2.10 LIMITE DE IMPRESSÃO

A Figura 96 mostra as margens da folha com o espaço ocupado pelo selo (azul pontilhado) e também as bordas da Folha de papel (cinza pontilhado).

Figura 96: Margens de impressão.



Fonte: O Autor.

Um dos usos mais comuns do programa é para a preparação de exercícios pelos professores. Uma vez criado o exercício pode-se visualizar na “Folha” como o exercício vai ser impresso. Com a criação da *épura Interativa* foi possível também criar a visualização das margens de impressão diretamente na *épura* para melhor avaliar o espaço ocupado pelo exercício na folha, e, principalmente, para que se possa fazer os ajustes necessários na *épura* para que caiba na folha de impressão, sem a necessidade de trocar de aba para avaliar se o exercício cabe ou não na folha.

#### 4.4.3 REGISTRO DA INTERVENÇÃO (KANBAN)

Conforme definido anteriormente na metodologia, ao longo do projeto foi utilizado um quadro *Kanban* para registro e organização do trabalho. Na medida em que o projeto era executado, novas tarefas iam sendo inseridas no quadro conforme a prioridade e possibilidade de implementação no momento. As tarefas podiam ser classes inteiras, procedimentos ou propriedades de uma classe, rotinas de visualização, bugs a serem consertados, enfim, qualquer tarefa que exigisse uma dedicação específica em termos de código para sua solução.

A evolução das tarefas ao longo do quadro *Kanban* sempre respeitava os limites máximos estabelecidos para cada etapa do trabalho, por exemplo, não poderia haver mais de 3 tarefas em programação ao mesmo tempo, ou mais de duas tarefas em projeto ao mesmo. Respeitar estes limites foi ao mesmo tempo desafiador e fundamental. Desafiador porque frequentemente a resolução de um problema não está encerrada em si própria, depende da mudança de outros parâmetros ou classes envolvidas no problema, o que faz com seja necessário mudar várias classes ao mesmo tempo pra solucioná-lo. Em muitas destas vezes esta solução foi limitada pelo limite imposto inicialmente. Por outro lado, foi fundamental para organizar o trabalho e evitar que muitas classes fossem mexidas ao mesmo tempo podendo causar erros muito difíceis de serem solucionados em função das várias relações envolvidas no processo. Este limite impôs que o projeto fosse claro o suficiente para que cada classe fosse completamente ajustada conforme o projeto antes que o “todo” pudesse ser testado. Na planilha criada para o quadro *Kanban*, as tarefas eram movidas da esquerda para a direita conforme o trabalho era realizado. Cada tarefa percorria as seguintes etapas:

- Para fazer: uma lista de espera antes que as tarefas entrassem em produção.
- (Design) “Análise”, “Projeto” e “Pronto para programar”: A etapa de Design foi subdividida 3 categorias porque frequentemente ao longo do projeto se descobria a necessidade de novas intervenções em outras classes em função de suas relações, isto permitia que todas as classes permanecessem “em Design”, enquanto o plano de abordagem era delineado e aprofundado, sem que pra isso todas as classes ficassem empilhadas na mesma coluna.
- (Implementação) “Programação”, “Teste” e “Validação”: Da mesma forma, a Etapa de Implementação foi subdividida para comportar a maneira cíclica de trabalho, uma vez que as tarefas não podem voltar a uma coluna anterior a subdivisão permitiu que uma classe permanecesse mais tempo em implementação (caso necessário), a fase de Teste servia para testar o funcionamento da própria classe, enquanto as relações com outras classes eram verificadas na fase de Validação (ou integração).

A Figura 97 mostra do lado esquerdo o andamento das tarefas em execução e algumas já completadas, e do lado direito o registro das datas em que a tarefa foi movida ao longo do quadro com o cálculo dos respectivos tempos. As datas apresentadas nesta figura são

referentes à primeira abordagem, a qual foi interrompida logo depois por se mostrar inviável. A abordagem final só começou seis meses depois, na terceira tentativa.

A partir deste registro dos tempos de cada tarefa foi possível utilizar estes dados para a criação do Diagrama de Fluxo Cumulativo (*Cumulative Flow Diagram*).

Ao final de cada dia de trabalho, os dados relativos ao trabalho realizado naquele dia eram transferidos para outra planilha, que seria a base de dados para o diagrama. Eram computadas quantas classes estavam em cada uma das colunas e quanto já havia sido feito até o momento. Esta transferência de dados tinha que ser feita manualmente.

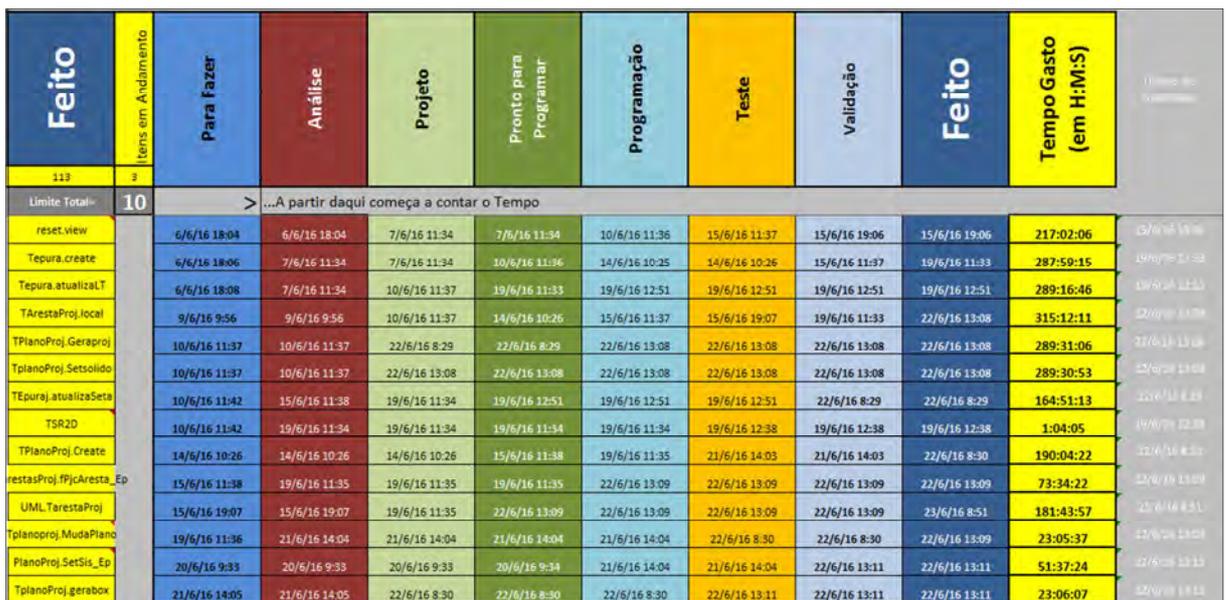
Figura 97: Andamento das tarefas ao longo do quadro Kanban.



Fonte: O Autor.

A Figura 98 amplia a porção direita de outro quadro Kanban (da terceira abordagem) para melhor visualizar o registro dos tempos de cada tarefa.

Figura 98: Registro dos tempos de cada tarefa no quadro Kanban.



Fonte: O Autor.

A Figura 99 mostra os primeiros dias da Abordagem que foi bem sucedida (o terceiro projeto a ser implementado). Ao lado direito, um cálculo do tempo total decorrido desde o início do projeto.

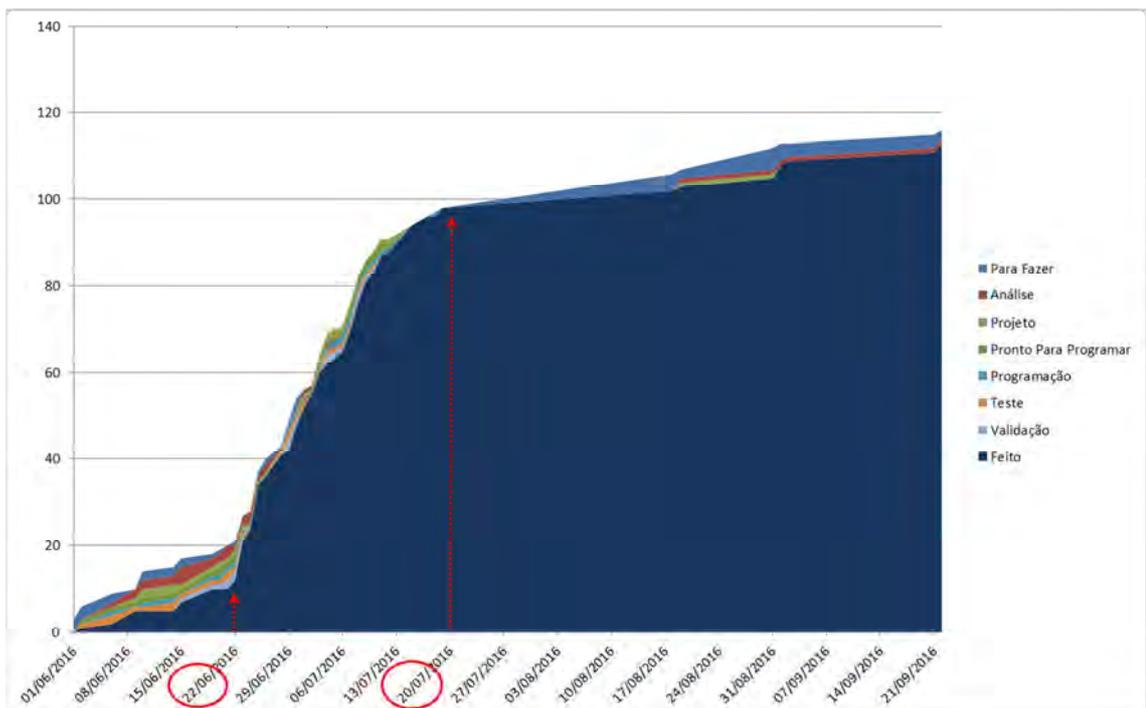
Figura 99: Dados do andamento do trabalho diário.

Ao final do dia... Copiar e Colar Especial: Apenas os Valores											
Data	Para Fazer	Análise	Projeto	Pronto Para Programar	Programação	Teste	Validação	Feito	Total de Itens	Tempo Desde o início do Projeto	
01/06/2016	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
02/06/2016	3	0	0	1	0	1	0	1	6	1	7
06/06/2016	2	1	0	1	1	2	0	2	9	5	8
09/06/2016	0	2	1	1	0	1	0	5	10	8	0
10/06/2016	2	2	2	1	1	1	0	5	14	9	2
14/06/2016	2	2	2	1	1	2	0	5	15	13	1
15/06/2016	2	4	1	1	0	1	1	7	17	14	9
19/06/2016	1	2	1	1	1	1	1	10	18	18	3
20/06/2016	1	2	1	2	1	1	1	10	19	19	0
21/06/2016	0	3	1	1	1	2	2	10	20	20	4
22/06/2016	1	1	1	2	1	1	2	12	21	20	23
23/06/2016	0	2	1	0	1	1	1	21	27	21	23
24/06/2016	0	3	1	0	0	0	0	24	28	23	2
25/06/2016	1	1	1	0	0	0	0	34	37	23	23
26/06/2016	1	2	1	0	0	0	0	36	40	25	7

Fonte: O Autor.

A partir destes dados foi possível criar o Diagrama de Fluxo Cumulativo, uma espécie de fotografia do processo como um todo, que mostra o quanto foi feito a cada dia e quais foram os principais “Gargalos” ao longo do projeto, conforme apresentado na Figura 100.

Figura 100: Diagrama de fluxo Cumulativo



Fonte: O Autor

Na figura destaca-se o dia 22/06 e 20/07/2016. O primeiro foi quando a representação biunívoca entre as duas interface foi, finalmente, alcançada. Até este dia as tarefas estavam sendo resolvidas ao mesmo tempo, muitas coisas em suspenso (sem solução) porque dependiam desta sincronia entre os dois ambientes de trabalho (2D $\leftrightarrow$ 3D). Até o dia 22/06 apenas 10 tarefas já estavam completas e tinham outras 10 em andamento, o limite máximo permitido no quadro *Kanban*. A partir deste marco, uma vez conseguida esta sincronia entre os ambientes, as tarefas foram sendo completadas com muita facilidade e rapidez, pois a integração não só permitia o teste e validação das classes como estimulava a criação de novas ferramentas que até o momento ainda não tinham sido pensadas. No período de quase um mês, até o 20/07 foram completadas 98 tarefas, foi quando o primeiro protótipo foi distribuído aos especialistas para a inspeção de usabilidade.

Após as entrevistas com professores (usuários experientes) e os testes de usabilidade com os alunos (usuários novatos) foram completadas ainda mais 15 tarefas, resultado do *feedback* obtido nas entrevistas, além de outras 8 tarefas a serem implementadas na lista de espera cuja a solução requer mais tempo do que o disponível até a defesa deste trabalho. No tópico seguinte a descrição de como foram feitas estas avaliações de usabilidade e seus resultados.

## **4.5 AVALIAÇÃO DE USABILIDADE**

A Avaliação de usabilidade foi feita por 3 grupos distintos de voluntários: Especialistas, Usuários Experientes e Usuários Novatos. Entre estes grupos foram feitas 6 avaliações: Os especialistas fizeram uma Inspeção de usabilidade da interface dividida em 2 partes: Percurso Cognitivo e Avaliação Heurística. Os Usuários Experientes foram entrevistados e responderam a um questionário. Os usuários Novatos avaliaram a Interface Original e a nova Interface utilizando uma Escala de Usabilidade (S.U.S) e responderam ao mesmo questionário dos usuários experientes.

### **4.5.1 INSPEÇÃO DE USABILIDADE POR ESPECIALISTAS**

A primeira Avaliação foi a Avaliação Heurística (NIELSEN e MOLICH, 1990-b), uma inspeção de usabilidade feita por 3 especialistas selecionados através de dois critérios: Disponibilidade e área de atuação. O Avaliador 1 é doutor em Ergonomia e professor de GD, o Avaliador 2 é mestre em Design, programador e Professor de GD e o Avaliador 3 é professor de Computação Gráfica, mestre em Design e especialista em interfaces.

A inspeção de Usabilidade foi dividida em dois momentos: um Percurso Cognitivo Simplificado (SPENCER, 2000) onde os avaliadores executaram duas tarefas significativas no software seguindo um roteiro passo-a-passo, e uma Avaliação Heurística onde a interface foi utilizada buscando por violações das heurísticas de usabilidade (NIELSEN, 1993).

O Percurso Cognitivo avalia a facilidade de aprendizado por exploração de um sistema. As tarefas dos usuários são decompostas em ações, sequência de passos necessários para realizar a tarefa. O avaliador analisa cada ação tentando se colocar no lugar do usuário (professores e estudantes de GD), questionando se é possível realizar as ações e se elas conduzem ao cumprimento da tarefa com sucesso, anotando as características de usabilidade problemáticas. Caso ocorra problema na realização das ações, o avaliador levanta hipóteses sobre o problema e propõem soluções (ROCHA e BARANAUSKAS, 2003).

No Percurso Cognitivo Simplificado, o avaliador executa a tarefa seguindo um roteiro a cada passo se faz duas perguntas:

- A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
- B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*

Nesta avaliação do percurso Cognitivo os principais problemas detectados pelos avaliadores foram:

- A Pouca visibilidade do Status do comando na comunicação com o usuário (feedback). A comunicação com o usuário estava sendo feita apenas através barra de Status (faixa na parte inferior da tela do programa), a sugestão do avaliador é que fosse usado um texto próximo ao cursor (foco da atenção do usuário).
- A impossibilidade de “Desfazer” uma ação errada (*Undo*). E como consequência desta a opção “Refazer” (*Redo*).

Na Avaliação heurística foram detectadas 13 violações conforme segue:

- 1 problema com Grau de severidade 1 - Cosmético;
- 6 problemas com Grau de severidade 2 - Simples;
- 3 problemas com Grau de severidade 3 - Grave;

- 3 problemas com Grau de severidade 4 - Catastrófico.

Dentre estas 13 violações também se encontram os dois problemas detectados no percurso Cognitivo simplificado.

Os Resultados desta avaliação podem ser examinados no Apêndice 3 - Resultados Inspeção de Usabilidade. A partir desta avaliação os problemas encontrados no protótipo que podiam ser solucionados rapidamente foram corrigidos e uma nova versão foi disponibilizada para as avaliações seguintes com os usuários. Os problemas mais complexos, como a opção de Desfazer, foram colocados em espera por demandar uma intervenção maior no programa.

#### **4.5.2 AVALIAÇÃO COM USUÁRIOS EXPERIENTES: PROFESSORES**

Na Avaliação com os professores foram utilizadas duas ferramentas: uma entrevista semiestruturada (Apêndice 4 - Protocolo de Entrevista com Especialista) onde em um primeiro momento informações básicas foram coletadas sobre a experiência de ensino na GD e o modo como o programa era utilizado (em sala de aula e fora dela), depois disto um protótipo da nova interface foi apresentado, mostrando as principais mudanças em relação a situação original.

Foram realizadas 7 entrevistas, em todas elas os professores concordaram que a maioria dos alunos têm dificuldades em relacionar os desenhos feitos por eles com os objetos e processos que eles representam em 3 dimensões e que a relação visual simultânea entre os ambientes 3D e Épura é importante para a compreensão espacial. Os professores entrevistados tem uma experiência didática em GD que varia entre 2 anos e 19 anos (2, 2, 3, 6, 15, 15 e 19 anos).

A partir das entrevistas também surgiram sugestões para o programa como:

- ícones (cursos) indicando a situação de paralelismo e perpendicularismo do novo plano de projeção;
- Ajuste da espessura das linhas de chamada coloridas para melhor visualização na tela;
- Seta indicativa da direção de observação apontando para a linha de terra (sentido de projeção);
- Inserção de texto na épura para preparar um exercício.

Algumas destas sugestões já foram implementadas na versão final como os diferentes cursores e ajuste da espessura de linha, outras sugestões foram colocadas em espera e serão implementadas após a defesa deste trabalho. Ao final da entrevista uma *pendrive* foi fornecida aos professores contendo a nova versão do programa e um questionário para ser respondido depois que eles tivessem usado a nova interface entre outros arquivos.

Dos 7 professores que se dispuseram a participar apenas 6 retornaram com o questionário respondido em tempo hábil (Apêndice 5 – Questionário com Especialista). O questionário era composto por 15 perguntas. Na maioria delas, o professor escolhia uma opção entre cinco opções em uma escala entre “Discordo Totalmente (1)” e “Concordo Totalmente (5)”. Todas as perguntas tinham um campo opcional para comentários, nos quais foram feitas diversas sugestões. As respostas dos professores foram transformadas em percentagens e foi utilizada uma escala de cor (do Branco ao Verde) para melhor visualizar as escolhas do grupo. A Figura 101 a Figura 103 Ilustram o posicionamento geral dos professores, com os respectivos comentários abaixo de cada questão.

Figura 101: Respostas dos professores para o questionário.

Professores					
6 Respostas	1	2	3	4	5
1. A Épura Interativa contribui para o entendimento de Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	0%	100%
↪ A possibilidade de realizar operações descritivas diretamente na épura, e não no ambiente 3D como na versão anterior, aproxima muito o aluno com o que é resolvido no quadro durante as aulas.					
2. A utilização da Épura Interativa contribui para o entendimento dos processos gráficos descritivos.	0%	0%	0%	0%	100%
3. A Épura Interativa promove o desenvolvimento da habilidade de compreensão espacial.	0%	0%	0%	17%	83%
4. É fácil e intuitivo utilizar a Épura Interativa.	0%	0%	0%	50%	50%
↪ Não tenho mais como opinar na condição de "novo usuário", mas me parece fácil e intuitivo. ↪ Acredito que seja fácil utilizar mas não intuitivo.					
5. Gostaria de utilizar a Épura Interativa desde o início da disciplina.	0%	0%	0%	17%	83%
6. Gostaria de utilizar a Épura Interativa durante o período de aula.	0%	0%	0%	33%	67%
↪ Com certeza, inclusive a aula se torna mais dinâmica, motivadora tanto para o professor como para o aluno. E o professor utilizando o software em sala de aula estimula o aluno a utilizar em casa para estudar.					

Fonte: O Autor.

Figura 102: Continuação Questionários dos Professores.

Professores					
6 Respostas	1	2	3	4	5
7. Gostaria de utilizar a Épura interativa fora do período de aula.	0%	0%	0%	17%	83%
~ Ferramenta altamente eficiente para o planejamento de aulas, elaboração de exercícios e provas. Além destes usos, para correção de trabalhos propostos elaborados pelos alunos que enviam o arquivo no formato hypercal. ~ Com certeza! Para elaborar provas, trabalhos e aulas.					
8. Gostaria de utilizar outros recursos tecnológicos para auxílio no aprendizado em Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	17%	83%
~ Os alunos tem muito interesse e facilidade para aprender e a utilizar os recursos tecnológicos. ~ Certamente e será mais motivador quando os alunos puderem acessá-lo diretamente de seu smartphone. ~ Acredito que sim, mas tenho dúvida se isso não aumentaria a impressão que os alunos tem de que a aula com instrumentos é inútil e uma perda de tempo já que eles utilizarão CAD no futuro.					
9. Gostaria de utilizar a Épura interativa para a resolução de exercícios.	0%	0%	0%	17%	83%
~ Com certeza. Facilita muito. ~ Eventualmente já utilizo na versão atual do hypercal.					
10. Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático no processo de ensino/aprendizagem da GD?	0%	0%	0%	50%	50%
~ Acredito que é uma excelente ferramenta para temas como: tipos de arestas e faces; MSR e Perspectiva Cônica. Para posição relativa, distância e interseção entre retas e planos, tem menos aplicabilidade, na versão atual.					
11. A utilização da Épura interativa pode melhorar o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	50%	50%
~ É uma suposição. Como o Prof. Sérgio é docente desta disciplina, poderá fazer uma análise estatística das notas dos alunos durante alguns semestres, usando ou não a Épura interativa, e verificar se isto realmente ocorre. ~ Estou de acordo mas também tenho convicção de que existem outros fatores externos que influenciam neste "resultado final".					

Fonte: O Autor.

As questões 1, 2, 3, 10 e 11 estão relacionadas diretamente com o problema de pesquisa perguntando sobre alguma forma de contribuição ao estudo da GD, seja na habilidade de compreensão espacial, no entendimento dos processos gráficos ou mesmo na aplicabilidade

do recurso no processo de ensino/aprendizagem. Todas elas receberam uma avaliação muito positiva (4 ou 5 na escala, próximo ao “Concordo Totalmente”).

Figura 103: Continuação das Respostas dos professores para o questionário.

Professores					
6 Respostas	1	2	3	4	5
12. Em sua opinião, a Épura interativa é eficaz no auxílio da redução da carga de trabalho (estudante e/ou professor)?	0%	0%	33%	50%	17%
<p>→ Para o professor, auxilia na criação de avaliações e exercícios de aula, e também na explanação dos conteúdos. Para o aluno, é uma forma de conferir se o trabalho feito no papel está correto.</p> <p>→ A redução da carga de trabalho do estudante não é um fator positivo, ou um fator a ser buscado. Acredito que a afirmação mais correta seria que a Épura interativa ajuda o aluno a complementar a sua carga de trabalho e não a reduzir ela.</p> <p>→ Acho que pode auxiliar reduzir o trabalho do professor, especialmente em relação a elaboração de exemplos, exercícios e provas – bem como poupar tempo em sala de aula que seria usado para desenhar no quadro ou resolver exercícios.</p> <p>→ Acho que não seria eficaz para reduzir a carga de trabalho do aluno, uma vez que ele precisa treinar o desenho com instrumentos, mas poderia ser usado para ampliar o estudo sem aumentar demais o tempo dispendido com a disciplina.</p>					

Fonte: O Autor.

As questões 4 e 12 estão relacionadas as metas de usabilidade (ser fácil de usar e ser eficaz no uso), na questão 4 as respostas se dividiram entre os indicadores 4 e 5 (próximo ao “Concordo totalmente”), já na questão 12 (Figura 103) a pergunta foi direcionada à redução da carga de trabalho, tanto do professor quanto dos alunos, uma vez que o programa permite explorar os resultados das M.S.R. sem a necessidade de passar por todo o processo de desenho toda a vez. Nesta as respostas foram mais divididas, mas ainda na parte positiva da escala. Atribui-se a isto as diferentes visões didáticas dos professores com relação ao método de ensino/aprendizagem, alguns defendem a aprendizagem por repetição e reforço, enquanto outros preferem uma abordagem construtivista.

A Figura 104 Ilustra a parte final do questionário com as perguntas de 13 a 16.

Figura 104: Continuação do Questionário.

	Relação com o desenho	Resposta em tempo real	Interatividade	Relação das cores nas linhas de chamada	Feedback de texto próximo ao cursor	Outro:	
13. Quais aspectos contribuem para a eficácia do recurso didático?	67%	83%	83%	83%	33%	0%	
	Windows	Android	MacOS	iOS	Linux	Web Browser	Outro:
14. Em quais plataformas você gostaria de utilizar o recurso? Marque todas as possibilidades que você utilizaria.	100%	50%	33%	0%	0%	33%	0%
Marquei a opção MacOS na condição de feedback de alunos. Não sou usuário desta plataforma mas já recebi muitos pedidos de alunos sobre versão que rode no Mac.							
15. Qual plataforma seria sua preferência de uso?	67%	17%	17%	0%	0%	0%	0%
Em telas de toque não sei se seria fácil de inserir coordenadas, conectividades e as direções das MSR. Teria que testar. Por outro lado, traria mobilidade e os alunos e professores teriam acesso a qualquer momento no smartphone.							
16. Sugestões:	~ Colocar subscrito no nome dos vértices $A_2$ em vez de $A2$						
	~ Colocar seta para o vetor direção da perspectiva cônica						
	~ Colocar sinal de "equivalente" em vez de $A2=B2$						
	~ Adicionar sinalização visual de posição perpendicular e paralela na tela.						
	~ Quando colocamos valores de coordenadas para a interseção de um plano com o sólido (nos campos P1 P2 P3), o programa não salva, quando abrimos novamente o arquivo, ele vem o plano original do programa... sugiro que salve, assim facilitaria o trabalho do professor ao planejar exercícios.						
	~ Excelente trabalho! Parabéns!						
	~ Colocar um comando para desfazer, seta para voltar ou tecla de atalho (ctrl + z). É muito fácil errar ao fazer uma operação e poder desfazê-la rapidamente seria ótimo.						

Fonte: O Autor.

A questão 13 relaciona os aspectos considerados pelos professores como mais influentes na eficácia da ferramenta: Relação das cores na linha de chamada (83%), Interatividade (83%), Resposta em tempo real (83%), e relação com o Desenho (67%).

As questões 14 e 15 tratam das preferências dos professores quanto às possíveis versões do programa para diferentes sistemas operacionais, o ambiente Windows foi o preferido, mas também existe demanda para Android e MacOS.

Por fim a questão 16 oferecia novamente espaço para sugestões, além dos comentários já feitos nas perguntas. Muitas das sugestões foram repetidas em relação às sugestões que surgiram durante a entrevista com os professores.

### 4.5.3 AVALIAÇÃO COM USUÁRIOS NOVATOS: ALUNOS

A Avaliação com os alunos (usuários novatos) foi realizada no laboratório de Informática da Faculdade de Arquitetura da UFRGS e foi dividida em 3 momentos distintos: 1) Apresentação e avaliação da Interface Original usando a Escala de Usabilidade S.U.S., 2) Apresentação e avaliação da Nova Interface usando a Escala de Usabilidade S.U.S. e 3) Aplicação do mesmo questionário respondido pelos professores.

Estes testes foram realizados logo antes da primeira prova da disciplina, momento em que os alunos já sabem fazer uma Mudança do Sistema de referência (M.S.R.) e entendem os conceitos de projeção em Verdadeira Grandeza e projeção acumulada.

#### 4.5.3.1 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INTERFACE ORIGINAL USANDO A ESCALA DE USABILIDADE S.U.S.

Os alunos já tinham visto o programa sendo usado em sala de aula, mas muitos deles nunca tinham tentado usar o programa, por isto se escolheu apresentar rapidamente a interface do programa, mais especificamente a área de trabalho em 3D, onde ocorria a interação.

Logo após a apresentação da interface original foi solicitado aos alunos que abrissem o arquivo de um sólido e que realizassem duas mudanças consecutivas, uma para acumular uma determinada face e a mudança seguinte para encontrar a VG desta Face. Depois disto eles tinham que selecionar esta face para deixa-la isolada. Estas tarefas foram realizadas na interface 3D. Uma vez realizadas estas 3 tarefas os alunos preencheram o primeiro formulário com a escala de usabilidade para a interface original (S.U.S.).

#### 4.5.3.2 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA NOVA INTERFACE USANDO A ESCALA DE USABILIDADE S.U.S.

Da mesma forma, a nova interface foi apresentada aos alunos, mostrando que além da interatividade no ambiente 3D a épura também era interativa. Foi solicitado aos alunos que abrissem o mesmo arquivo de antes e realizassem as mesmas 3 tarefas, desta vez utilizando ambiente de épura. Uma vez realizadas estas 3 tarefas os alunos preencheram o segundo formulário com a escala de usabilidade para a nova interface (S.U.S.).

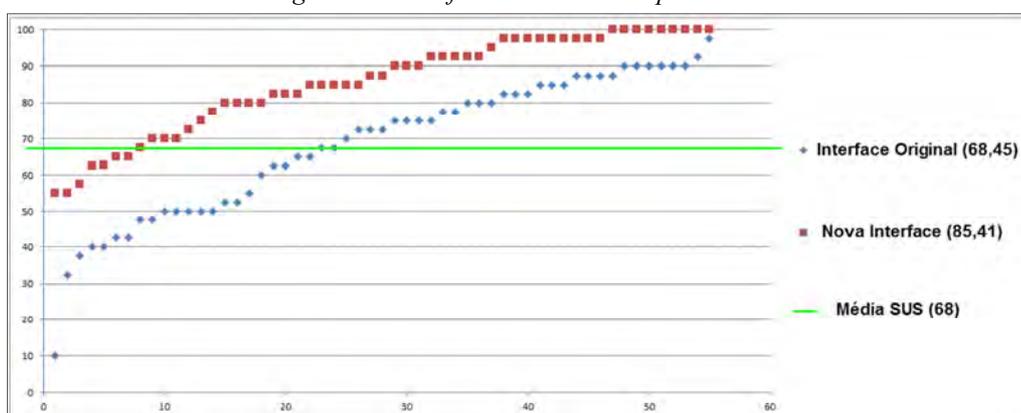
#### 4.5.3.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO COM S.U.S.

A avaliação foi realizada por 56 alunos, no entanto um aluno enviou os dados sem preenchimento, assim apenas 55 resultados foram considerados. Segundo Tullis e Stetson (2004), a amostra mínima confiável é de um grupo de 12 a 14 respondentes, portanto a

amostra utilizada nesta avaliação (55 respondentes) atende amplamente aos parâmetros de confiabilidade.

A Figura 105 mostra o gráfico do desempenho segundo a escala S.U.S. de ambas as interfaces, no eixo vertical a pontuação calculada de 0 a 100 e no eixo horizontal a quantidade de respostas (55). Nesta figura as respostas foram reordenadas em ordem crescente, e a **ordem é independente** para cada grupo. A interface original obteve a pontuação de 68,45, acima da média S.U.S. de 68 pontos de acordo com Sauro (2011). A Nova interface obteve a pontuação de 85,41.

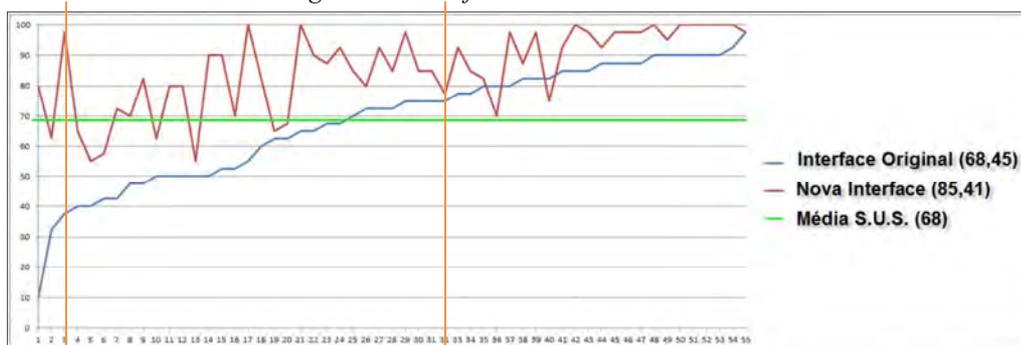
Figura 105: Gráfico de médias independentes.



Fonte: O Autor.

Na Figura 106 mostra outro gráfico com as mesmas pontuações, desta vez apenas os valores da Interface original foram reordenados em escala crescente, e os valores da Nova interface estão **vinculados a eles**, ou seja, este gráfico mostra a resposta de cada aluno para as duas interfaces, por exemplo, o aluno nº 3 deu a nota 38 para interface original e a nota 98 para a nova interface, já o aluno nº 32 deu uma nota 75 para a interface original e a nota 78 para a nova interface. Apesar da aprovação geral, 2 alunos (36 e 40) preferiram a interface original à Nova Interface.

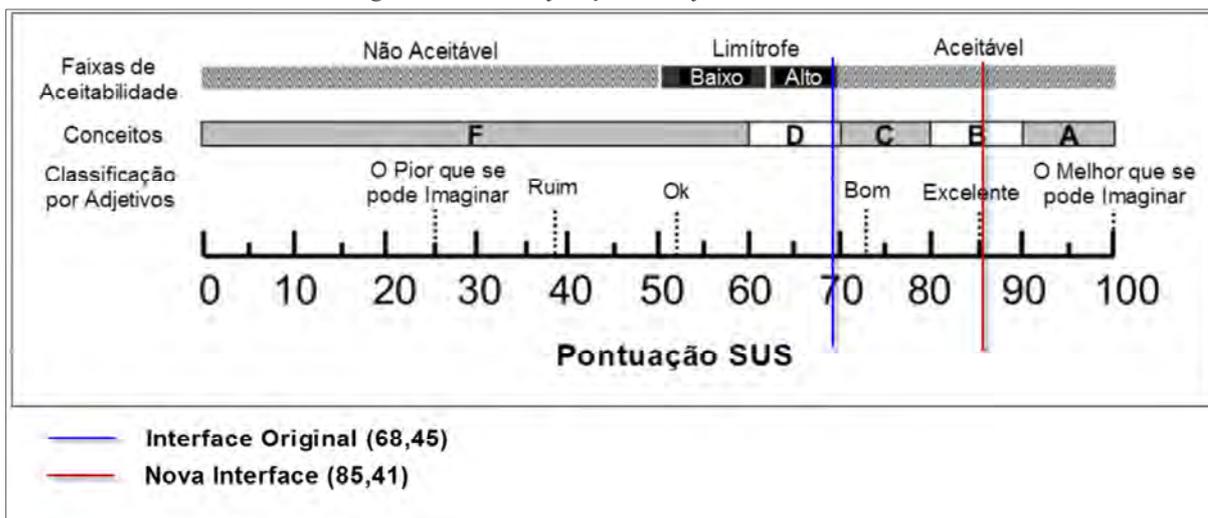
Figura 106: Gráfico de médias Vinculadas.



Fonte: O Autor.

Para melhor interpretar os resultados de escala S.U.S. foi utilizada também a relação proposta por Bangor, Kortum e Miller (2009), conforme indicado na Figura 107. Nesta escala a Nova Interface foi classificada com um conceito “B”, considerada “Excelente” e na parte superior da escala de aceitação, mostrando uma melhora considerável em relação à Interface Original.

Figura 107: Classificação em diferentes escalas.



Fonte: O Autor, adaptado de (BANGOR, KORTUM e MILLER, 2009).

Considerando a classificação apresentada por Tenório *et al.* (2010), onde é possível reconhecer os componentes de qualidade indicados por Nielsen (2012) nas afirmações do S.U.S., a nova interface foi avaliada pelos alunos com excelentes Resultados. Os componentes de qualidade listados a seguir exibem uma porcentagem que se refere às pontuações 4 e 5 para as afirmações positivas, e às respostas 1 e 2 para as afirmações negativas;:

- A **Facilidade de Uso** pode ser reconhecida nas afirmações 3, 4, 7 e 10, respectivamente com 85%, 85%, 78% e 69% de aprovação pelos usuários;
- A **Eficiência** pode ser reconhecida nas afirmações 5, 6 e 8, respectivamente com 93%, 96% e 93% de aprovação pelos usuários;
- A **Facilidade de Memorização** pode ser reconhecida na afirmação 2 com 93% de aprovação pelos usuários;
- A **Minimização de Erros** pode ser reconhecida na afirmação 6 com 96% de aprovação pelos usuários;

- A **Satisfação** pode ser reconhecida nas afirmações 1, 4 e 9, respectivamente com 91%, 85% e 85% de aprovação pelos usuários.

A Figura 108 apresenta os resultados de todas as 55 respostas dos alunos referentes à nova interface.

Figura 108: Escala de usabilidade do Sistema (S.U.S.) da Nova Interface.

Nova Interface		 						
		1	2	3	4	5		
1	Eu acho que gostaria de utilizar este sistema frequentemente.		2	3	13	37	55	91%
2	Eu achei o sistema desnecessariamente complexo.	38	13	2	2		55	93%
3	Eu achei o sistema fácil para usar.		2	6	12	35	55	85%
4	Eu acho que precisaria do apoio de um suporte técnico para ser	24	23	3	4	1	55	85%
5	Eu achei que as diversas funções neste sistema foram bem	1		3	7	44	55	93%
6	Eu achei que houve muita inconsistência neste sistema.	44	9	1		1	55	96%
7	Eu imaginaria que a maioria das pessoas aprenderia a usar este		4	8	17	26	55	78%
8	Eu achei o sistema muito pesado para uso.	42	9	3	1		55	93%
9	Eu me senti muito confiante usando esse sistema.		3	5	16	31	55	85%
10	Eu precisei aprender uma série de coisas antes que eu pudesse continuar a utilizar esse sistema.	19	19	11	3	3	55	69%

Fonte: O Autor.

Em um terceiro momento os alunos responderam ainda, além das escalas S.U.S., o mesmo Questionário aplicado aos professores referente à Nova Interface (Apêndice 5 – Questionário com Especialista).

Na Figura 109 e a Figura 110 ilustram o posicionamento geral dos alunos, com os respectivos comentários abaixo de cada questão.

Figura 109: Questionário com as respostas dos alunos.

Alunos					
55 Respostas	1	2	3	4	5
1. A Épura Interativa contribui para o entendimento de Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	5%	95%
~ Torna mais fácil, mais didático. Contribui para outras cadeiras.					
2. A utilização da Épura Interativa contribui para o entendimento dos processos gráficos descritivos.	0%	0%	0%	4%	96%
~ Torna mais visível, mais compreensível.					
3. A Épura Interativa promove o desenvolvimento da habilidade de compreensão espacial.	0%	2%	4%	16%	78%
~ Inclusive para as demais cadeiras do curso.					
4. É fácil e intuitivo utilizar a Épura Interativa.	0%	2%	15%	33%	51%
~ Os ícones utilizados pra descrever opções nem sempre são intuitivos. ~ Pode ser difícil para alguém que tenha pouco contato com informática.					
5. Gostaria de utilizar a Épura interativa desde o início da disciplina.	0%	0%	4%	9%	87%
~ Sim, pois é muito didático.					
6. Gostaria de utilizar a Épura interativa durante o período de aula.	0%	0%	11%	16%	73%
7. Gostaria de utilizar a Épura interativa fora do período de aula.	0%	4%	13%	31%	53%
8. Gostaria de utilizar outros recursos tecnológicos para auxílio no aprendizado em Geometria Descritiva.	4%	9%	20%	33%	35%
~ Durante a aula, os professores já utilizaram modelos em 3d reais de algumas peças, o que auxiliou muito o entendimento. Acho que essa medida podia ser continuada e estimulada.					
9. Gostaria de utilizar a Épura interativa para a resolução de exercícios.	0%	0%	5%	13%	82%
10. Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático no processo de ensino/aprendizagem da GD?	0%	0%	4%	20%	76%
~ O uso deste recurso influi positivamente de forma direta no ensino de GD.					
11. A utilização da Épura interativa pode melhorar o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva.	0%	0%	4%	15%	82%
~ Sim, mas para usuários que gostem ou utilizem bem recursos da informática. ~ Principalmente nos trabalhos.					

Fonte: O Autor.

Figura 110: Continuação das respostas dos alunos.

Alunos					
55 Respostas	1	2	3	4	5
12. Em sua opinião, a Épura interativa é eficaz no auxílio da redução da carga de trabalho (estudante e/ou professor)?	0%	0%	18%	31%	51%
<p>~ Sim, pois faz com que eu entenda melhor a matéria, gastando menos tempo pra tentar entender.</p> <p>~ Ela pode aumentar a carga, por ser mais uma ação a ser realizada, tanto pelo aluno quanto pelo professor, mas a didática e visualização dos sólidos compensa muito, contribuindo para o aprendizado e compreensão de toda a questão visual, básica no início do curso de Arquitetura. Torna o aprendizado mais interativo e divertido.</p>					

Fonte: O Autor.

As questões 1, 2, 3, 10 e 11 ( que estão relacionadas diretamente à contribuição ao estudo da GD), também receberam uma avaliação muito positiva (4 ou 5 na escala, próximo ao “Concordo Totalmente”), assim como aconteceu na avaliação dos professores.

Conforme salientado anteriormente, as questões 4 e 12 estão relacionadas as metas de usabilidade (ser fácil de usar e ser eficaz no uso), na questão 4 as respostas foram mais distribuídas, principalmente entre os indicadores 3, 4 e 5 (parte positiva da escala), já na questão 12 a pergunta foi direcionada à redução da carga de trabalho. Nesta as respostas também foram distribuídas entre os indicadores 3, 4 e 5, mas no caso dos alunos, pairava a preocupação de que o uso do software poderia vir a ser mais uma tarefa a ser desenvolvida por eles em uma disciplina que já demanda dedicação extra classe.

Na Figura 111, são mostradas as respostas das questões de 13 a 16. A questão 13 relaciona os aspectos mais influentes na eficácia da ferramenta na visão dos alunos: Resposta em tempo real (84%), Relação com o Desenho (82%), Relação das cores na linha de chamada (67%), Interatividade (65%), e Feedback de Texto próximo ao cursor (44%). Alguns alunos sugeriram Outros fatores (11%) como sendo importante, mas alguns deles são variações dos aspectos já citados:

- Poder mexer (*zoom, pan, girar*) na épura para visualizar cada ponto;
- Movimento simultâneo da épura;

- Facilidade de giro tanto do 3D quanto em *épura*;
- Avisos de perpendicularidade e paralelismo;
- Possibilidade de fazer mudanças tanto direto na *épura* como no sólido;
- Trabalhar direto com a *épura* como faríamos desenhando.

As questões 14 e 15 tratam das preferências dos alunos quanto às possíveis versões do programa para diferentes sistemas operacionais, o ambiente Windows também foi o preferido, mas para os alunos a demanda para Android é mais acentuada do que para os professores.

Por fim a questão 16 oferecia novamente espaço para sugestões, além dos comentários já feitos nas perguntas. No Caso dos alunos, considerados usuários novatos, a solicitação do comando “Desfazer” foi mais incisiva.

Figura 111: Continuação Questionário.

	Relação com o desenho	Resposta em tempo real	Interatividade	Relação das cores nas linhas de chamada	Feedback de texto próximo ao cursor	Outro:	
13. Quais aspectos contribuem para a eficácia do recurso didático?	82%	84%	65%	67%	44%	11%	
	Windows	Android	MacOS	iOS	Linux	Web Browser	Outro:
14. Em quais plataformas você gostaria de utilizar o recurso? Marque todas as possibilidades que você utilizaria.	91%	71%	24%	24%	11%	24%	0%
15. Qual plataforma seria sua preferência de uso?	84%	25%	4%	9%	5%	5%	0%
16. Sugestões:	<p>~ Quanto ao feedback de texto achei ele rápido de mais quando apareceu. Não verifiquei se eu passar o mouse em cima aparece de novo</p> <p>~ Utilizei esta experiência para aprender mais sobre o programa e os resultados foram muito positivos. Concordo que a utilização deste recurso no aprendizado de GD possibilitará melhores resultados de aprendizado, mas acredito que a utilização do papel e instrumentos também é necessária para não ficar dependente da utilização do software, ou seja, o software</p> <p>~ Muito show!!!! Amei usar o sistema, mais fácil, mais pratico e muito mais compreensível!!!!</p> <p>~ Incluir mais ferramentas.</p> <p>~ Possibilitar exportar para outros softwares, como AutoCAD e Sketchup.</p> <p>~ Possibilitar gravar vídeo do sólido, com giros e câmeras diferentes.</p> <p>~ Possibilitar criar animações e gifs.</p> <p>~ A opção de desfazer o que errei</p> <p>~ Adicionar o atalho Ctrl + Z para desfazer.</p> <p>~ Adicionar a opção de retorno pelas teclas “CTRL Z”</p>						

Fonte: O Autor.

A intenção da aplicação deste questionário também para os alunos foi comparar as diferenças de percepção entre usuários Experientes e usuários Novatos, ou ainda, entre Alunos e Professores de Geometria Descritiva.

#### 4.5.4 COMPARAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS ENTRE AS AVALIAÇÕES DOS PROFESSORES E DOS ALUNOS.

A Figura 112 mostra os questionários dos Professores e dos Alunos colocados lado-a-lado de forma espelhada, para evidenciar a comparação entre as respostas de cada questão. De forma geral, as respostas de ambos os tipos de usuários foram bem semelhantes. As principais diferenças se concentram nas questões 7, 8 e 12: sobre usar o software fora do ambiente acadêmico, sobre utilizar outros recursos e sobre a eficácia da ferramenta. Na questão 12, os alunos acharam a ferramenta mais eficaz.

Figura 112: Relação entre questionários.

Professores						Alunos					
6 Respostas	 					 					55 Respostas
	1	2	3	4	5	5	4	3	2	1	
1. A Épura Interativa contribui para o entendimento da Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	0%	100%	95%	5%	0%	0%	0%	1. A Épura Interativa contribui para o entendimento da Geometria Descritiva.
2. A utilização da Épura Interativa contribui para o entendimento dos processos gráficos descritivos.	0%	0%	0%	0%	100%	96%	4%	0%	0%	0%	2. A utilização da Épura Interativa contribui para o entendimento dos processos gráficos descritivos.
3. A Épura Interativa promove o desenvolvimento da habilidade de compreensão espacial.	0%	0%	0%	17%	83%	78%	16%	4%	2%	0%	3. A Épura Interativa promove o desenvolvimento da habilidade de compreensão espacial.
4. É fácil e intuitivo utilizar a Épura Interativa.	0%	0%	0%	50%	50%	51%	33%	15%	2%	0%	4. É fácil e intuitivo utilizar a Épura Interativa.
5. Gostaria de utilizar a Épura Interativa desde o início da disciplina.	0%	0%	0%	17%	83%	87%	9%	4%	0%	0%	5. Gostaria de utilizar a Épura Interativa desde o início da disciplina.
6. Gostaria de utilizar a Épura Interativa durante o período de aula.	0%	0%	0%	33%	67%	73%	16%	11%	0%	0%	6. Gostaria de utilizar a Épura Interativa durante o período de aula.
7. Gostaria de utilizar a Épura Interativa fora do período de aula.	0%	0%	0%	17%	83%	53%	31%	13%	4%	0%	7. Gostaria de utilizar a Épura Interativa fora do período de aula.
8. Gostaria de utilizar outros recursos tecnológicos para auxílio no aprendizado em Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	17%	83%	35%	33%	20%	9%	4%	8. Gostaria de utilizar outros recursos tecnológicos para auxílio no aprendizado em Geometria Descritiva.
9. Gostaria de utilizar a Épura Interativa para a resolução de exercícios.	0%	0%	0%	17%	83%	82%	13%	5%	0%	0%	9. Gostaria de utilizar a Épura Interativa para a resolução de exercícios.
10. Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático no processo de ensino/aprendizagem da GD?	0%	0%	0%	50%	50%	76%	20%	4%	0%	0%	10. Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático no processo de ensino/aprendizagem da GD?
11. A utilização da Épura Interativa pode melhorar o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva.	0%	0%	0%	50%	50%	82%	15%	4%	0%	0%	11. A utilização da Épura Interativa pode melhorar o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva.
12. Em sua opinião, a Épura Interativa é eficaz no auxílio da redução da carga de trabalho (estudante e/ou professor)?	0%	0%	33%	50%	17%	51%	31%	18%	0%	0%	12. Em sua opinião, a Épura Interativa é eficaz no auxílio da redução da carga de trabalho (estudante e/ou professor)?

Fonte: O Autor.

A partir das avaliações e sugestões feitas, novas funcionalidades e correções foram feitas no programa.

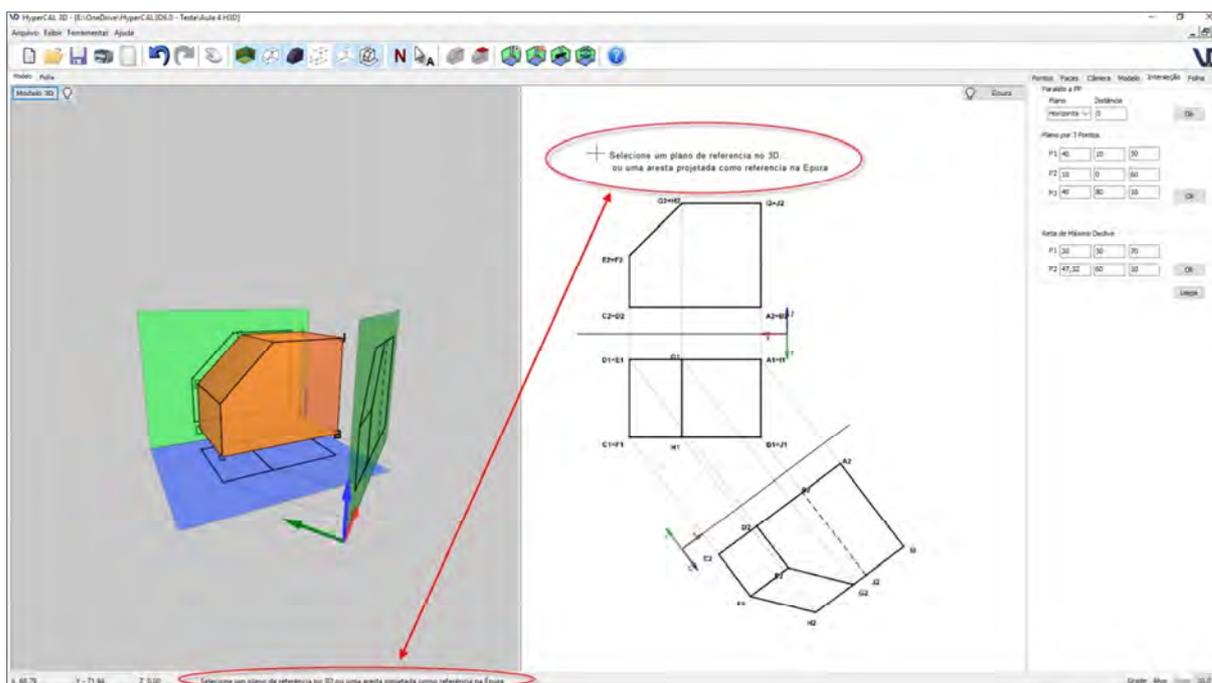
#### 4.6 NOVAS INTERVENÇÕES

As sugestões feitas pelos Especialistas, Professores e Alunos foram sendo implementadas na medida do possível, conforme a viabilidade técnica e/ou disposição de tempo. Ao longo do período de avaliação (em torno de dois meses) foram testados 3 protótipos diferentes (versões incrementais do programa). Um primeiro protótipo foi testado pelos especialistas, a partir desta avaliação foi acrescentado o Texto no cursor e foram corrigidos erros que aconteciam em situações especiais. Dois dos 3 especialistas comentaram sobre a pouca visibilidade do

status do comando, até então acontecia apenas na barra de status. A barra de status é onde normalmente ocorre a comunicação do programa com o usuário, fica na parte inferior da tela. O principal problema é que a barra de status fica na visão periférica do usuário, enquanto seu foco de atenção se concentra no cursor.

A Figura 113 Mostra o Texto de *Feedback* da ferramenta M.S.R. sendo mostrado junto ao cursor e também na Barra de status, após 5 segundos o texto do cursor desaparece e se mantém somente na barra de status. Este texto é mostrado tanto na janela da Épura quanto na janela do Modelo 3D.

Figura 113: Texto Próximo ao Cursor.

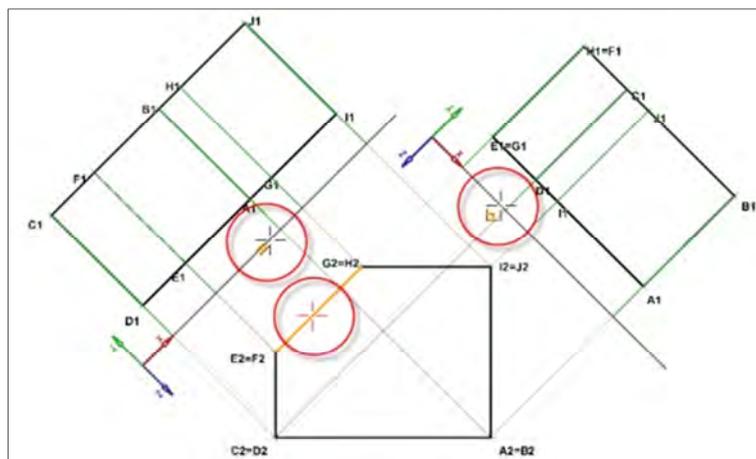


Fonte: O Autor.

O segundo protótipo foi apresentado aos professores para as entrevistas e questionários. A partir das respostas deste foram ajustadas algumas variáveis de espessura de linha e acrescentados novos cursores que salientassem as posições dos novos planos de projeção quando eram colocados paralelos ou perpendicular a aresta de referência. Também foi acrescentado um cursor vermelho, indicando quando o mouse está sobre uma aresta no desenho. A Figura 114 destaca os novos cursores.

Depois destas melhorias, o terceiro protótipo foi testado com os alunos. Na avaliação dos alunos a criação da opção para “Desfazer” foi enfatizada, esta opção já tinha sido sugerida pelos Especialistas, mas a solução técnica para o problema não era de fácil implementação.

Figura 114: Diferentes Cursores.



Fonte: O Autor.

Existem duas abordagens para o problema “Desfazer/Refazer” (Undo/Redo). A primeira requer que a estrutura de dados seja criada de tal forma que cada ação tenha uma ação reversa (criar/deletar, adicionar/subtrair, etc.). Assim, um registro da sequência das ações executadas pode ser guardado e executado na ordem inversa utilizando as ações reversas para desfazer o que foi feito. Esta seria a solução ideal. No entanto, atualmente, a estrutura de dados do HyperCAL<sup>3D</sup> não é compatível com esta abordagem. A segunda abordagem seria salvar um estado do programa antes da modificação e retornar a este estado quando necessário. Esta abordagem demanda mais memória do computador. No entanto, como o programa utiliza relativamente poucos recursos computacionais esta característica não chega a ser uma limitação. Desta forma, no caso da estrutura de dados do HyperCAL<sup>3D</sup>, é possível ter, pelo menos, um nível de Desfazer/Refazer salvo, permitindo que o usuário recupere uma ação equivocada ou que não surtiu os efeitos desejados inicialmente. Seguindo esta abordagem (de salvar o estado do programa), foi implementada a possibilidade de “Desfazer” e “Refazer” no HyperCAL<sup>3D</sup>, tomando o cuidado para que os comandos de visualização e seleção de objetos fossem ignorados, pois não causam nenhuma modificação no estado do modelo ou na árvore dos planos de projeção. A Figura 115 destaca as novas opções de “Desfazer” e “Refazer”.

Figura 115: A opção de “Desfazer” aparece assim que se inicia um comando.



Fonte: O Autor.

O Programa salva dois arquivos temporários, um arquivo chamado “*UndoTemp*” (Desfazer) é salvo imediatamente antes a qualquer ação que modifique o estado, e o outro arquivo chamado “*RedoTemp*” (Refazer) é salvo assim que o comando “Desfazer” é acionado. Ambos os arquivos são salvos na pasta de trabalho do programa e são deletados ao fechar a janela do programa. Desta forma, o quarto (e último) protótipo de interface foi gerado para a fase de Entrega.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese apresentou inicialmente algumas ocorrências objetivas que motivaram o desenvolvimento deste trabalho, tais como: a diminuição da carga horária da disciplina de GD, as mudanças recentes na sociedade em função da inserção da tecnologia nas atividades do cotidiano, o desinteresse dos alunos pelo estilo tradicional de ensino, a barreira de abstração inerente à relação entre as representações 2D e 3D de um objeto, o potencial de representação e interação da Computação Gráfica, as tentativas de inserção de sistemas CAD no ensino da GD e as consequências disto, o longo tempo necessário à construção de um desenho no quadro o que limita o número de exercícios possíveis no período de aula, entre outros.

Frente a estes problemas, o grupo de pesquisa VID, da UFRGS, vem desde a década de 1990 desenvolvendo diversos trabalhos no sentido de melhorar o processo de ensino/aprendizagem da GD. No entanto, novos desafios ainda demandavam uma ação, como a necessidade de um programa que permitisse a relação biunívoca entre as diversas representações Bidimensionais do Objeto e sua representação Tridimensional, permitindo que qualquer interação pudesse ser realizada tanto no ambiente 2D quanto no ambiente 3D, com uma resposta imediata em ambos ambientes, de modo a explicitar suas operações gráficas em tempo Real e, assim, contribuir para o estudo da Geometria Descritiva.

Assim, o objetivo desta tese foi “Desenvolver a interface bidimensional do *software* para o ensino da Geometria Descritiva HyperCAL<sup>3D</sup> fazendo com que os ambientes (2D e 3D) estejam relacionados de maneira biunívoca permitindo a interatividade e exibindo em tempo real as operações gráficas feitas tanto no modelo 3D como nas suas representações 2D para contribuir para o estudo da Geometria Descritiva”. Esta busca por Interatividade e compatibilidade entre os modos de trabalho distintos da GD (no ambiente 3D existente e o trabalho 2D realizado no papel) suscitou a seguinte hipótese: “Através do Design de Interação com foco na usabilidade, é possível projetar uma interface para um *software* de ensino de Geometria Descritiva que relacione as operações gráficas nos ambientes 2D e 3D de maneira biunívoca e interativa (em tempo real), compatível com o modo de trabalho gráfico da Geometria Descritiva e seus métodos descritivos realizados pelos alunos utilizando instrumentos convencionais de desenho”.

A nova Interface Gráfica desenvolvida nesta tese auxilia o usuário do software (aluno e professor) a estabelecer a relação entre as projeções bidimensionais desenhadas em épura e os

planos de projeção tridimensionais posicionados ao redor do objeto em estudo (sólido). Ao simular interativamente e atualizar em tempo real os resultados dos processos gráficos bidimensionais, a nova interface deixa explícito o resultado da ação de posicionamento da nova linha de terra, durante o processo de tomada de decisão sobre o seu correto (ou mais adequado) posicionamento, permitindo assim que usuário reflita sobre suas ações enquanto as executa, antes mesmo de completá-las. Esta interatividade estimula a reflexão e em conjunto com a interface do modelo (3D) torna mais fácil a relação entre as projeções 2D e os objetos 3D, contribuindo assim para a diminuição/eliminação da barreira de abstração existente no processo de ensino/aprendizagem da disciplina de Geometria Descritiva.

Além disto, outras características como o uso de cores nas linhas de chamada, menu de seleção de objetos, nomes dos eixos, entre outros, não apenas melhora a usabilidade do software como auxilia no estudo dos processos gráficos utilizados na disciplina.

As dificuldades encontradas pelos alunos de Geometria Descritiva, inclusive o problema da barreira de abstração, e que foram resolvidos (ou minimizados) pela implementação da nova interface bidimensional foram discutidos na Introdução desta tese (item 1) e reforçados na Descrição das Ocorrências Objetivas (item 1.1).

A apresentação sobre a disciplina de Geometria Descritiva (item 2.1) buscou um aprofundamento histórico para entender sua importância e sua relação com a prática de projeto, seus princípios básicos e os principais conceitos abordados nos currículos. Este estudo permitiu compreender as possíveis dificuldades de representação enfrentadas pelos alunos e os principais usos (ou ferramentas) que o programa poderia ter para auxiliar no processo de ensino/aprendizagem da GD.

O Estudo do Design de Interação permitiu compreender seu Processo, suas principais metas e como podem ser verificadas pelos diferentes tipos de avaliações. O processo de Design de Interação apresentado por Kolko (2007) com suas 4 fases: 1) Entender /*Understand*, 2)Projetar /*Design*, 3)Testar /*Validate* e 4) Entregar /*Deliver*, é muito semelhante ao processo apresentado por Preece, Rogers e Sharp (2005): Identificar necessidades e estabelecer requisitos (*Understand*), Desenvolver Designs que preencham esses requisitos (*Design*), Construir versões interativas que possam ser comunicadas e analisadas (*Deliver*), Avaliar o que está sendo construído durante o processo (*Validate*). Este processo ainda é permeado em todas as atividades por três características: **Os usuários devem estar envolvidos** no processo (centrado no usuário); **A usabilidade** específica e as metas

decorrentes da experiência do usuário devem ser identificadas e acordadas no projeto; **A iteração** em todas as quatro atividades é inevitável.

A partir desta compreensão foi possível reestabelecer os objetivos específicos deste trabalho, para que se relacionassem diretamente com o processo de Design de Interação: Compreender a Estrutura de classes já implementada no programa, planejar e executar as mudanças necessárias para a representação biunívoca dos objetos ( $3D \Leftrightarrow 2D$ ); Estudar os modelos existentes de interação homem-computador no contexto do desenho para identificar a que melhor se aplica à GD; Analisar os requisitos de usabilidade pertinentes à interface para o caso específico de um *software* para GD; Desenvolver e avaliar a interface bidimensional voltada à usabilidade e interatividade. A proposição destes objetivos se deu principalmente pela natureza do trabalho, uma pesquisa do tipo dissertação/projeto, onde além da pesquisa também é feita uma intervenção, neste caso, no *software* para ensino de Geometria Descritiva HyperCAL<sup>3D</sup>. Desta forma, através da introdução de princípios Ágeis (*Kanban*) na metodologia iterativa já existente, foi possível compatibilizar o processo de Design de Interação com o processo de Desenvolvimento de *Software*.

Para Compreender a estrutura de classes, planejar e executar as mudanças necessárias no HyperCAL<sup>3D</sup> foi preciso uma investigação do seu histórico de desenvolvimento e utilização nas disciplinas. O programa é normalmente desenvolvido em ciclos iterativos (geralmente semestral) onde após (e durante) o uso ao longo do semestre, os professores e alunos fazem sugestões e apontam problemas a serem resolvidos; foi desenvolvido por um programador, eventualmente com a ajuda de um segundo, portanto uma equipe pequena que não tem uma agenda definida para o desenvolvimento do programa, ele acontece conforme a necessidade e tempo disponíveis. Estas características foram marcantes para a escolha da metodologia de desenvolvimento *Kanban*, menos restritiva e que propõe uma mudança gradual das práticas de projeto.

A partir da estrutura de classes original, foi possível elaborar uma estratégia de intervenção que permitiu a inclusão de uma segunda representação (2D) nos Planos de projeção já existentes (3D), deste modo, todos os cálculos vetoriais continuam sendo feitos em 3D (coordenadas globais) mas seus resultados são transformados em coordenadas Locais para serem desenhados em ambos planos de projeção, tanto no plano posicionado em 3D quanto no plano posicionado na épura (2D). Estas coordenadas locais foram o Elo de ligação

entre as duas representações, o que permitiu atingir o objetivo da representação biunívoca ( $3D \Leftrightarrow 2D$ ).

Foi necessário, ainda, estudar os modelos existentes de interação homem-computador no contexto do desenho para identificar o que melhor se aplica à GD e Analisar os requisitos de usabilidade pertinentes à interface para o caso específico de um *software* para GD, que eram, respectivamente, o segundo e terceiro objetivos específicos deste trabalho.

Na fase de Análise, o estilo de interação já utilizado na interface tridimensional do HyperCAL<sup>3D</sup> foi estudado para identificar e agrupar as principais atividades, como segue: Criação e modificação da geometria e topologia do sólido; definição de vértices e faces do sólido; Seleção de elementos do sólido; Criação, seleção e edição de Sistemas de Referência; Visualização e controle de câmera. Destas, as que se referem à criação e edição da geometria e topologia do sólido não fazem parte do escopo deste trabalho. A partir desta análise inicial, dois grupos de operações interativas já realizadas na interface original foram consideradas as mais importantes: Seleção de Objetos e Controle de visualização. Outras duas operações com potencial de uso na nova interface 2D também foram consideradas: Translação de objetos e Rotação de objetos. Estes quatro grupos de operações foram analisados, então, em softwares gráficos vetoriais comumente utilizados nos cursos atendidos pela disciplina: CorelDraw®, Illustrator®, AutoCAD® e Rhinoceros®. Além da análise de como estas operações eram realizadas, foi também importante analisar o quanto elas eram adequadas às metas de usabilidade estabelecidas: ser eficaz e eficiente no uso, ser segura no uso, ser de boa utilidade e fácil de aprender. Nesta etapa algumas estratégias utilizadas se destacaram: a manipulação direta dos objetos, a resposta em tempo real, a mudança de cursores e o mapeamento das ações aos botões do mouse.

O resultado destas análises se refletiu na fase seguinte de Intervenção. As operações de Translação de objetos e rotação de objetos, neste momento, ainda não foram utilizadas por envolverem a alteração da geometria do sólido, o que está fora do escopo deste trabalho. Já a análise das operações de seleção de objetos inspirou a criação do **Menu de Seleção de Faces e Arestas** encontradas abaixo do clique do mouse (item 4.4.2.3). Com relação aos controles de visualização foram criados o **Pan Transparente** (item 4.4.2.8) e o **Zoom de contexto** (item 4.4.2.9). Além destas, também foram utilizadas a **Mudança de Cursores** como uma forma de *FeedBack* Visual e a exibição das **Informações** relevantes para o usuário **Próximas ao Cursor**. Desta forma, o segundo e terceiro objetivos foram atingidos.

Por fim, desenvolver e avaliar a interface bidimensional voltada à usabilidade e interatividade era o último dos quatro objetivos específicos. O desenvolvimento da nova interface 2D começou a partir do planejamento da estrutura de classes em UML, novas propriedades do plano de projeção foram criadas para permitir uma dupla representação (3D $\Leftrightarrow$ 2D). Todas as classes que eram desenhadas em 3D tiveram também uma representação em 2D identificadas com o sufixo “\_ep” (de *épura*). Desta forma, a cada momento em que o programa chamava alguma rotina que desenharia uma aresta projetada, um ponto projetado ou uma linha de chamada, da mesma forma eram desenhados os elementos da *épura*, mantendo-se, assim, a estrutura original mas estendendo sua funcionalidade. Os comandos originais que tinham sido criados com foco na janela 3D, foram modificados para aceitar o *Input* também da janela 2D e trabalhar de forma idêntica em ambos ambientes. Foi criada, ainda, uma Classe *Épura* para conter as funções e propriedades do sistema de referência. A definição da estratégia de abordagem do problema foi uma questão marcante, pois somente com o aprendizado realizado nas duas primeiras tentativas fracassadas, foi que na terceira abordagem, o problema da representação biunívoca foi solucionado.

Todo o desenvolvimento da interface foi registrado em um quadro *Kanban*, o que permitiu identificar ao longo do projeto os principais obstáculos enfrentados no processo. O Quadro *Kanban* se mostrou muito prático e extremamente eficaz no controle das tarefas de trabalho e, principalmente, na introdução de uma cultura metodológica em um processo que antes era empírico, no caso do desenvolvimento do *software* HyperCAL<sup>3D</sup>.

A avaliação de usabilidade da nova interface foi realizada em três momentos utilizando seis avaliações diferentes. Assim que o primeiro protótipo estava em condições de ser testado foi feita uma inspeção de usabilidade feita por três especialistas (em ergonomia e no domínio da GD) seguindo um Percurso Cognitivo Simplificado e uma Avaliação Heurística. Esta avaliação revelou alguns erros catastróficos que aconteciam na exportação de arquivos, na impressão e na edição do sólido. Estes erros de exportação e impressão foram todos corrigidos, no caso da edição do sólido, a estratégia foi impedir que o erro acontecesse uma vez que era causado pela entrada de dados inválidos pelo usuário. No entanto, a maior contribuição da Inspeção de usabilidade foi a necessidade da criação do comando **Desfazer/Refazer** (*Undo/Redo*), implementado apenas no quarto e último protótipo, devido a complexidade da solução. A correção dos erros encontrados na Inspeção de usabilidade gerou um segundo protótipo que foi, então, apresentado e testado pelos Professores.

Os professores foram considerados como usuários experientes (07 participantes da entrevista, mas apenas 06 responderam ao questionário), pois todos já conheciam e tinham utilizado o programa em semestres anteriores. Neste caso, foi realizada uma entrevista com os professores para entender como cada um utilizava o programa: alguns usavam mais o programa fora da sala de aula na preparação de exercícios e provas, outros preferiam usar durante a aula também para ilustrar os conceitos. Depois de apresentada a nova interface o retorno dos professores foi muito positivo. Eles receberam uma cópia do programa para ser utilizada e explorada com mais calma e semanas depois retornaram um questionário com 15 perguntas (item 4.5.2) com respostas que variam de 1 a 5, sendo 1 – Discordo Totalmente e 5 – Concordo totalmente. O questionário era voltado a analisar as impressões do usuário com relação à facilidade de uso, eficácia da interface, entre outros (06 questionários foram respondidos). Os resultados foram extremamente positivos. Quando perguntados se a *Épura Interativa* contribui para o entendimento da Geometria Descritiva (pergunta diretamente relacionada ao problema de pesquisa), **todos os professores** Concordaram Totalmente (opção 5). Outras quatro perguntas indiretamente relacionadas ao problema de pesquisa (questões 2, 3, 10 e 11) tiveram a maioria das respostas na opção 5 (concordo totalmente).

A partir das entrevistas e respostas dos questionários, foram feitas sugestões pelos professores, como ajuste de cores, espessuras de linha, e utilização de cursores específicos para indicar a condição de paralelismo e perpendicularismo, entre outras. Estas sugestões citadas foram implementadas (outras ainda aguardam solução) e o terceiro protótipo foi criado para ser avaliados pelos alunos.

Os alunos, considerados como usuários novatos (56 participantes), testaram o *software* em uma sessão de laboratório. Primeiro, a Interface Original foi apresentada e três tarefas foram realizadas no ambiente 3D. Depois disto, os alunos responderam a uma Escala de Usabilidade de Sistema (S.U.S) relativa a interface Original 3D. Em um segundo momento, a Nova interface foi apresentada e eles realizaram as mesmas três tarefas no ambiente 2D para depois preencher novamente a escala S.U.S, desta vez relacionada a nova interface. Na escala S.U.S, a Interface Original 3D ficou ligeiramente acima da média (68), classificada como Boa com uma pontuação de 68,45 pontos, enquanto que a Nova Interface 2D teve uma pontuação na escala de 85,41 pontos, classificada como Excelente. Uma vez que ambas as interfaces tem as mesmas funcionalidades, esta diferença pode ser atribuída à familiaridade do aluno com o desenho bidimensional. Para um usuário “não iniciado”, as relações tridimensionais entre os planos e as projeções podem parecer mais difíceis de entender do que a *épura* bidimensional.

A relação da interface 2D com o desenho feito pelos alunos pode ter influenciado positivamente esta diferença na pontuação.

Por fim, os alunos responderam ao mesmo questionário aplicado aos professores. Das 55 respostas, 95% Concordam Totalmente (Opção 5) que a Épura Interativa contribui para o entendimento da Geometria Descritiva (pergunta diretamente relacionada ao problema de pesquisa) e outros 5% escolheram a opção 4. As outras quatro perguntas indiretamente relacionadas ao problema de pesquisa (questões 2, 3, 10 e 11) também tiveram a maioria das respostas na opção 5 (Concordo Totalmente). A partir destes dados, é possível concluir que, na opinião dos usuários (experientes e novatos), a Nova Interface do HyperCAL<sup>3D</sup> contribui efetivamente para o ensino/aprendizagem de Geometria Descritiva. Após a avaliação dos alunos, o quarto e último protótipo (com a implementação do comando Desfazer/Refazer) foi criado para a fase de Entrega.

A barreira de abstração encontrada pelos alunos para estabelecer a relação entre as projeções bidimensionais e o objeto tridimensional que elas representam foi diminuída a partir da interatividade e atualização em tempo real da nova interface bidimensional. A nova interface, quando utilizada em conjunto com a interface do modelo (3D), torna explícita esta relação facilitando seu entendimento, conforme indicam os resultados dos testes com os usuários e depoimentos relatados nas entrevistas e nos questionários aplicados.

Desta forma, a hipótese formulada no início desta tese foi comprovada: “Através do Design de Interação com foco na usabilidade, é possível projetar uma interface para um *software* de ensino de Geometria Descritiva que relacione as operações gráficas nos ambientes 2D e 3D de maneira biunívoca e interativa (em tempo real), compatível com o modo de trabalho gráfico da Geometria Descritiva e seus métodos descritivos realizados pelos alunos utilizando instrumentos convencionais de desenho”.

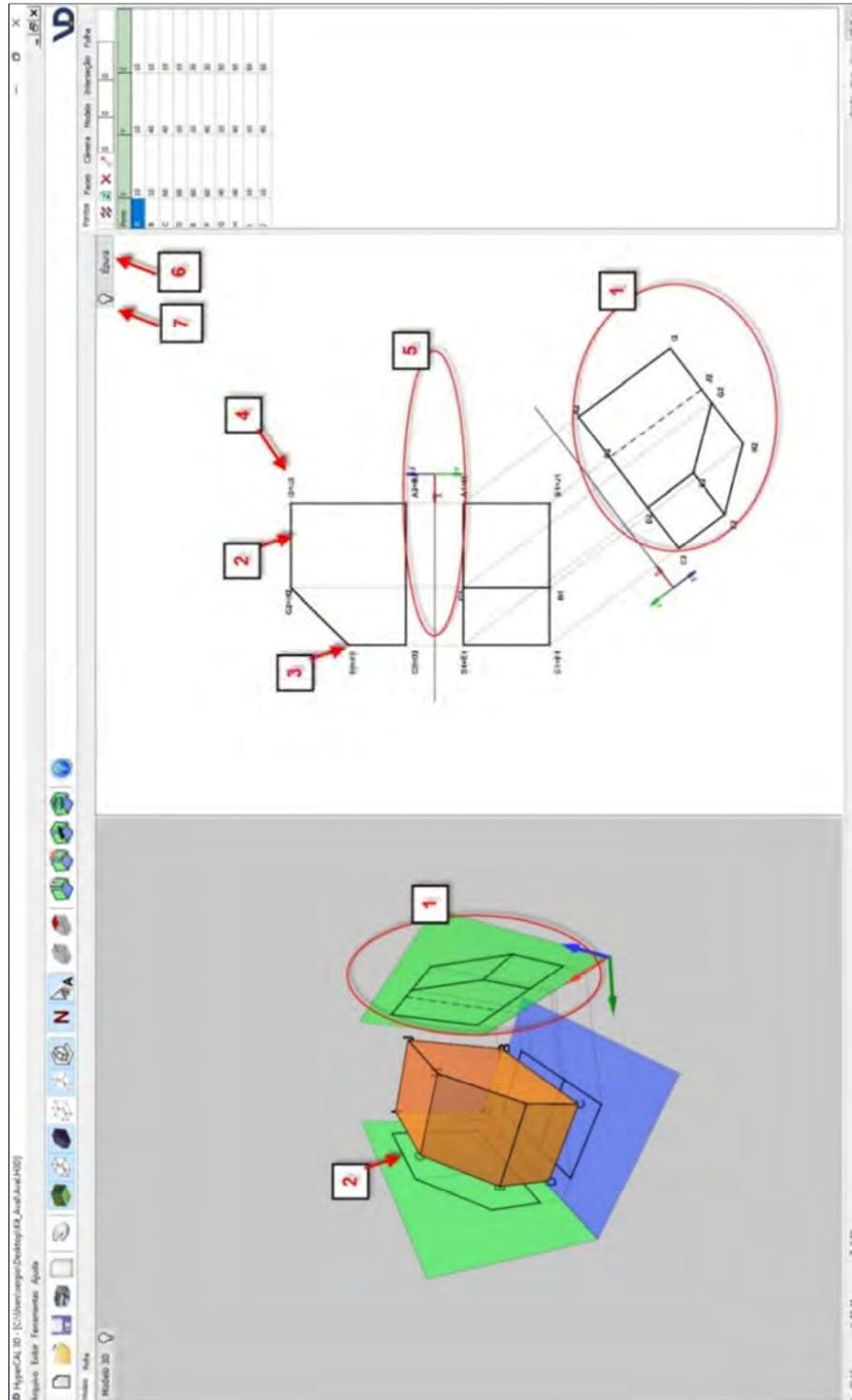
De forma geral, é possível sintetizar as intervenções feitas no *Software* HyperCAL<sup>3D</sup> da seguinte forma: **Representação Biunívoca, Controles de Visualização, Feedback Visual e Ajuda e Prevenção de Erros**. A Figura 116 ilustra as principais intervenções realizadas com relação à **Representação Biunívoca** e os **Controles de Visualização**.

Figura 116: Representação Biunívoca e Controles de Visualização.

O quê?	Quais itens?	o que é?	Como?	Onde?
Representação Biunívoca	Classe <i>TPlanoProj</i>	Plano de Projecção com as duas Representações (2D/3D).	Tem dois sistemas de coordenadas idênticos (mas cada um em uma Cena de objetos diferente, um ambiente 3D e um ambiente 2D) que se relacionam através de suas coordenadas Locais. Esta classe tem uma rotina que transforma as coordenadas locais em Globais para cada ambiente.	1
	Classe <i>TArestaProj</i>	Aresta Projetada que é desenhada nos planos de projecção. É a classe base para qualquer linha desenhada no programa.	Cada Aresta tem duas representações distintas, uma desenhada no plano 3D e outra desenhada no plano da Épura, que utiliza os mesmos dados geométricos.	2
	Classe <i>TPontoProj</i>	Ponto Projetado que é desenhado nos planos de projecção. Tem como propriedades as linhas de chamada que chegam nos pontos.	Cada Ponto tem duas representações distintas, uma desenhada no plano 3D e outra desenhada no plano da Épura, que utiliza os mesmos dados geométricos.	3
	Classe <i>TPontoNomeProj</i>	Nome do Ponto Projetado que é desenhado nos planos de projecção. Verifica ainda quando os pontos estão tem projecções sobrepostas.	Tem duas representações distintas, uma desenhada no plano 3D e outra desenhada no plano da Épura. Utiliza dois arquivos de fontes distintos, uma para cada ambiente.	4
	Classe <i>TEpura</i>	Desenho do Sistema de Referência na Épura.	Vinculado ao Plano de projecção, realiza o desenho da Linha de Terra, setas e nomes dos eixos na Épura.	5
	Maximiza Épura	Botão na Janela Épura que maximiza a janela Épura e minimiza a janela modelo, ampliando a área de trabalho na Épura.	Executa uma rotina que altera o tamanho, alinhamento e posição das janelas de visualização.	6
	Maximiza Modelo	Botão na Janela Modelo que maximiza a janela Modelo e minimiza a janela Épura, ampliando a área de trabalho no Modelo.	Executa uma rotina que altera o tamanho, alinhamento e posição das janelas de visualização.	7
Controles de Visualização	Desliga Épura	Botão na Janela Épura em forma de lâmpada que desliga a janela Épura e maximiza a janela Modelo. É importante para aproveitar toda a área de trabalho.	Executa uma rotina que altera o tamanho, alinhamento e posição das janelas de visualização.	
	Desliga Modelo	Botão na Janela Modelo em forma de lâmpada que desliga a janela Modelo e maximiza a janela Épura. É importante para aproveitar toda a área de trabalho.	Executa uma rotina que altera o tamanho, alinhamento e posição das janelas de visualização.	
	Zoom de Contexto	Faz o zoom na imagem mantendo sempre o foco abaixo do cursor. É importante para que não cause desorientação no usuário.	Calcula a distorção ocasionada pelo Zoom e utiliza o comando Pan para corrigir esta distorção a cada incremento.	
	Pan Transparente	Permite que o comando Pan seja executado durante outros comandos. É importante para manter o fluxo de trabalho.	Salva o estado do Comando e da Ação sendo executados imediatamente antes de acionar o Pan, e Restaura o comando e a ação original logo após seu uso.	
Gira Épura	Permite girar a orientação da Épura para colocar uma linha de Terra Auxiliar na posição Horizontal. É importante para compreender as projecções em posições inusitadas.	Mapeada no Botão direito do Mouse, gira a orientação da câmera, fazendo com que a imagem apareça girada.		

Fonte: Do Autor.

Figura 117: Identificação das intervenções da Representação Biunívoca e Controles de Visualização.



Fonte: Do Autor.

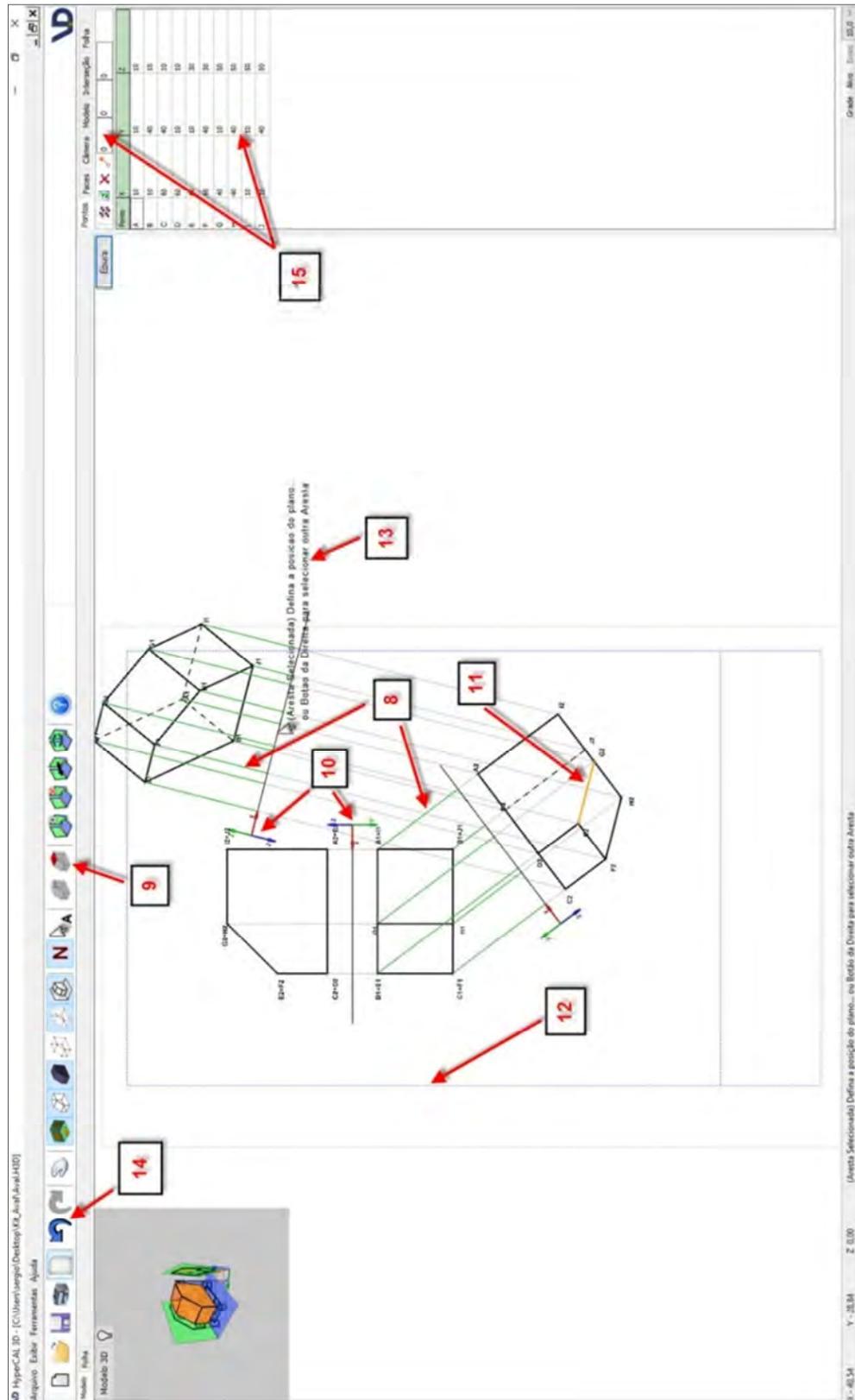
Alguns dos Itens descritos acima estão identificados com números na última coluna (“Onde?”) que identifica as intervenções descritas na Figura 117. De forma similar, a Figura 118 lista as principais intervenções realizadas com relação ao **Feedback Visual** e **Ajuda e Prevenção de Erros**. Na Figura 119 estes itens são localizados na Interface.

Figura 118: FeedBack Visual e Ajuda e Prevenção de Erros.

O quê?	Quais Itens?	o que é?	Como?	Onde?
FeedBack Visual	Linhas de Chamada Coloridas	Mostra as linha de chamada coloridas para indicar de onde as coordenadas dos pontos projetados estão sendo buscadas.	Altera as cores das linhas de chamada (verde ou azul) durante o comando MSRTemp, enquanto a ação for menor que 2. Ao final do comando reestabelece a cor padrão (cinza).	8
	Menus de Seleção de Arestas	Um menu que lista todas as arestas encontradas no pixel que foi clicado, para permitir a seleção das arestas.	Compara a lista de arestas encontradas com a lista de arestas já selecionadas e mostra apenas as que ainda são possíveis de selecionar.	
	Menus de Seleção de Faces	Um menu que lista todas as faces encontradas no pixel que foi clicado, para permitir a seleção das faces.	Encontra a quais faces pertencem as arestas encontradas naquele pixel e compara com a lista de faces selecionadas.	9
	Cores e Letras nos eixos X, Y e Z.	Sistema de Referência Desenhado na Épura com as mesma cores dos eixos em 3D e suas respectivas Letras.	A Classe Tepura contem as rotinas de desenho do Sistema de referência e seus Eixos.	10
	Cor laranja da Aresta de Referência	Destaca a aresta de referência com a cor laranja, serve de orientação para o posicionamento do SR.	Altera a cor da aresta escolhida (laranja) durante o Comando MSRTemp, enquanto a ação for menor que 2. Ao final do comando reestabelece a cor padrão (Preta).	11
	Destaque em vermelho das Arestas de	Arestas de interseção são calculadas e desenhadas no sólido com uma cor em destaque.	As arestas de interseção são armazenadas com um indicador especial (int) que permite identifica-las e mudar a sua cor sem interferir nas outras arestas projetadas.	
	Limite de Impressão na Épura	Mostra os limites de impressão na própria épura, sem a necessidade de visualizar a aba "Folha" para facilitar o planejamento dos exercícios.	As margens definidas para folha de impressão são desenhadas em linhas azuis pontilhadas na épura quando o estado "limiteImp" é acionado.	12
	Cursos Especificos	Reconhece as situações de posicionamento importantes durante a MSR (paralelo e perpendicular) e muda o cursor de acordo, bem como se tem algum objeto abaixo do cursor.	Um monitoramento constante é feito no evento "MouseMove" para identificar as situações em os cursores devem trocados.	
	Texto no Cursor	Mostra os passos a serem seguidos pelo usuário em um texto colocado próximo ao cursor (foco de atenção do usuário).	A mesma mensagem que é mostrada na barra de Status é mostrada também no texto do cursor, mas este desaparece depois de 5 segundos para não atrapalhar a visualização.	13
	Desfazer/Refazer	Permite o usuário desfazer uma ação indesejada e (se preferir) pode refazê-la também.	Salva o estado do programa (sólido e sistemas de referencia) antes da ação, permitindo que este estado seja reparado depois da ação.	14
	Impedir a entrada de valores inválidos	As tabelas e campos onde o usuário pode entrar com valores (ou dados) não permitem a digitação de dados inválidos que causariam erros, ou corrigem entradas similares (ponto ou virgula).	A cada <i>KeyPress</i> no teclado os valores são analisados e impedidos ou corrigidos conforme o caso.	15

Fonte: Do Autor.

Figura 119: Intervenções feitas com relação ao FeedBack Visual e Ajuda e Prevenção de Erros.



Fonte: Do Autor.

É preciso considerar, ainda, as possíveis implicações no ensino/aprendizagem da Geometria Descritiva a partir desta nova Interface. Um dos principais usos do programa pelos professores é na preparação de exercícios. Sem o uso do programa, o professor pensa em um exercício, formula um problema e, com base na sua experiência e intuição, testa a solução que “possivelmente” é a mais adequada para a solução daquele problema, mas não testa todas as soluções possíveis para o mesmo problema, pois isto requer um tempo de construção dos desenhos que frequentemente os professores não têm. Com o uso do programa, o professor pode, não apenas testar várias soluções possíveis em segundos, como pode realinhar as mudanças de sistemas já feitas para melhor aproveitar o espaço da folha. O limite de impressão facilita o planejamento da folha de impressão durante a construção do exercício. Assim, o planejamento do exercício se torna mais rápido, mais fácil e de melhor qualidade.

Da mesma forma, com a nova interface interativa 2D, os professores podem demonstrar em segundos, em sala de aula com o uso do projetor, uma alternativa de solução que, sem este recurso, levaria de 15 a 20 minutos para ser executada no quadro com os instrumentos tradicionais de desenho. Atualmente, alternativas de solução não podem ser demonstradas, o professor pode citar a possibilidade, mas não tem tempo hábil de demonstrar. A interface Interativa 2D, além de facilitar demonstração de possíveis soluções do problema rapidamente, ela utiliza uma metáfora de interação que segue o mesmo modelo conceitual do desenho realizado no papel, permitindo que o aluno relacione mais facilmente o que ele visualiza no programa de forma interativa com o que ele realiza no papel.

Não se espera que o programa substitua o desenho, nem que elimine a tarefa de construção do desenho pelos alunos, pois isto faz parte da construção do conhecimento pelo aluno e é um processo necessário. No entanto, não é preciso que esta tarefa de construção do desenho seja um trabalho penoso e que acabe por desmotivar o aluno. O programa, ao propiciar a experimentação de alternativas de solução, sem a necessidade de passar pelo trabalho do desenho em todas as tentativas, pode fazer com que a lógica do sistema Mongeano seja compreendida mais facilmente pela reflexão na ação. Uma vez que o sistema esteja estabelecido, daí sim o trabalho da construção do desenho pode ser mais bem aproveitado.

Outra possibilidade de uso da épura interativa é a projeção no quadro do resultado a ser obtido. Assim o professor pode construir o desenho, passo-a-passo sobre as projeções no quadro, explicando o raciocínio envolvido na construção da épura, com a diferença que o

aluno está vendo onde aquele raciocínio vai chegar, pois está vendo projetado o resultado final. Além de saber o porquê daquelas tomadas de decisão, pois o resultado final está projetado no quadro, isto também facilita o trabalho do professor que, além de poder adequar a escala do desenho ao espaço disponível no quadro através do zoom, já tem as linhas de construção precisamente indicadas, permitindo que trabalhe mais facilmente com os instrumentos.

Finalmente, é importante salientar que em uma Perspectiva Mercadológica nenhum outro *software* de Geometria Descritiva é similar ou se aproxima das capacidades de interação e representação apresentadas no HyperCAL<sup>3D</sup>, tanto em Nível Nacional quanto em Nível Internacional. Da mesma forma, considerando uma perspectiva Tecnológica, com base nas publicações da área, a geração de conhecimento científico na área de Geometria Descritiva não tem similar, atestando o ineditismo e relevância deste trabalho.

É neste sentido que este trabalho busca contribuir: facilitar a prática dos professores em sala de aula, proporcionar outros meios de aprendizado aos alunos, melhorar a relação aluno/professor transformando para melhor o ambiente acadêmico e o futuro das novas gerações.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Uma questão que surgiu durante as avaliações com os alunos foi a questão dos ícones utilizados no programa. Um possível trabalho seria criar uma comunicação visual para os ícones da interface, com um estilo a ser seguido para a criação de novos ícones. Outra necessidade é a reestruturação de classes do programa. Como o programa veio evoluindo ao longo de dez anos, e trocou de tecnologia de representação (*VRML/OpenGL*) ele traz pedaços de códigos que já não são mais usados, classes sem utilização, e a partir da experiência adquirida ao longo do desenvolvimento é possível escrever um programa mais robusto e mais enxuto que facilite a sua manutenção e o seu futuro desenvolvimento. O Desenvolvimento de versões do programa para outras plataformas (Android, Ios, MacOs e Linux) também é desejável, o que implicaria em um estudo de como interagir com telas *MultiTouch* mantendo o estilo de interação da GD.

Do ponto de vista das ferramentas necessárias a GD, ainda podem ser criadas ferramentas para Rotação e Rebatimento (outro método descritivo similar à M.S.R.). Podem ainda ser criadas ferramentas que contemplem a criação de superfícies retilíneas desenvolvíveis,

superfícies reversas, superfícies de revolução, entre outras, que são parte do conteúdo estudado na GD III – ARQ03320 e na segunda metade das disciplinas dos cursos de Arquitetura e Design. A parte de criação da geometria e definição da topologia do modelo também pode ser explorada, como a extrusão de figuras planas para a criação de sólidos, ou mesmo o desenho interativo direto na *épura*.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ADOBE. **Adobe Illustrator**, 2015. Disponível em: <<https://www.adobe.com/br/products/illustrator.html>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

AGOSTON, M. K. **Computer Graphics and Geometric Modelling: Implementation & Algorithms**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2005. 452 p.

AMES, A. L.; NADEAU, D. R.; MORELAND, J. L. **The VRML 2.0 sourcebook**. 2ª. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

ANDERSON, D. J. **Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business**. [S.l.]: Blue Hole Press, 2010. 278 p. ISBN 978-0984521401.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10067: Princípios gerais de representação em Desenho Técnico**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1995. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/TR 16982: Ergonomia da Interação Humano-sistema**. Rio de Janeiro, p. 57. 2014.

AUTODESK. **AutoCAD**, 2015. Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>>. Acesso em: 09 Março 2015.

AZEVEDO, E.; CONCI, A. **Computação Gráfica: Teoria e Prática**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, v. 1, 2003.

BANGOR, A.; KORTUM, P. T.; MILLER, J. T. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. **Journal of Usability Studies**, Vol. 4 - ed.3, Maio 2009. p. 114-123.

BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces**. Institut National De Reserche En Informatique Et En Automatique - INRIA. France. 1993.

BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Evaluating a user interface with ergonomic criteria**. Institut National De Reserche En Informatique Et En Automatique - INRIA. France. 1994.

BECK, K. **Extreme Programming Explained: Embrace Change**. 1ª. ed. [S.l.]: Addison Wesley, 1999.

BECK, K. et al. Manifesto Ágil, 2001. Disponível em: <<http://agilemanifesto.org/iso/ptbr/>>. Acesso em: 28 Maio 2015.

BECK, K.; ANDRES, C. **Extreme Programing Explained: Embrace the change**. 2ª. ed. [S.l.]: Addison Wesley, 2004.

BELL, E. T. **Los Grandes Matemáticos (desde Zenón a Poincaré):** su vida y sus obras. Buenos Aires: Editorial Losada, 1948. 682 p.

BELL, E. T. **Historia de las Matematicas.** México: Fondo de Cultura Economica, 1985. 656 p.

BELL, E. T. **The Developments of Mathematics.** 2. ed. New York: Dover Publications, 1992. 639 p.

BENINGTON, H. D. Production of Large Computer Programs. **IEEE Annals of the History of Computing**, Outubro 1983. 350-361.

BENYON, D. **Designing interactive systems:** a comprehensive guide to HCI and interaction design. 2º. ed. London: Pearson, 2010.

BOEHM, B.; TURNER, R. **Balancing Agility and Discipline:** A Guide for the Perplexed. 1ª. ed. Boston: Addison-Wesley/Pearson Education, 2003.

BORGES, G. C. D. M.; BARRETO, D. G. O.; MARTINS, E. Z. **Noções de geometria descritiva:** teoria e exercícios. 4ª. ed. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto, 1990. 137 p.

BOYER, C. B. **Historia da Matemática.** São paulo: Edgar Blucher, 1974. 488 p.

BROKE, J. SUS: A Retrospective. **Journal of Usability Studies**, Vol.8 - ed. 2, Fevereiro 2013. p.29-40.

BROOKE, J. "SUS: a "quick and dirty" usability scale". In: P. W. JORDAN, B. T. B. A. W. & A. L. M. **Usability Evaluation in Industry.** London: Taylor and Francis, 1996. p. 189-194.

CABRILOG SAS. **Cabri 3D**, 2015. Disponível em: <<http://www.cabri.com/cabri-3d.html>>. Acesso em: 05 Agosto 2015.

CASTELAN, J.; FRITZEN, D. **EXTERMINADOR DO FUTURO 5: A REBELIÃO DAS PRANCHETAS.** GRAPHICA 2013: XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics for Arts and Design. Florianópolis: CCE - UFSC. 2013.

COOPER, A.; REIMANN, R.; CRONIN, D. **About Face 3:** The Essentials of Interaction Design. 3ª. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc, 2007.

COREL. **CorelDraw**, 2015. Disponível em: <<http://www.coreldraw.com/br/product/software-de-design-grafico/>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

CYBIS, W. **ENGENHARIA DE USABILIDADE: UMA ABORDAGEM ERGONÔMICA.** Florianópolis: UFSC, 2003. Apostila para o curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina..

CYBIS, W. Checklist. **ErgoList**, 2011. Disponível em: <<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/check.htm>>. Acesso em: 22 Agosto 2015.

CYBIS, W. D. A. et al. **Uma abordagem ergonômica para o desenvolvimento de sistemas interativos**. Atas do I Workshop sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais, IHC 1998. Maringá-PR, Brasil, October 12-13, 1998. Rio de Janeiro: PUC-Rio. 1998. p. 102-111. (Disponível Online em: <http://www.unicamp.br/~ihc99/Ihc99/AtasIHC99/AtasIHC98/Cybis.pdf>).

CYBIS, W.; BETIO, A. H.; FAUST, R. **Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações**. 2ª. ed. [S.l.]: Novatec, 2010. 352 p. ISBN 978-85-7522-232-4.

DAVIDSON, S. GrassHopper: ALGORITHMIC MODELING FOR RHINO, 2014. Disponível em: <<http://www.grasshopper3d.com/>>. Acesso em: 02 outubro 2014.

DIX, A. et al. **Human Computer Interaction**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004.

EYMAR, P. et al. **NOVOS EXPERIMENTOS NO ENSINO DA GEOMETRIA DESCRITIVA USANDO OS MEIOS DIGITAIS DE REPRESENTAÇÃO COMO REFERÊNCIA**. GRAPHICA 2013: XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics for Arts and Design. Florianópolis: CCE - UFSC. 2013.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia. Saberes Necessários à Prática Educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

G., S.; RICHARD S. WRIGHT, R. S.; HAEMEL, N. **OpenGL SuperBible: Comprehensive Tutorial and Reference**. 6ª. ed. Upper Saddle River: Addison-Wesley Professional, 2013.

GALITZ, W. O. **The Essential Guide to User Interface Design: An Introduction to GUI Design Principles and Techniques**. 2º. ed. Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

GARRET, J. J. **The elements of User Experience: User-Centered design for the Web and Beyond**. 2ª. ed. Berkeley: New Riders, 2011.

GEOGEBRA INSTITUTE. **Geogebra**, 2015. Disponível em: <[http://www.geogebra.org/cms/pt\\_BR/](http://www.geogebra.org/cms/pt_BR/)>. Acesso em: 05 Agosto 2015.

GONZATTO, R. F. **Design de interação e a amaterialidade em Álvaro Vieira Pinto**. Curitiba: UTFPR, 2014. 196 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GOULD, J.; LEWIS, C. Designing for Usability: Key principles and what designers think. **Communications of ACM**, V.28 N.3, Nova York, Março 1985. p.300-311.

HAWK, M. C. **Theory and Problems of Descriptive Geometry**. New York: Schaum Publishing Co., 1962.

INKSCAPE. **Inkscape**, 2015. Disponível em: <<https://inkscape.org/pt/>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

ISO 9241-11. **Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on Usability**. Geneva: International Organization for Standardization. 1998.

IXDA. IxDA Mission. **Interaction Design Association**, 2014. Disponível em: <<http://www.ixda.org/about/ixda-mission>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

JACQUES, J. J. et al. **Nova abordagem para o ensino de geometria descritiva básica**. XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Porto Alegre: Anais do XXIX Cobenge. 2001. p. 6.

KNIBERG, H.; SKARIN, M. **Kaban and Scrum - Making the most of both**. [S.l.]: C4Media, 2010. ISBN 978-0-557-13832-6. <http://www.infoq.com/minibooks/kanbanscrum-minibook> - Acessado em 20/04/2015.

KOLKO, J. **Thoughts on Interaction Design**. Austin, Texas: Brow Bear, LLC, 2007.

KONSULTA, M. **Descriptive Geometry**, 2006. Disponível em: <<http://dg.vdivici.cz/dg/dge.html>>. Acesso em: 09 Março 2015.

KRULIK, S. E. R. R. **A Resolução de Problemas na Matemática Escolar**. São Paulo: Atual editora, 1998.

LACOURT, H. **Noções e Fundamentos de Geometria Descritiva**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Lean Thinking: o que é? Site do lean Institute brasil**, 1998-2015. Disponível em: <[http://www.lean.org.br/o\\_que\\_e.aspx](http://www.lean.org.br/o_que_e.aspx)>. Acesso em: 20 abr. 2015.

LEWIS, C. et al. Testing a Walkthrough Methodology for Theory-Based Design of Walk-Up-and-use Interfaces. **In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Empowering people (CHI '90)**, Nova York, Abril 1990. 235-242.

MCNEEL, R. **Rhinoceros**, 2014. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/>>. Acesso em: 09 Março 2015.

MOGGRIDGE, B. **Designing Interactions**. Cambridge: MIT Press, 2007.

MONGE, G. **Géométrie descriptive. Leçons données aux Écoles normales, l'an 3 de la République**. Paris: impr. de Baudouin, 1798. 130 p. Domínio Público. Disponível em: "<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5783452x/f6.image>". Acessado em: 09/03/2015.

MORTENSON, M. E. **Geometric Modeling**. New York: John Wiley and Sons, 1985.

NEMETSCHEK. **VectorWorks**, 2015. Disponível em: <<http://www.vectorworks.net/>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

NIELSEN, J. **Usability Engeneering**. SanDiego, CA: ACADEMIC PRESS, 1993. ISBN 1-12-518406-9.

NIELSEN, J. Usability 101. **Nielsen Norman Group**, 2012. Disponível em: <<http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>>. Acesso em: 16 set. 2015.

NIELSEN, J.; MOLICH, R. Improving a human-computer Dialogue. **Communications of Association for Computing Machinery - ACM**, v. 33, p. 338-348, March 1990-a.

NIELSEN, J.; MOLICH, R. HEURISTIC EVALUATION OF USER INTERFACES. **Proc. CHI'90 Conference on Human Factors in Computer Systems**, New York, April 1990-b. 249-256.

NUNES, T. V. L. et al. **APRENDIZADO COLABORATIVO COM USO DE SOFTWARE EM DESENHO BÁSICO PARA DESIGN**. XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics for Arts and Design.. Florianópolis: CCE - UFSC. 2013.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. New York: Productivity, Inc, 1988. ISBN 0915299143.

OLIVEIRA, A. L. L. D. **Avaliação Comparativa de diferentes interfaces gráficas no ensino de geometria, segundo os conceitos de usabilidade**. São Paulo: USP, 2005. Dissertação ( Mestrado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 116 p.

PALLADIO, A. In Heilbrunn Timeline of Art History. "**Andrea Palladio: Villa Rotonda (41.100.169.15)**" New York: The Metropolitan Museum of Art, 2000. Disponível em: <<http://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/41.100.169.15>>. Acesso em: 30 Março 2015.

PARALLELGRAPHICS. Cortona 3D. **Cortona 3D**, 2013. Disponível em: <<http://www.cortona3d.com/>>. Acesso em: 08 Ago 2013.

PEREIRA, N. S.; VAZ, C. E. V. **PARAMETRISMO E ENSINO DE GEOMETRIA– AS SUPERFÍCIES DE FELIX CANDELA**. GRAPHICA 2013: XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics for Arts and Design. Florianópolis: CCE - UFSC. 2013.

PFLEEGER, S. L. **Engenharia de Software: Teoria e Prática**. 2ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

PIEGL, L. A. Ten challenges in computer-aided design. **Computer-Aided Design**, April 2005. 461-470.

POLYA, G. **A Arte de Resolver Problemas**. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

POPPENDIECK, M.; CUSUMANO, M. A. Lean Software Development: A tutorial. **IEEE Software**, v. 29, n. 5, p. 26-32, Outubro 2012. ISSN DOI:10.1109/MS.2012.107.

POPPENDIECK, M.; POPPENDIECK, T. **Lean SoftwareDevelopment: An Agile Toolkit**. New Jersey: Addison-Wesley, 2003. ISBN 0-321-15078-3.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Design de Interação: Além da interação Homem-computador**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

PRESSMANN, R. **Software Engineering: a practitioner's approach**. 5ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2001. ISBN 0073655783.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REQUICHA, A. A. G.; VOELCKER, H. B. Solid Modeling: Current Status and Research Directions. **Computer Graphics and Applications, IEEE**, v. 3, n. 7, p. 25-37, Outubro 1983.

REQUICHA, A. A. G.; VOELCKER, H. B. Boolean operations in solid modeling: Boundary evaluation and merging algorithms. **Proceedings of the IEEE**, v. 73, n. 1, p. 30-44, Janeiro 1985.

RIBEIRO, V. G. et al. Uma análise conceitual sobre métodos de pesquisa utilizados em Design. **Revista D**, Porto Alegre, v. 3, p. 97-112, 2011.

RIBEIRO, V. G.; SILVEIRA, A. L. M. D. Os Princípios Básicos para o Design das Interfaces Gráficas de Usuário: uma Revisão de Literatura Histórica. **Educação Gráfica**, Bauru, v. 17 - n°3, 2013. ISSN 2179-7374.

ROCHA, H. V.; BARANAUSKAS, M. C. **Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador**. São Paulo: Unicamp, 2003. 242 p. Disponível em: <http://www.nied.unicamp.br/?q=content/download-heloisa-cecilia-2003>.

ROYCE, W. MANAGING THE DEVELOPMENT OF LARGE SOFTWARE SYSTEMS. **Proceedings IEEE WESCON**, Agosto 1970. 1-9.

SAFFER, D. **Designing for Interactions: Creating Smart Appliances and Clever Devices**. Berkeley: New Riders / AIGA Design Press, 2007.

SANTOS, S. L. D. **Concepção e Desenvolvimento de uma Interface Gráfica para Interação Tridimensional**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Dissertação (Mestrado em Design) Programa de Pós-Graduação em Design. 108 p.

SAURO, J. Measuring Usability With The System Usability Scale. **MeasuringU**, 2011. Disponível em: <<http://www.measuringu.com/sus.php>>. Acesso em: 28 Agosto 2016.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Tradução de Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

SCHWABER, K.; BEEDLE, M. **Agile Software Development with SCRUM**. 1ª. ed. [S.l.]: Pearson, 2001. 158 p. ISBN 978-0130676344.

SHORE LABS. Kanban - Lean Take on Agile Software Development. **Kanban Tool**, 2015. Disponível em: <<http://kanbantool.com/kanban-library/introduction/kanban-lean-take-on-agile-software-development#.VUe3hPnF9dc>>. Acesso em: 28 abril 2015.

SILVA, C. I. D. N. D. **A INSUBSTITUÍVEL GEOMETRIA DESCRITIVA**. VI EDUCERE - Congresso Nacional de Educação PUCPR. Curitiba: Champagnat. 2006. p. 1852-1867.

SILVA, R. P. D. **Avaliação da perspectiva cognitivista como ferramenta de ensino-aprendizagem da Geometria Descritiva a partir do ambiente hipermídia HyperCALGD**. Florianópolis: UFSC, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 213 p.

SILVA, T. L. K. D. **Uma proposta de ambiente computacional para aprendizagem em geometria descritiva com ênfase na estereotipagem dos estudantes de engenharia**. Florianópolis: UFSC, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 188 p.

SILVA, T. L. K. D. **Produção Flexível de Materiais Educacionais Personalizados: O Caso da Geometria Descritiva**. Florianópolis: UFSC, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 181 p.

SPENCER, R. The streamlined cognitive walkthrough method, working around social constraints encountered in a software development company. **Proceedings from ACM CHI 2000: Conference on Human Factors in Computing Systems.**, New York, 2000. <http://doi.acm.org/10.1145/332040.332456>.

SURYNKOVÁ, P. **3D GEOMETRIC MODELING**. International Conference on Communication, Media, Technology and Design. Istanbul: ICCMTD. 2012.

SYSTEMES, D. **3D CAD Design Software SOLIDWORKS**, 2015. Disponível em: <<http://www.solidworks.com/>>. Acesso em: 09 Março 2015.

TAPSCOTT, D. **A hora da geração digital: como os jovens que cresceram usando a internet estão mudando tudo, das empresas aos governos**. Tradução de Marcelo Lino. Rio de Janeiro: Agir negócios, 2010.

TEIXEIRA, F. et al. **The descriptive geometry education through the design-based learning**. 12TH International Conference on Geometry and Graphics. Salvador: Proceedings ICGG. 2006.

TEIXEIRA, F. G. **Modelamento paramétrico e geração de malha em superfícies para aplicações em engenharia**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Tese Doutorado, Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 127 p.

TEIXEIRA, F. G. **HYPERCAL3D 2.0 A SEGUNDA GERAÇÃO DO MODELADOR 3D PARA GEOMETRIA DESCRITIVA**. XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Fortaleza: Anais do COBENGE. 2010.

TEIXEIRA, F. G. et al. **Hypercal3d modelador de sólidos para geometria descritiva**. VII International Conference on Graphics Engineering of Arts and Design e XVIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico. Curitiba: ANAIS do GRAPHICA'2007. 2007.

TEIXEIRA, F. G. et al. **EXPERIÊNCIAS INOVADORAS EM ENSINO E PESQUISA DA GEOMETRIA DESCRITIVA**. Geometrias & Graphica 2015 proceedings. Porto: Aproved. 2015.

TEIXEIRA, F. G.; SANTOS, S. L. **HyperCAL3D , UM SISTEMA INOVADOR PARA AUXÍLIO AO PROCESSO DE ENSINO DE GEOMETRIA DESCRITIVA**. GRAPHICA 2013: XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics for Arts and Design. Florianópolis: CCE - UFSC. 2013.

TEIXEIRA, F. G.; SANTOS, S. L. **Hypercal3d: a computer application to support the teaching and learning of descriptive geometry**. 16th International Conference On Geometry And Graphics. Innsbruck, Austria: ICG2014. 2014.

TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R.P. **Geometria Descritiva: Design-Based Learning - Notas de Aula**. UFRGS. Porto Alegre. 2006.

TEIXEIRA, F.; SILVA, R.; SILVA, T. **A hypermedia learning environment for Descriptive geometry**. International Conference on Engineer Education. Ostrava, Prague: Anais ICEE. 1999.

TENÓRIO, J. M. et al. Desenvolvimento e Avaliação de um Protocolo Eletrônico para Atendimento e Monitoramento do Paciente com Doença Celíaca. **Revista de Informática Teórica e Aplicada - Instituto de Informática UFRGS**, Porto Alegre, v. 17, n. n2, 2010. Disponível em ([http://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita\\_v17\\_n2\\_p210](http://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita_v17_n2_p210)) Acesso em: 28 agosto 2016.

TRIMBLE. **SketchUp: 3D for Everyone**, 2013. Disponível em: <[www.sketchup.com](http://www.sketchup.com)>. Acesso em: 09 Março 2015.

TULLIS, T. S.; STETSON, J. N. **A Comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability**. Usability Professionals Association (UPA) 2004 Conference. Minneapolis: UPA. 2004.

WALLACH, D.; SCHOLZ, S. C. User-Centered Design: Why and How to Put Users First in Software Development. In: MAEDCHE, A.; BOTZENHARDT, A.; NEER, L. **Software for People: Fundamentals, Trends and Best Practices**. 1. ed. eBook: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. Cap. 2, p. 11-38.

WEXLER, S.; FOSTER, B. **The Official Microsoft Html Help Authoring Kit: understanding, creating and migrating to Microsoft Html Help**. Redmond: Microsoft Press, 1998.

WOOD, L. E. **User Interface Design:** Bridging the Gap from User Requirements to Design. 1st. ed. Provo: CRC Press, 1997.

## 7 APÊNDICES

### APÊNDICE 1 - TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE OBRA AUTORAL.

Eu, abaixo assinado, **Sérgio Leandro dos Santos**, RG nº 7040563467, CPF nº 630.732.180-68, residente à Rua São Manoel, nº 2040, bairro Santana, na cidade de Porto Alegre, reconheço, sob as penas da Lei nº 9.610/98, ser o titular dos direitos morais e patrimoniais de autor da Tese de Doutorado intitulada “**Interface Interativa Bidimensional em um Software para o Ensino de Geometria Descritiva**”, do programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PGDESIGN/UFRGS).

Através deste instrumento, autorizo aos Professores membros do **Grupo de pesquisa VID – Virtual Design**, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a coordenação do Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira, a utilização irrestrita e ilimitada das figuras, quadros, tabelas e qualquer outro elemento de minha autoria constante na referida Tese.

Por esta ser a expressão da minha vontade, declaro que autorizo o uso acima descrito por prazo indeterminado, sem que nada haja a ser reclamado a título de direitos autorais e conexos.

Porto Alegre, 20 de Novembro de 2016.

---

Sérgio Leandro dos Santos

## APÊNDICE 2 - PROTOCOLO INSPEÇÃO DE USABILIDADE

**Avaliador:** \_\_\_\_\_

**Data e hora:** \_\_\_\_\_

Esta inspeção de Usabilidade será conduzida em duas etapas: a 1ª parte é chamada de Percurso Cognitivo Simplificado – onde o avaliador executa tarefas seguindo um roteiro estabelecido e para cada passo responde a duas perguntas- e a 2ª parte é chamada de Avaliação Heurística – onde o avaliador refaz as tarefas e/ou explora livremente a interface, mas desta vez observando um conjunto de princípios de usabilidade e reportando os erros encontrados.

### **1ª Parte) Percurso Cognitivo Simplificado (Spencer, 2000)**

#### Descrição da avaliação

---

O Percurso Cognitivo avalia a facilidade de aprendizado por exploração de um sistema. As tarefas dos usuários são decompostas em ações, sequência de passos necessários para realizar a tarefa. **O avaliador analisa cada ação tentando se colocar no lugar do usuário (professores e estudantes de GD)**, questionando se é possível realizar as ações e se elas conduzem ao cumprimento da tarefa com sucesso, anotando as características de usabilidade problemáticas. **Caso ocorra problema na realização das ações, o avaliador levanta hipóteses sobre o problema e propõem soluções** (Rocha & Baranauskas, 2003; Silva & Barbosa, 2010;)

- *Você executará duas tarefas distintas no HyperCAL<sup>3D</sup> e para cada uma delas seguirá uma sequência de passos. As ações podem ser executadas tanto no ambiente 3D quanto no ambiente 2D, preferencialmente em ambos.*
- ***Antes de iniciar as tarefas abra o arquivo “aval.h3d”.***

## Tarefa 1 – Fazer uma Mudança do Sistema de referência (MSR) para obter a VG de uma face de Topo.



1. **Clicar na Ferramenta “Mudança de Sistema de referência”.**
  - A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
  
  - B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*
  
2. **Clicar em um dos planos de projeção no ambiente 3D.**
  - A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
  
  - B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*
  
3. **Clicar na Projeção acumulada do plano de topo.**
  - A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
  
  - B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*
  
4. **Clicar na posição desejada do novo plano.**
  - A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
  
  - B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e alcançou seu objetivo?*

## Tarefa 2 – Selecionar um plano e uma aresta para o estudo da posição relativa entre eles.



1. **Clicar na Ferramenta “Isola Arestas Selecionadas”.**
  - A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
  
  - B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*

**2. Clicar na aresta J-B.**

- A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
- B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*

**3. Clicar na Ferramenta “Isola Faces Seleccionadas”.**



- A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
- B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*

**4. Clicar na face de Topo.**

- A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
- B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e está progredindo em direção ao seu objetivo?*

**5. Clicar com o botão direito do Mouse.**

- A. *O usuário sabe o que deve ser feito neste passo?*
- B. *Se o usuário fizer a coisa certa, ele saberá que acertou e alcançou seu objetivo?*

## 2ª Parte) Avaliação Heurística do Ambiente HyperCAL<sup>3D</sup>

### Descrição da avaliação

---

Avaliação heurística é um método de avaliação de usabilidade onde um avaliador utiliza uma interface de um software procurando problemas de usabilidade com base em um conjunto de princípios ou heurísticas (Nielsen e Molich, 1990; Nielsen, 1994;),. Este método de avaliação é **baseado no julgamento do avaliador**.

#### **1. Leia e analise as dez heurísticas abaixo.**

Conjunto de 10 heurísticas de Nielsen (1994)

##### **1. Visibilidade do status do sistema:**

O sistema deve sempre manter os usuários informados sobre o que está acontecendo

através de feedback apropriado, em um tempo razoável.

## **2. Compatibilidade entre sistema e mundo real:**

O sistema deve utilizar a linguagem do usuário, com palavras, frases e conceitos familiares para ele, ao invés de termos específicos de sistemas. Seguir convenções do mundo real, fazendo com que a informação apareça em uma ordem lógica e natural.

## **3. Controle e liberdade para o usuário:**

Estão relacionados à situação em que os usuários freqüentemente escolhem as funções do sistema por engano e então necessitam de "uma saída de emergência" claramente definida para sair do estado não desejado sem ter que percorrer um longo diálogo, ou seja, é necessário suporte a *undo* e *redo*.

## **4. Consistência e padrões:**

Referem-se ao fato de que os usuários não deveriam ter acesso a diferentes situações, palavras ou ações representando a mesma coisa. A interface deve ter convenções não-ambíguas.

## **5. Prevenção de erros:**

Os erros são as principais fontes de frustração, ineficiência e ineficácia durante a utilização do sistema.

## **6. Reconhecimento em lugar de lembrança:**

Tornar objetos, ações, opções visíveis e coerentes. O usuário não deve ter que lembrar informações de uma parte do diálogo para outra. Instruções para o uso do sistema devem estar visíveis ou facilmente acessíveis.

## **7. Flexibilidade e eficiência de uso:**

A ineficiência nas tarefas pode reduzir a eficácia do usuário e causar-lhes frustração. O sistema deve ser adequado tanto para usuários inexperientes quanto para usuários experientes.

## **8. Projeto minimalista e estético:**

Os diálogos não devem conter informações irrelevantes ou raramente necessárias. Cada unidade extra de informação em um diálogo compete com unidades relevantes e diminui sua visibilidade relativa.

## **9. Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar erros:**

Mensagens de erro devem ser expressas em linguagem natural (sem códigos), indicando precisamente o erro e sugerindo uma solução.

## 10. Ajuda e documentação:

Mesmo que seja melhor que o sistema possa ser usado sem documentação, pode ser necessário fornecer ajuda e documentação. Tais informações devem ser fáceis de encontrar, ser centradas na tarefa do usuário, listar passos concretos a serem seguidos e não ser muito grandes. A ajuda deve estar facilmente acessível e on-line.

**2. A seguir, utilize o ambiente HyperCAL<sup>3D</sup>, refazendo as tarefas sugeridas ou explorando a interface livremente, desta vez procurando possíveis violações destas heurísticas.**

Quando um problema qualquer for detectado, classifique-o em uma das dez heurísticas de Nielsen, anotando o problema na tabela correspondente (Tabela 2) e atribuindo o **grau de severidade** (0 até 4) para este problema (dado pela tabela 1) e recomece novamente até não encontrar mais problemas de usabilidade.

Tabela 1 - Grau de severidade dos problemas de usabilidade

7.1.1.1 GRAU DE SEVERID ADE	Tipo	Descrição
0	Sem importância	Não afeta a operação da interface
1	Cosmético	Não há necessidade imediata de solução
2	Simples	Problema de baixa prioridade ( <u>pode</u> ser reparado)
3	Grave	Problema de alta prioridade ( <u>deve</u> ser reparado)
4	Catastrófico	Muito grave, deve ser reparado de qualquer forma.

Na tabela 2 abaixo, o avaliador encontra os pontos de verificação e espaço livre para descrever os problemas de usabilidade detectados e a classificação do grau de severidade. **Se necessário acrescente novas linhas na tabela** (botão da direita/inserir/inserir linhas abaixo).

Tabela 2 - Heurísticas de Nielsen - Sessão de avaliação

1. Visibilidade do <i>status</i> do sistema	
<p><b>Verificação:</b></p> <p>Os usuários são mantidos informados sobre o progresso do sistema com apropriado <i>feedback</i> em um tempo razoável?</p>	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
2. Compatibilidade entre o sistema e o mundo real	
<p><b>Verificação:</b></p> <p>O sistema utiliza conceitos e linguagem familiar com o usuário em vez de termos orientados ao sistema?</p> <p>O sistema utiliza convenções do mundo real, exibindo informações com uma ordem lógica e natural?</p>	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3

	( ) Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	( ) Sem importância - 0 ( ) Cosmético - 1 ( ) Simples - 2 ( ) Grave - 3 ( ) Catastrófico - 4
<b>3. Liberdade e controle do usuário</b>	
<b>Verificação:</b> Os usuários podem fazer o que querem quando querem?	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	( ) Sem importância - 0 ( ) Cosmético - 1 ( ) Simples - 2 ( ) Grave - 3 ( ) Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	( ) Sem importância - 0 ( ) Cosmético - 1 ( ) Simples - 2 ( ) Grave - 3 ( ) Catastrófico - 4
<b>4. Consistência e padrões</b>	
<b>Verificação:</b> O projeto de elementos como objetos e ações tem o mesmo significado ou efeito em diferentes situações?	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	( ) Sem importância - 0 ( ) Cosmético - 1 ( ) Simples - 2

	<input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>5. Prevenção contra erros</b>	
<b>Verificação:</b> Os usuários podem cometer erros dos quais bons projetos poderiam prevenir?	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>6. Reconhecimento em lugar de lembrança</b>	
<b>Verificação:</b> Os elementos de projeto como objetos, ações e opções são possíveis? O usuário é forçado a relembrar informações de uma parte do sistema para outra?	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0

	<input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>7. Flexibilidade e eficiência de uso</b>	
<b>Verificação:</b> As tarefas de usuário são eficientes e podem se adaptar ao gosto do usuário em suas ações mais frequentes ou ele utiliza atalhos?	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>8. Projeto minimalista e estético</b>	
<b>Verificação:</b> Os diálogos contém informações irrelevantes ou	Grau de severidade

raramente necessárias?	
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>9. Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros</b>	
<b>Verificação:</b>  As mensagens de erro são expressas em linguagem simples (sem códigos) descrevendo exatamente o problema e sugerindo uma solução?	Grau de severidade
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>Problema:</b>	<input type="checkbox"/> Sem importância - 0 <input type="checkbox"/> Cosmético - 1 <input type="checkbox"/> Simples - 2 <input type="checkbox"/> Grave - 3 <input type="checkbox"/> Catastrófico - 4
<b>10. Ajuda e documentação</b>	

<p><b>Verificação:</b></p> <p>São fornecidas apropriadas informações de ajuda, e estas informações são fáceis de procurar e de focalizar nas tarefas do usuário?</p>	<p>Grau de severidade</p>
<p><b>Problema:</b></p>	<p><input type="checkbox"/> Sem importância - 0</p> <p><input type="checkbox"/> Cosmético - 1</p> <p><input type="checkbox"/> Simples - 2</p> <p><input type="checkbox"/> Grave - 3</p> <p><input type="checkbox"/> Catastrófico - 4</p>
<p><b>Problema:</b></p>	<p><input type="checkbox"/> Sem importância - 0</p> <p><input type="checkbox"/> Cosmético - 1</p> <p><input type="checkbox"/> Simples - 2</p> <p><input type="checkbox"/> Grave - 3</p> <p><input type="checkbox"/> Catastrófico - 4</p>

### Referências

ROCHA, Heloísa; BARANAUSKAS, Cecília. (2003) “Design e avaliação de interfaces humano-computador”. Campinas, SP: NIED/UNICAMP.

SILVA, Bruno Santana da; BARBOSA, Simone Diniz Junqueira. Interação Humano-Computador: Projetando a Experiência Perfeita. Rio de Janeiro: Campus, 2010.

NIELSEN, J., and MOLICH, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces, *Proc. ACM CHI'90 Conf.* (Seattle, WA, 1-5 April), 249-256.

NIELSEN, J. (1994). Heuristic evaluation. In Nielsen, J., and Mack, R.L. (Eds.), *Usability Inspection Methods*, John Wiley & Sons, New York, NY.

### APÊNDICE 3 - RESULTADOS INSPEÇÃO DE USABILIDADE

Percorso Cognitivo	Avaliação Heurística		
	Na mudança de sistema de referência não é direto o entendimento do que deve ser feito. Ao invés de "selecione uma vista de referência", talvez "selecione uma face de referência"	Simple - 2	Avaliador 1
<i>O único feedback é através da barra de status. Há outra forma de chamar a atenção do usuário (calça de texto junto ao cursor, cursor diferenciado, alterar a cor da barra de status...)?</i>	"Não há opções de desfazer e refazer"	Catastrófico - 4	Avaliador 2
<i>A barra de status não indica a ferramenta que ativa (MSR). Poderia informar que a ferramenta está ativa além das ações que são esperadas do usuário (Mudança de Sistema de Referência: Selecione um plano...).</i>	Os controles de exibição (Exibir projeções, Exibir arestas, etc...) não funcionam no 1º clique.	Grave - 3	
<i>O nome da ferramenta poderia ser "Novo sistema de referência".</i>	A seguinte mensagem é apresentada ao inserir um ponto em um arquivo novo. O mesmo ocorre na criação de faces.	Catastrófico - 4	
	A exportação para SVG mostra o seguinte erro:	Grave - 3	
	Ao trocar para a viewport da folha ou visualizar as margens de impressão, ocorre o seguinte erro:	Simple - 2	
	As ferramentas de MSR (Mudança e Ajuste) não podem ser canceladas durante o processo (depois do 1º clique). Se o usuário clicar no plano errado, tem que encerrar o comando e apagar o plano de projeção criado.	Grave - 3	
	O usuário não é informado que o processo de apagar pontos ou faces é irreversível.	Catastrófico - 4	
	O Tab-order nos campos dos formulários nas abas "Câmera", "Interseção" e "Folha" está fora de ordem.	Simple - 2	
	Os elementos da interface são fixos (barra de ferramentas, abas de controle, viewports).	Cosmética - 1	
	Os diálogos de erro apresentados não sugerem solução.	Grave - 3	
	O programa não usa o atalho F1, que é padrão em programas Windows.	Simple - 2	
	A ajuda não é contextual. O usuário não é conduzido à seção relacionada à ferramenta que está sendo utilizada no momento da solicitação de ajuda.	Simple - 2	
<i>Difícilmente o usuário intuirá o que deve ser feito sem uma explicação prévia. Nesse caso, estamos assumindo que o usuário já deve ter conhecimento prévio de GD.</i>	Falta tutorial prévio. Falta mais visibilidade ao status (barra na base).	Simple - 2	
<i>A. Embora cada comando possua uma explicação na barra inferior, é difícil ao usuário sem uma explicação prévia intuir isso. Seria o caso de enfatizar o uso dos botões (algo como acontece nos aplicativos autodesk)</i>	Falta a possibilidade de deslizar ações. Falta a possibilidade de desselecionar individualmente	Catastrófico - 4	
<i>Aquí houve um erro e não houve como voltar ao estado anterior. Falta um (Undo ou Control +z)</i>			
<i>Visualmente ele intui, mas falta a possibilidade de "desselecionar" individualmente as arestas. O botão desseleciona tudo.</i>			
<i>Uma vez que não se "desclique" a opção anterior (arestas) a aresta J-B ficou ativa, o que pode complicar a visualização em relação às faces. Sugiro mudar a cor entre arestas e faces.</i>			

## APÊNDICE 4 - PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM ESPECIALISTA

Entrevistado:

Data: \_\_\_\_\_ Local: \_\_\_\_\_ Duração: \_\_\_\_\_

1. Qual a sua formação e principal área de atuação?
2. Há quanto tempo trabalha com Geometria Descritiva?
3. Em sua opinião, os alunos de Geometria Descritiva têm dificuldades em relacionar os desenhos feitos por eles com os objetos e processos que eles representam em 3 dimensões? Por quê?
4. Você utiliza o HyperCAL<sup>3D</sup> para preparação de exercícios ou mesmo durante as aulas? Como?

### **Apresentação da nova interface.**

5. Você acha que simulação interativa (em tempo real) dos processos gráficos bidimensionais da GD em um software pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de Geometria Descritiva? Como?
6. Considerando o trabalho gráfico realizado pelos alunos no papel, quais funcionalidades seriam mais importantes para a simulação dos processos bidimensionais?
7. Na sua opinião, a nova interface pode contribuir no aprendizado das regras necessárias aos processos gráficos utilizados em GD, por exemplo:
  - Linhas de chamada sempre perpendiculares à Linha de terra?
  - Relação entre medidas das linhas de chamadas em uma mudança de plano?
  - Perpendicularismo ou paralelismo da linha de terra com relação uma projeção em VG?
8. A relação visual simultânea entre os ambientes 3D e Épura é importante para a compreensão espacial? Porque?
9. Em sua opinião, deve-se realizar alguma modificação, melhoria ou acréscimo de funcionalidade no HyperCAL<sup>3D</sup>? ...Considerações finais:

## APÊNDICE 5 – QUESTIONÁRIO COM ESPECIALISTA

Questionário de **Avaliação do ambiente de Épura Interativa** do software HyperCAL<sup>3D</sup> com especialistas. Para responder, utilize a escala de concordância em relação a afirmação descrita. Demais questões, apresentam instruções correspondentes.

1. A Épura Interativa contribui para o estudo de Geometria Descritiva.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

2. A utilização da Épura Interativa contribui para o entendimento dos processos gráficos descritivos.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

3. A Épura Interativa promove o desenvolvimento da habilidade de compreensão espacial.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

4. É fácil e intuitivo utilizar a Épura Interativa.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

5. Gostaria de utilizar a Épura interativa desde o início da disciplina.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

6. Gostaria de utilizar a Épura interativa durante o período de aula.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

7. Gostaria de utilizar a Épura interativa fora do período de aula.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

8. Você acha que utilizar recursos tecnológicos no processo de ensino/aprendizagem da GD pode ser um fator de motivação?.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

9. Gostaria de utilizar a Épura interativa para a resolução de exercícios.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

10. Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático no processo de ensino/aprendizagem da GD?

Aplicabilidade mínima [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Aplicabilidade máxima

Comentários Opcionais:

11. A utilização da Épura interativa pode melhorar o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva.

Discordo totalmente [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Concordo totalmente

Comentários Opcionais:

12. Em sua opinião, a Épura interativa é eficaz no auxílio da redução da carga de trabalho (estudante e/ou professor)?

Eficácia mínima [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] Eficácia máxima

Comentários Opcionais:

13. Quais aspectos contribuem para a eficácia do recurso didático?

- Relação com o desenho
- Resposta em tempo real
- Interatividade
- Relação das cores nas linhas de chamada
- Feedback de texto próximo ao cursor
- Outro: \_\_\_\_\_

Comentários Opcionais:

14. Em quais plataformas você gostaria de utilizar o recurso? Marque todas as possibilidades que você utilizaria.

- Windows                       MacOS                       Linux
- Android                       iOS                       Web Browser
- Outro: \_\_\_\_\_

Comentários Opcionais:

15. Qual plataforma seria sua preferência de uso?

- Windows                       MacOS                       Linux
- Android                       iOS                       Web Browser
- Outro: \_\_\_\_\_

Comentários Opcionais:

16. Sugestões:



## APÊNDICE 6 – *SYSTEM USABILITY SCALE (S.U.S.)*

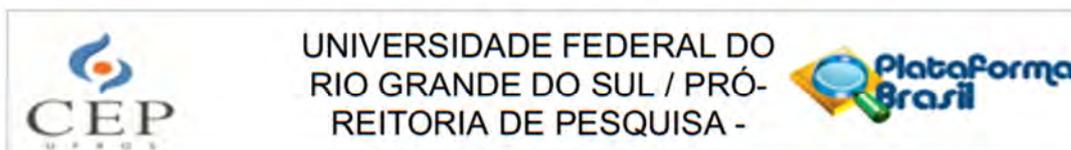
**Instruções:** Para cada afirmação marque uma única opção que melhor descreva sua opinião sobre o sistema. Se você não tiver nenhuma opinião sobre alguma afirmação apenas marque a coluna do meio (3).

		Discordo Totalmente			Concordo Plenamente	
		1	2	3	4	5
<b>1</b>	Eu acho que gostaria de utilizar este sistema frequentemente.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>2</b>	Eu achei o sistema desnecessariamente complexo.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>3</b>	Eu achei o sistema fácil para usar.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>4</b>	Eu acho que precisaria do apoio de um suporte técnico para ser possível usar este sistema.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>5</b>	Eu achei que as diversas funções neste sistema foram bem integradas.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>6</b>	Eu achei que houve muita inconsistência neste sistema.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>7</b>	Eu imaginaria que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema rapidamente.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>8</b>	Eu achei o sistema muito pesado para uso.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>9</b>	Eu me senti muito confiante usando esse sistema.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]
<b>10</b>	Eu precisei aprender uma série de coisas antes que eu pudesse continuar a utilizar esse sistema.	1 [ ]	2 [ ]	3 [ ]	4 [ ]	5 [ ]

Fique a vontade para fazer os comentários que achar necessário:

## 8 ANEXOS

### ANEXO 1 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA DA UFRGS



#### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

##### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** INTERFACE INTERATIVA BIDIMENSIONAL EM UM SOFTWARE PARA O ENSINO DE GEOMETRIA DESCRITIVA

**Pesquisador:** Sérgio Leandro dos Santos

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 56552316.8.0000.5347

**Instituição Proponente:** Faculdade de Arquitetura UFRGS

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

##### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.635.735

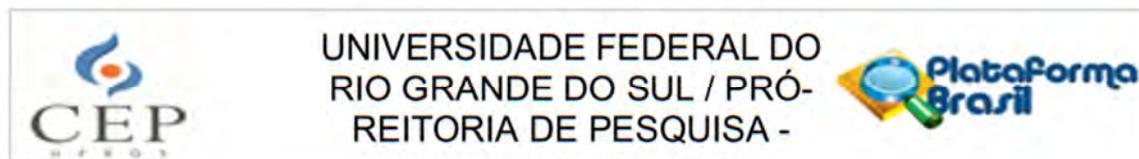
##### Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design sob orientação do Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira. Através do Design de Interação, o doutorando propõe projetar uma interface para um software de ensino de Geometria Descritiva que relacione as operações nos ambientes 2D e 3D de maneira biunívoca e interativa, compatível com o modo de trabalho analógico da Geometria Descritiva e suas operações realizadas pelos alunos no papel.

Considerando que a intervenção proposta neste trabalho será feita em um software que já tem uma interatividade no ambiente tridimensional, é necessário que se investigue a usabilidade desta interface e suas decisões de projeto. Esta análise deve levar em conta as atividades que serão realizadas através da interface, os objetivos dos usuários, bem como a consistência da interação em todos ambientes do software (tridimensional e bidimensional).

A partir desta investigação, uma vez definidos quais tipos de operações serão necessárias à interação com a interface bidimensional, são analisados os estilos de interação existentes em softwares de desenho gráfico vetorial 2D e em sistemas CAD, especialmente no que se refere a estas operações em específico. Uma vez conhecida esta necessidade de interação, em termos operacionais, e como estas operações são realizadas por outros softwares gráficos, pode-se definir qual a melhor abordagem para suprir esta necessidade de interação em uma nova interface

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 1.635.735

bidimensional para um software dedicado a GD.

Depois de conhecidas as necessidades dos usuários em termos de interação, definido o estilo de interação do programa e conhecido o nível atual de usabilidade, pode-se partir para a implementação da nova interface considerando que serão realizadas as mesmas operações do ambiente 3D com uma interativa semelhante (ou melhor, dependendo dos resultados das inspeções ergonômicas prévias).

#### **Objetivo da Pesquisa:**

Objetivo Primário:

Desenvolver a interface bidimensional do software para o ensino da Geometria Descritiva HyperCAL3D de maneira a permitir a interatividade, demonstrando em tempo real as modificações feitas tanto no modelo 3D como nas suas representações 2D.

Objetivos Secundários:

- Compreender a Estrutura de dados necessária para a representação biunívoca dos objetos (3D-2D);
- Estudar os modelos existentes de interação homem-computador no contexto do desenho para identificar a que melhor se aplica à GD;
- Estudar conceitos relativos ao processo de desenvolvimento de software que se aplicam a este projeto;
- Analisar os requisitos de usabilidade pertinentes à interface.
- Estabelecer requisitos para o desenvolvimento da interface com base nas análises.
- Desenvolver a interface bidimensional voltada à interação;
- Avaliar a interface desenvolvida;
- Identificar as melhorias em relação à situação atual.

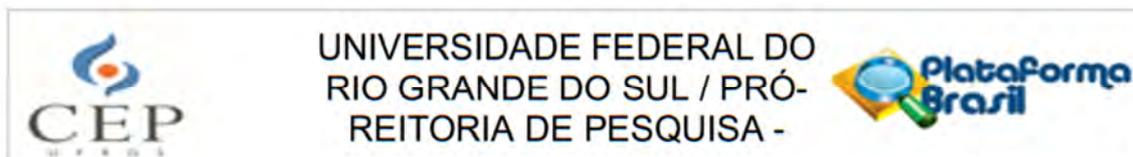
#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos:

Os participantes (professores e alunos) serão convidados a utilizarem um software gráfico de Geometria Descritiva em um computador PC. Três avaliadores (professores especialistas em design) realizarão uma inspeção de usabilidade com duração aproximada de uma hora. Alguns alunos de GD responderão a questionários com uma escala de usabilidade com uma duração aproximada de 30 minutos, e outros professores serão entrevistados e responderão a questionários, com uma duração aproximada de 30 minutos.

São apresentadas nos TCLEs as seguintes informações: não haverá custos de participação; assegura-se o sigilo acerca da identidade do participante; as informações obtidas por sua

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 1.635.735

participação servirão exclusivamente para fins de pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados, sendo armazenadas por cinco anos e, posteriormente, destruídas; a participação da pesquisa é facultativa, podendo-se retirar o consentimento ou desistir da atividade quando desejado; o participante recebe uma via do termo de consentimento assinado como garantia legal.

**Benefícios:**

Os Participantes (professores e alunos de GD) contribuem diretamente para o desenvolvimento da nova interface do software que auxilia no ensino da GD, contribuindo também para melhoria do processo de ensino/aprendizagem da disciplina, o que afeta indiretamente centenas de alunos de Arquitetura, Engenharias e Design todos os semestres.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O projeto está apresentado de forma clara, com sua estrutura e documentos devidamente constituídos. O autor cumpre os requisitos solicitados para o cumprimento das etapas da pesquisa.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

São apresentados os seguintes documentos e termos. Folha de rosto; Projeto de pesquisa; Parecer Compesq-ARQ; Inspeção de usabilidade, com cabeçalho, espaço para identificação do avaliador, data e hora, explicitando duas etapas: a primeira chamada de percurso cognitivo simplificado e a segunda de avaliação heurística; Modelo de Questionário de Avaliação com Especialistas; Protocolo de Entrevista com Especialista; Escala de Usabilidade do Sistema - SUS (System Usability Scale); Quatro modelos de TCLEs: a) para Inspeção de Usabilidade com Especialistas; b) para avaliação com usuários; c) para entrevistas com especialistas; d) para avaliação com usuários.

**Recomendações:**

Não há recomendações, visto que o autor apresenta toda a documentação necessária e solicitada no parecer anterior

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

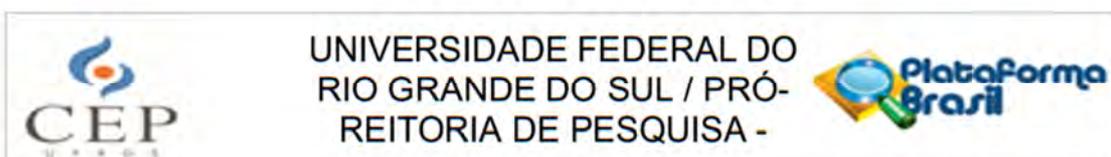
Sugere-se aprovação.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Aprovado.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 1.635.735

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_724456.pdf	20/06/2016 14:30:04		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_05_questProf.docx	20/06/2016 14:29:10	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_04_EntrevProf.docx	20/06/2016 14:28:57	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_03_06_SUS.docx	20/06/2016 14:28:46	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_01_02_InspUsab.docx	20/06/2016 14:28:34	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Outros	Parecer_20160510_082629.jpg	30/05/2016 10:16:05	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_assinada.pdf	25/05/2016 13:24:51	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Outros	03_06_SUS.docx	23/05/2016 12:37:58	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Outros	05_Questionario.docx	23/05/2016 12:37:30	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Outros	01_02_inspUsab.docx	23/05/2016 12:36:49	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Outros	04_entrevista.docx	23/05/2016 12:36:32	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Qualificacao.pdf	23/05/2016 12:33:31	Sérgio Leandro dos Santos	Aceito

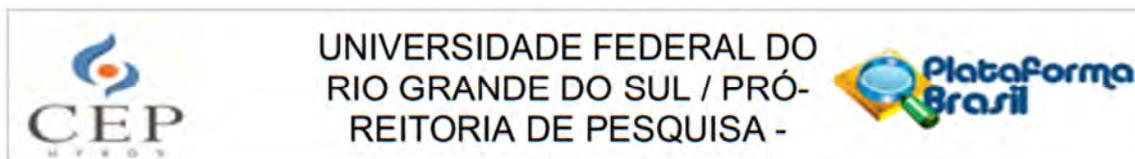
**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 1.635.735

PORTO ALEGRE, 14 de Julho de 2016

---

**Assinado por:**  
**MARIA DA GRAÇA CORSO DA MOTTA**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br

## ANEXO 2 - PLANO DE ENSINO ARQ03317 – GD IIA

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

### Faculdade de Arquitetura Departamento de Design e Expressão Gráfica

#### Dados de identificação

Disciplina: **GEOMETRIA DESCRITIVA II-A**Período Letivo: **2016/2**Período de Início de Validade : **2015/2**Professor Responsável: **FABIO GONCALVES TEIXEIRA**Sigla: **ARQ03317**

Créditos: 2

Carga Horária: 30h

#### Súmula

Fundamentos da expressão gráfica. Métodos atuais de representação. Representação da forma e posição. Deslocamentos. Vistas auxiliares. Seções.

#### Currículos

Currículos	Etapa Aconselhada	Pré-Requisitos	Natureza
ENGENHARIA DE MINAS	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA ELÉTRICA	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA METALÚRGICA	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA MECÂNICA	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA - NOTURNO	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA QUÍMICA	3	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA CIVIL	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA AMBIENTAL	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA DE MATERIAIS	2	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória
ENGENHARIA DE ENERGIA	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória

#### Objetivos

1. Capacitar os alunos nas técnicas de representação e de solução de problemas geométricos de objetos tridimensionais através de conceitos de dupla projeção;
2. Utilizar os conceitos de Geometria Descritiva como ferramenta para o projeto geométrico de objetos tridimensionais.
3. Desenvolver o raciocínio lógico tridimensional e a visão espacial;

#### Conteúdo Programático

Semana	Título	Conteúdo
1	Sistema Mongeano	Sistemas Projetivos; Sistema Mongeano [Dupla Projeção, Sistema de Referência]: características, nomenclatura, coordenadas, planificação do sistema (épura), marcação de coordenadas;
2 a 3	Representação de sólidos facetados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de projeções de faces e arestas: projeções acumuladas, reduzidas e em verdadeira grandeza, pertinência. HyperCAL 3D e HyperCALOnline.</li> <li>• Posições relativas de faces e arestas;</li> </ul>

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posições particulares de arestas e faces em relação ao Sistema de Projeção Mongeano: Os sete tipos de faces e sete tipos de arestas</li> </ul>
4 a 5	Mudança de Sistema de Referência (MSR) Primárias	Princípios da MSR; Aplicações da MSR para: obter VG de arestas oblíquas, obter VG de faces acumuladas de sólidos, acumular arestas e acumular faces.
6 a 7	Paralelismo e Perpendicularismo	Perpendicularismo entre Retas, entre retas e planos e entre planos; Paralelismo e distâncias; Aplicações em objetos sólidos com o uso de MSR.
7 a 10	Mudança de Sistema de Referência (MSR) Múltiplas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Princípios das MSR múltiplas; aplicações de MSR múltiplas para: obter VG das faces de um sólido. Planificação do sólido.</li> <li>• Aplicações de MSR múltiplas para: obter ângulo entre faces, obter distância entre arestas e entre arestas e faces.</li> <li>• Aplicações de MSR múltiplas para: obter vistas principais de um sólido.</li> <li>• Aplicações de MSR múltiplas para: obter perspectivas axonométricas de sólidos a partir de vetor de visualização ou ponto de vista.</li> </ul>
11 a 15	Modelagem de Sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interseção de reta e plano com sólido: princípios, aplicações.</li> <li>• Modelagem de sólidos por cortes e extrusão: princípios e aplicações. Utilização do conceito de distância no processo de modelagem tridimensional.</li> <li>• Aplicações.</li> </ul>
16 a 17	Método da Rotação	Uso do método da rotação para a determinação de VG de retas e planos.
18	Avaliações Finais	Prova de avaliação final
19	Recuperação	Provas de Recuperação e Exame

### Metodologia

A metodologia utiliza objetos sólidos como suporte das entidades geométricas abstratas. Desta forma, os pontos são analisados como vértices, as retas são vistas como arestas e planos são entendidos como faces de um objeto sólido facetado. Esta abordagem permite utilizar a experiência concreta prévia para promover a aprendizagem de processos e conceitos abstratos próprios da geometria descritiva. Assim, todos os conceitos e ferramentas da geometria descritiva são estudados de forma contextualizada no âmbito da análise e do projeto geométrico de objetos sólidos.

### Carga Horária

Teórica: 15 horas  
Prática: 15 horas

### Experiências de Aprendizagem

Prática de solução de exercícios que envolvam análise e projetos de objetos sólidos facetados a partir de representações em épura, utilizando as técnicas e ferramentas da geometria descritiva, através do uso dos instrumentos de desenho e da abordagem da aprendizagem baseada em projetos. Estas atividades são realizadas tanto em classe como extraclasse seguindo um roteiro padrão elaborado pelos professores da disciplina. Estas atividades são experiências de aprendizagem e também constituem parte do processo de avaliação dos alunos na disciplina. Durante todo o curso, é utilizado um software (HyperCAL3D), desenvolvido especialmente para a disciplina, onde os alunos podem visualizar os objetos de estudo e, ainda, vivenciar de forma virtual os conceitos de Geometria Descritiva.

Avaliações: 2 provas e trabalhos desenvolvidos ao longo da disciplina em sala de aula.

### Critérios de Avaliação

A avaliação é feita por duas provas P1 e P2 (uma para cada etapa da disciplina) e por trabalhos realizados em sala de aula (T1 e T2) e monitorados pelo professor durante a sua realização, que correspondem à 30% da nota de cada etapa.

A nota de cada etapa é calculada da seguinte forma:

$$N1 = P1 \times 0,7 + T1 \times 0,3$$

$$N2 = P2 \times 0,7 + T2 \times 0,3$$

A nota final é calculada da seguinte forma:

$$NF = (N1 + N2) / 2 \geq 6,0$$

**Cr terios de avalia o:**

Precis o do tra ado com instrumentos, limpeza, legibilidade, aplica o dos m todos descritivos para a solu o dos problemas propostos, an lise de visibilidade, assiduidade e participa o em aula.

**Condi es de Aprova o:**

Freq ncia - freq ncia m nima   de 75%. Os professores far o chamadas ao final de cada aula. N o ser  permitida em sala de aula a presen a de alunos que n o estejam regularmente matriculados na turma. Qualquer problema quanto   situa o da matricula deve ser relatado aos  rg os competentes: COMGRAD e DECORDI.

M dia - MF maior ou igual a 6 e N1 e N2 maior ou igual a 5

**Conceito Final:**

A m dia final ser  convertida em conceitos da seguinte forma:

**Conceito Nota Final**

A 9,0 a 10

B 7,5 a 8,9

C 6,0 a 7,4

D 0,0 a 5,9

FF Freq ncia < 75 %

**Atividades de Recupera o Previstas**

Recupera o - Se apenas uma das duas notas (N1 ou N2) for inferior   5,0 (mesmo com  $NF \geq 6,0$ ), o aluno deve fazer uma prova de recupera o desta  rea.

A nova nota da  rea, considerando que a nota da recupera o ter  peso 3 na composi o da nova nota, ser  assim recalculada:

$$\text{Nova N1} = (N1 + 3 \cdot \text{Rec1}) / 4 \geq 5,0$$

$$\text{Nova N2} = (N2 + 3 \cdot \text{Rec2}) / 4 \geq 5,0$$

Importante: n o ser  poss vel fazer prova de recupera o para melhorar conceito, igual ou superior a C.

Exame - Quando as duas notas (N1 e N2) forem inferiores   5,0 o aluno dever  fazer um exame versando sobre toda a mat ria do semestre. A nota do exame (NE) ter  peso 2 na composi o da m dia final (MF), a qual ser  calculada da seguinte forma:

$$MF = (NF + 2 \cdot NE) / 3 \geq 6,0$$

**Prazo para Divulga o dos Resultados das Avalia es**

At  2 semanas ap s a avalia o.

**Bibliografia****B sica Essencial**

Borges, Gladys Cabral de Mello; Barreto, Deli Garcia Olle; Martins, Enio Zago. No es de geometria descritiva : teoria e exerc cios. Porto Alegre: Sagra-Dc Luzzatto, 1998. ISBN 8572370072.

**B sica**

Di Pietro, Donato. Geometria descriptiva. Buenos Aires: Alsina, 1973.

Teixeira FG e Silva RP. Apostila Geometria Descritiva: Design-Based Learning. Departamento de Express o Gr fica - UFRGS. ufrgs, 2012.

**Complementar**

Kathryn Ann Holliday-Darr. Applied Descriptive Geometry. Delmar Cengage Learning, 1998. ISBN 0827379129.

Machado , A.. Geometria Descritiva. S o Paulo: Mc Graw Hill, 1983.

MINOR CLYDE HAWK. Schaum's Outline Series, Theory and Problems of Descriptive Geometry. Cornell: McGraw-Hill, 1962. ISBN B0007DO3X0.

Montenegro, G.. Geometria Descritiva. S o Paulo: Blucher, 1991.

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

Príncipe Júnior, A. R.. Geometria Descritiva. São Paulo: Ed. Nobel, 1989. ISBN 85-213-0161-8.

Rodrigues, A.. Geometria Descritiva V.1. Livros Técnicos Ed. SA, 1993.

**Outras Referências**

Não existem outras referências para este plano de ensino.

**Observações**

Está prevista a participação de alunos de Mestrado e Doutorado através de estágio docência.

## ANEXO 3 - PLANO DE ENSINO ARQ03320 – GD III

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

### Faculdade de Arquitetura Departamento de Design e Expressão Gráfica

#### Dados de identificação

Disciplina: **GEOMETRIA DESCRITIVA III**Período Letivo: **2016/2**Período de Início de Validade : **2016/1**Professor Responsável: **ANELISE TODESCHINI HOFFMANN**Sigla: **ARQ03320**

Créditos: 2

Carga Horária: 30h

CH Autônoma: 5h CH Coletiva: 25h CH Individual: 0h

#### Súmula

Geração geométrica de forma: linhas, sólidos e superfícies. Interseções de superfícies. Superfícies topográficas.

#### Currículos

Currículos	Etapa Aconselhada	Pré-Requisitos	Natureza
ENGENHARIA CIVIL	2	(ARQ03317) GEOMETRIA DESCRITIVA II-A	Obrigatória
ENGENHARIA DE MINAS	2	(ARQ03317) GEOMETRIA DESCRITIVA II-A	Obrigatória
ENGENHARIA MECÂNICA	2	(ARQ03317) GEOMETRIA DESCRITIVA II-A	Obrigatória
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	3	(ARQ03317) GEOMETRIA DESCRITIVA II-A	Obrigatória

#### Objetivos

##### OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver a capacidade de representar, visualizar e resolver graficamente problemas envolvendo superfícies.

##### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver a capacidade de identificar os elementos tridimensionais representados em épura.
- Entender a posição de observação ao projetar em vistas ortográficas bem como as porções visíveis e invisíveis das superfícies.
- Tornar o aluno apto a resolver problemas envolvendo superfícies.

#### Conteúdo Programático

Semana	Título	Conteúdo
1 a 7	Superfícies Retilíneas Desenvolvíveis	Tipos (prisma, pirâmide, cone e cilindro), representação em épura, visibilidade, interseção com retas e planos. Método descritivo: Rotação. Planificação de superfícies retilíneas desenvolvíveis.
8	Superfícies de concordância	representação em épura, visibilidade, e planificação. Avaliação 1.
9 a 11	Superfícies Reversas	Classificação (parabolóide hiperbólico, conóide e cilindróide), representação em épura, visibilidade, interseções com retas e planos.
12 a 14	Superfícies de Revolução	Classificação (cone de revolução, cilindro de revolução, esfera, elipsóide, toro, hiperbolóide), representação em épura, visibilidade, interseção com retas e planos.
15 a 18	Superfícies Helicoidais	Hélices, representação em épura. Classificação dos helicoides (axiais e de núcleo; de plano e de cone diretor), representação em épura e visibilidade. Avaliação 2 e Recuperações.

### Metodologia

Aulas teórico-práticas: exploração dos conteúdos do programa da disciplina através de exposição teórica e aplicações dos mesmos em exercícios propostos, desenvolvidas em atividades coletivas compreendendo 25 horas da carga horária da disciplina (15 semanas).

Atividades autônomas: trabalhos extra-classe desenvolvidos individualmente para aplicação dos conceitos e consolidação da aprendizagem, compreendendo 5 horas da carga horária da disciplina. Estas atividades são propostas pelo docente e avaliadas conforme critérios de avaliação constante no plano de ensino.

Aulas teórico-práticas compostas de exposição teórica, explorando conceitos e aplicação destes em trabalhos práticos.

O programa é subdividido em duas áreas. A primeira área compreende o estudo das Superfícies Retilíneas Desenvolvíveis (pirâmides, cones, prismas e cilindros), bem como interseções das mesmas com planos e com retas e planificação. Na segunda área são estudadas as Superfícies Reversas, as Superfícies de Revolução e as Superfícies Helicoidais, bem como interseções das mesmas com planos e com retas.

### Carga Horária

Teórica: 15 horas

Prática: 15 horas

### Experiências de Aprendizagem

Prática de solução de exercícios que envolvam as diferentes superfícies estudadas, representadas em épura, pelo método mongeano, através do uso dos instrumentos de desenho - lista de exercícios proposta.

Avaliações - 2 provas.

### Crítérios de Avaliação

A avaliação será realizada através de duas provas (P1 e P2 - uma em cada área da disciplina) e dois trabalhos extra-classe (atividades autônomas) relacionados aos conteúdos de cada área, e pela participação em aula através da realização dos exercícios propostos.

A nota de cada área (N1 e N2) é composta da seguinte forma: 70% Prova e 30% trabalho extra-classe e participação e realização de exercícios em aula. A nota final é calculada da seguinte forma:

$$NF = (N1 + N2)/2$$

Crítérios de avaliação:

Precisão do traçado com instrumentos, limpeza, legibilidade, geração e representação das superfícies, análise de visibilidade e aplicação dos métodos descritivos para a solução dos problemas propostos, assiduidade e participação em aula.

Condições de Aprovação:

Frequência - frequência mínima é de 75%. Os professores farão chamadas ao final de cada aula. Não será permitida em sala de aula a presença de alunos que não estejam regularmente matriculados na turma. Qualquer problema quanto à situação da matrícula deve ser relatado aos órgãos competentes: COMGRAD e DECORDI.

Média - MF maior ou igual a 6,0 e N1 e N2 maior ou igual a 5,0

Conceito Final:

A média final será convertida em conceitos da seguinte forma:

Conceito Nota Final

A 9,0 a 10

B 7,5 a 8,9

C 6,0 a 7,4

D 0,0 a 5,9

FF Frequência < 75 %

### Atividades de Recuperação Previstas

Recuperação - Se apenas uma das duas notas (N1 ou N2) for inferior à 5,0 (mesmo com  $NF >= 6,0$ ), o aluno deve fazer uma prova de recuperação desta área.

A nova nota da área, considerando que a nota da recuperação terá peso 3 na composição da nova nota, será assim recalculada:

$$\text{Nova N1} = (N1 + 3 \cdot \text{Rec1})/4 \geq 5,0$$

$$\text{Nova N2} = (N2 + 3 \cdot \text{Rec2})/4 \geq 5,0$$

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

Importante: não será possível fazer prova de recuperação para melhorar conceito, igual ou superior a C.

Exame - Quando as duas notas (N1 e N2) forem inferiores à 5,0 o aluno deverá fazer um exame versando sobre toda a matéria do semestre. A nota do exame (NE) terá peso 2 na composição da média final (MF), a qual será calculada da seguinte forma:  
 $MF = (NF + 2 NE)/3 \geq 6,0$

### Prazo para Divulgação dos Resultados das Avaliações

O prazo para divulgação dos resultados das avaliações, considerando a média final obtida no semestre, será divulgada com 72 horas de antecedência da data e horário previsto para as atividades de recuperação.

### Bibliografia

#### Básica Essencial

Di Pietro, Donato. Geometria descritiva. Buenos Aires: Alsina, 1973.

Machado, A.. Geometria Descritiva: Teoria e Exercícios. São Paulo: Projeto, 1986.

Rodrigues, A. J.. Geometria Descritiva. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1968. ISBN 85-213-0161-8.

#### Básica

Teixeira, F.; Silva, R.; Barreto, D. G. O.; Lemes, M. T.. Geometria Descritiva - Estudo de Superfícies. Apostila Didática (em [www.gd.ufrgs.br](http://www.gd.ufrgs.br)). Porto Alegre, 1999.

Teixeira, F., Silva, R.; Silva, T. L. K.. HyperCALGD - Estudo de Superfícies - em [www.gd.ufrgs.br](http://www.gd.ufrgs.br). Porto Alegre, 1999.

#### Complementar

Sem bibliografias acrescentadas

### Outras Referências

Não existem outras referências para este plano de ensino.

### Observações

Existe a previsão de Estágio Docência.

## ANEXO 4 - PLANO DE ENSINO ARQ03004 – GD APLIC. ARQ

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

### Faculdade de Arquitetura Departamento de Design e Expressão Gráfica

#### Dados de identificação

Disciplina: **GEOMETRIA DESCRITIVA APLICADA À ARQUITETURA**Período Letivo: **2016/2**Período de Início de Validade : **2016/1**Professor Responsável: **GABRIELA ZUBARAN DE AZEVEDO PIZZATO**Sigla: **ARQ03004**

Créditos: 4

Carga Horária: 60h

CH Autônoma: 6h CH Coletiva: 48h CH Individual: 6h

#### Súmula

Métodos de representação gráfica, técnicas de resolução de problemas tridimensionais envolvendo forma, posição, deslocamento e vistas auxiliares. Estudos de superfícies geométricas envolvendo geração, intersecções e planificação. Projeções cotadas.

#### Currículos

Currículos	Etapa Aconselhada	Pré-Requisitos	Natureza
ARQUITETURA E URBANISMO	1	Nenhum pré-requisito	Obrigatória

#### Objetivos

1. Aprendizagem de técnicas de representação e de solução de problemas tridimensionais através de conceitos de dupla projeção;
2. Utilizar os conceitos de Geometria Descritiva como ferramenta de projeto de objetos tridimensionais.
3. Desenvolver o raciocínio lógico tridimensional e a visão espacial;

#### Conteúdo Programático

Semana	Título	Conteúdo
1 a 11	Área 1 - Sólidos Prismáticos	1. Sistemas projetivos e de representação plana; 2. Sistema de projeção cilíndrico ortogonal: representação de sólidos; Sistemas de coordenadas; tipos de projeção (verdadeira grandeza, reduzida e acumulada) e suas relações com o sistema de coordenadas; 3. Mudança de sistema de coordenadas para alterar a posição de visualização; determinação de perspectivas, vistas e verdadeira grandezas; distâncias; 4. Intersecções entre planos e sólidos e entre reta e sólidos: determinação e seu uso na geração de formas para solução de problemas de projeto; seções planas; 5. Planificação da superfície de sólidos: Determinação de verdadeiras grandezas de faces; rotação e rebatimento; 6. Construção de modelos de sólidos a partir da planificação de sua superfície;
12 a 18	Área 2 - Superfícies	7. Superfícies Retilíneas desenvolvíveis; 8. Planificação de superfícies; 9. Superfícies Retilíneas não-desenvolvíveis; 10. Superfícies de Revolução; 11. Superfícies Helicoidais.

#### Metodologia

Será utilizada a metodologia de aprendizagem baseada em projetos (design-based learning), onde as técnicas de representação, projeções e métodos descritivos têm como enfoque principal a solução de problemas de projeto. A sistemática adotada para a implementação da aprendizagem baseada em projetos utiliza um conjunto de projetos que são propostos aos alunos com um nível crescente de complexidade tanto geométrica quanto metodológica. O

objetivo é que para cada unidade de conceito abordada, o aluno desenvolva pelo menos um projeto completo. Assim, todos os conceitos teóricos desenvolvidos são aplicados em etapas específicas do projeto. Desta forma, o processo de aprendizagem é feito sob demanda, na medida em que aumenta a complexidade do projeto.

### Carga Horária

Teórica: 40 horas  
Prática: 20 horas

### Experiências de Aprendizagem

Os alunos realizarão ao longo do semestre trabalhos individuais e em grupo. Além de provas como avaliações parciais.

### Critérios de Avaliação

#### CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

- Pontualidade na entrega dos trabalhos
- Capricho e limpeza na apresentação dos trabalhos e provas.
- Precisão no traçado e uso dos instrumentos (o uso do computador só é permitido no trabalho final da disciplina, TFD).
- Complexidade das soluções apresentadas.
- Análise de visibilidade
- Aplicação dos métodos descritivos para a solução dos problemas propostos,
- Assiduidade e participação em aula.

#### AVALIAÇÃO

- A avaliação será feita em três etapas.
  - Na 1ª etapa (N1) será realizada uma prova que terá peso de 100% da nota da etapa. Esta etapa (N1) tem nota mínima de 5,0, o que significa que notas inferiores a 5 deverão ser recuperadas.
  - Na 2ª etapa (N2) será realizada uma prova que terá peso de 100% da nota da etapa. Esta etapa (N2) tem nota mínima de 5,0, o que significa que notas inferiores a 5 deverão ser recuperadas.
  - Na 3ª etapa (N3), serão realizados trabalhos relativos à Área 1 (Sólidos), que terão peso de 50% na nota da etapa (N3); e, um relativo à Área 2 (Superfícies), com peso de 40% da etapa (N3).
  - A Nota Final (NF) da Disciplina é a média aritmética das notas das 3 etapas .
- A nota em cada etapa (N1, N2 e N3) e a Nota final (NF) ficam assim definidas:

N1 = Prova 1  
N2 = Prova 2  
N3 = Trabalhos  
NF = (N1+N2+N3)/3

#### CONDIÇÕES DE APROVAÇÃO

Frequência - frequência mínima é de 75%. Os professores farão chamadas ao final de cada aula. Não será permitida em sala de aula a presença de alunos que não estejam regularmente matriculados na turma. Qualquer problema quanto à situação da matrícula deve ser relatado aos órgãos competentes: COMGRAD e DECORDI.

Média - Nota Final (NF) maior ou igual a 6, e N1 e N2 maior ou igual a 5.

#### CONCEITOS

O conceito final da disciplina será atribuído com base no sistema abaixo, sua definição fica a cargo dos professores considerando ainda critérios como: assiduidade, pontualidade, participação, desempenho e evolução.

- Conceito A: entre 10 e 9 (inclusive).
- Conceito B: entre 8,9 e 7,5 (inclusive).
- Conceito C: entre 7,4 e 6 (inclusive).
- Conceito D: entre 5,9 e 0 (com frequência satisfatória).
- Conceito FF: frequência insatisfatória (independentemente da Nota).

### Atividades de Recuperação Previstas

- Recuperação - Se apenas uma das duas notas (N1 ou N2) for inferior à 5, mesmo que a média das duas primeiras áreas (M12) seja maior ou igual a 6, o aluno deve fazer uma prova de recuperação desta nota (Rec1 ou Rec2). A Nota da prova de Recuperação da área (Rec1 ou Rec2) terá peso 3 na composição da Nova Nota da Área (NN1 ou NN2), a qual será calculada com a seguinte expressão:

$$NN1 = (N1 + 3 \times \text{Rec1}) / 4 \geq 5 \text{ ou } NN2 = (N2 + 3 \times \text{Rec2}) / 4 \geq 5$$

- Exame - Quando as duas notas (N1 e N2) forem inferiores à 5 e a média das duas primeiras áreas (M12) for maior ou igual 3, o aluno poderá fazer um exame versando sobre toda a matéria do semestre. Caso M12 seja inferior a 3,

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

o aluno estará reprovado com conceito D.  
A nota do exame (NE) terá peso 2 na composição das novas notas das áreas 1 e 2 (NN1 e NN2), a qual será calculada com a seguinte expressão:

$$NN1 = (M12 + 2xNE)/3 \geq 5 \text{ e } NN2 = (M12 + 2xNE)/3 \geq 5$$

A Nota Final será recalculada com as novas notas das áreas.

### Prazo para Divulgação dos Resultados das Avaliações

O prazo para a divulgação dos resultados das avaliações, considerando a média final obtida no semestre, será divulgada com 72h de antecedência da data e horário previsto para as atividades de recuperação.

### Bibliografia

#### Básica Essencial

Teixeira FG e Silva RP. Geometria Descritiva: Design-Based Learning. Apostila, Departamento de Design e Expressão Gráfica, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Teixera, F, Silva, R.; Silva, T. L. K.. HyperCALGD ? Estudo de Superfícies. NCA www.gd.ufrgs.br, Porto Alegre, 1999..

#### Básica

Borges, Gladys Cabral de Mello; Barreto, Deli Garcia Olle; Martins, Enio Zago. Noções de geometria descritiva :teoria e exercícios. Porto Alegre: Sagra-Dc Luzzatto, 1998. ISBN 8572370072.

Di Pietro, Donato. Geometria descritiva. Buenos Aires: Alsina, 1973.

Machado, Ardevan. Geometria descritiva :teoria e exercícios. São Paulo: s.n., sd.

Rodrigues, Alvaro Jacinto. Geometria descritiva. Rio de Janeiro: Agir, 1969.

Teixeira, F.; Silva, R.; Barreto, D. G. O.; Lemes, M. T.. Geometria Descritiva ? Estudo de Superfícies. Apostila Didática, Porto Alegre, 1999. (Biblioteca Arquitetura)..

#### Complementar

Giesecke, Friederick .E.; Mitchell, Alva; Spencer, Henry C. ; Hill, Ivan Leroy; Dygdon, John Thomas; Novak , James E.; Lockhart, Shawna.. Moderne Graphics Communication . Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, c 1998..

THOMAS J.W, 2000.. A review of research on project-based learning. Relatório técnico. Autodesk Foundation..

### Outras Referências

Não existem outras referências para este plano de ensino.

### Observações

- Site da disciplina:  
[www.ufrgs.br/hypercal](http://www.ufrgs.br/hypercal)

Usuário: nome completo (conforme o cartão da UFRGS)  
Senha: número do cartão da UFRGS (sem zeros à esquerda)

No Site você pode:

- Baixar a apostila da disciplina.
- Baixar o cronograma e o plano de ensino.
- Baixar o programa HyperCAL 3D.
- Enviar arquivos para avaliação.
- Acompanhar as notas das avaliações.
- Baixar a lista de exercícios.
- Acompanhar os Avisos.

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

- Acompanhar os Trabalhos

- Podem ser realizadas na disciplina atividades com alunos de pós-graduação em Estágio Docência.

## ANEXO 5 - PLANO DE ENSINO ARQ03065 – GD P/ DESIGNERS

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

### Faculdade de Arquitetura Departamento de Design e Expressão Gráfica

#### Dados de identificação

Disciplina: **GEOMETRIA DESCRITIVA PARA DESIGNERS**Período Letivo: **2016/2**Período de Início de Validade : **2014/1**Professor Responsável: **ANELISE TODESCHINI HOFFMANN**Sigla: **ARQ03065**

Créditos: 4

Carga Horária: 60h

#### Súmula

Desenvolvimento da visão espacial através da Geometria Descritiva. Conceitos fundamentais e tratamentos convencionais de representação gráfica. Sistemas de projeções. Representação do ponto, da reta, do plano, de poliedros e de sólidos de revolução. Intersecção de planos e de retas com planos. Métodos descritivos: mudança de planos, rebatimento e alçamento. Projeções auxiliares. Secções e intersecções. Aplicações práticas para o desenvolvimento de projetos gráficos e de produtos industriais: desenho de conjunto do produto e de peças e detalhes. Principais tipos de perspectivas linear: axonométrica, cavaleira e perspectivas cônicas utilizando vários processos: visuais, pontos medidores com um e dois pontos de fuga. Determinação e representação em perspectivas de sombras próprias, projetadas e de reflexos.

#### Currículos

Currículos	Etapa Aconselhada	Pré-Requisitos	Natureza
DESIGN DE PRODUTO	2	(ARQ03131) DESENHO TÉCNICO APLICADO AO DESIGN I E (ARQ03060) DESENHO GEOMÉTRICO PARA DESIGNERS	Obrigatória
DESIGN VISUAL	2	(ARQ03131) DESENHO TÉCNICO APLICADO AO DESIGN I E (ARQ03060) DESENHO GEOMÉTRICO PARA DESIGNERS	Obrigatória
DESIGN DE PRODUTO	2	(ARQ03131) DESENHO TÉCNICO APLICADO AO DESIGN I E (ARQ03060) DESENHO GEOMÉTRICO PARA DESIGNERS	Obrigatória
DESIGN VISUAL	2	(ARQ03131) DESENHO TÉCNICO APLICADO AO DESIGN I E (ARQ03060) DESENHO GEOMÉTRICO PARA DESIGNERS	Obrigatória

#### Objetivos

1. Aprendizagem de técnicas de representação e de solução de problemas tridimensionais através de conceitos de dupla projeção;
2. Utilizar os conceitos de Geometria Descritiva como ferramenta de projeto de objetos tridimensionais.
3. Desenvolver o raciocínio lógico tridimensional e a visão espacial;

#### Conteúdo Programático

Semana	Título	Conteúdo
		1. Sistemas projetivos e de representação plana; 2. Sistema de projeção cilíndrico ortogonal: representação de sólidos; Sistemas de coordenadas; tipos de projeção (verdadeira grandeza, reduzida e acumulada) e suas relações com o sistema de coordenadas; 3. Mudança de sistema de coordenadas para alterar a posição de visualização; determinação de perspectivas, vistas e verdadeira grandezas; distâncias;

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

1 a 8	Área 1 - Sólidos Prismáticos	4. Interseções entre planos e sólidos e entre reta e sólidos: determinação e seu uso na geração de formas para solução de problemas de projeto; seções planas; 5. Planificação da superfície de sólidos: Determinação de verdadeiras grandezas de faces; rotação e rebatimento; 6. Construção de modelos de sólidos a partir da planificação de sua superfície;  Ao longo da primeira área serão realizados trabalhos referentes a etapa N3. Ao final da Primeira etapa, na oitava semana, acontece a prova 1 (N1).
9 a 17	Área 2 - Sólidos com superfícies curvas	7. Superfícies Retilíneas desenvolvíveis; 8. Planificação de superfícies; 9. Superfícies Retilíneas não-desenvolvíveis; 10. Superfícies de Revolução; 11. Superfícies Helicoidais.  Ao longo da segunda área serão realizados trabalhos referentes a etapa N3. Ao final da segunda etapa, na décima quinta semana, acontece a prova 2 (N2).
18	Prova 2 - N2	Prova da área 2
19	Recuperação e Exame	Atividades de recuperação

### Metodologia

Será utilizada a metodologia de aprendizagem baseada em projetos (design-based learning), onde as técnicas de representação, projeções e métodos descritivos têm como enfoque principal a solução de problemas de projeto. A sistemática adotada para a implementação da aprendizagem baseada em projetos utiliza um conjunto de projetos que são propostos aos alunos com um nível crescente de complexidade tanto geométrica quanto metodológica. O objetivo é que para cada unidade de conceito abordada, o aluno desenvolva pelo menos um projeto completo. Assim, todos os conceitos teóricos desenvolvidos são aplicados em etapas específicas do projeto. Desta forma, o processo de aprendizagem é feito sob demanda, na medida em que aumenta a complexidade do projeto.

### Carga Horária

Teórica: 40 horas  
Prática: 20 horas

### Experiências de Aprendizagem

Os alunos realizarão ao longo do semestre trabalhos individuais e provas como avaliações parciais.

### Critérios de Avaliação

#### CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

- Pontualidade na entrega dos trabalhos
- Capricho e limpeza na apresentação dos trabalhos e provas.
- Precisão no traçado e uso dos instrumentos.
- Complexidade das soluções apresentadas.
- Frequência: min 75%.

#### AVALIAÇÃO

- A avaliação será feita em três etapas.
- Na 1ª etapa (N1) será realizada uma prova que terá peso de 100% da nota da etapa. Esta etapa (N1) tem nota mínima de 5, o que significa que notas inferiores a 5 deverão ser recuperadas.
- Na 2ª etapa (N2) será realizada uma prova que terá peso de 100% da nota da etapa. Esta etapa (N2) tem nota mínima de 5, o que significa que notas inferiores a 5 deverão ser recuperadas.
- Na 3ª etapa (N3), serão realizados de 3 a 10 trabalhos ao longo de todo o semestre (T1 a T10) que cuja média corresponde a nota da etapa (N3). Esta etapa, por ter sua nota composta ao longo de todo semestre, não pode ser recuperada.
- A Nota Final (NF) da Disciplina é a média aritmética das notas das 3 etapas.
- A nota em cada etapa (N1, N2 e N3) e a Nota final (NF) ficam assim definidas:

N1 = Prova 1

N2 = Prova 2

N3 = (T1+ T2+ T3+ ...TN)/N (média conforme o número de trabalhos).

NF = (N1+N2+N3)/3

#### CONDIÇÕES DE APROVAÇÃO

Frequência - frequência mínima é de 75%. Os professores farão chamadas ao final de cada aula. Não será permitida

em sala de aula a presença de alunos que não estejam regularmente matriculados na turma. Qualquer problema quanto à situação da matrícula deve ser relatado aos órgãos competentes: COMGRAD e DECORDI.

Média – Nota Final (NF) maior ou igual a 6.  
e N1 e N2 maior ou igual a 5.

#### CONCEITOS

O conceito final da disciplina será atribuído com base no sistema abaixo, sua definição fica a cargo dos professores considerando ainda critérios como: assiduidade, pontualidade, participação, desempenho e evolução.

- o Conceito A: NF entre 10 e 9 (inclusive) e todos trabalhos entregues.
- o Conceito B: NF entre 8,9 e 7,5(inclusive) e todos trabalhos entregues.
- o Conceito C: NF entre 7,4 e 6 (inclusive).
- o Conceito D: NF entre 5,9 e 0 (com frequência satisfatória).
- o Conceito FF: frequência insatisfatória (independentemente da Nota).

### Atividades de Recuperação Previstas

- Recuperação - Se apenas uma das duas notas (N1 ou N2) for inferior à 5, mesmo que a média das duas primeiras áreas (M12) seja maior ou igual a 6, o aluno deve fazer uma prova de recuperação desta nota (Rec1 ou Rec2). A Nota da prova de Recuperação da área (Rec1 ou Rec2) terá peso 3 na composição da Nova Nota da Área (NN1 ou NN2), a qual será calculada com a seguinte expressão:

$$NN1 = (N1 + 3 \times \text{Rec1}) / 4 \geq 5 \text{ ou } NN2 = (N2 + 3 \times \text{Rec2}) / 4 \geq 5$$

IMPORTANTE: não será possível fazer prova de recuperação para melhorar conceito, igual ou superior a C.

- Exame - Quando as duas notas (N1 e N2) forem inferiores à 5, o aluno poderá fazer um exame versando sobre toda a matéria do semestre.  
A nota do exame (NE) terá peso 2 na composição das novas notas das áreas 1 e 2 (NN1 e NN2), a qual será calculada usando a seguinte expressão:

$$NN1 = (N1 + 2 \times \text{NE}) / 3 \geq 5 \text{ e } NN2 = (N2 + 2 \times \text{NE}) / 3 \geq 5$$

A nota Final será recalculada com base nas novas notas das áreas NN1 e NN2.

- Ao aluno que alcançou as notas mínimas nas áreas (N1 e N2) mas não obteve média final maior ou igual a 6 para aprovação, é facultada a escolha de uma das recuperações ou mesmo exame, aplicando-se as mesmas regras.

### Bibliografia

#### Básica Essencial

Teixeira FG e Silva RP. Geometria Descritiva: Design-Based Learning. Apostila, Departamento de Expressão Gráfica, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Teixera, F., Silva, R.; Silva, T. L. K.. HyperCALGD ? Estudo de Superfícies. NCA [www.gd.ufrgs.br](http://www.gd.ufrgs.br), Porto Alegre, 1999..

#### Básica

Di Pietro, D.. Geometria Descritiva. Libreria e Editorial Alsina Tomas Vitor e Hijo. 1960..

Machado, A.. Geometria Descritiva: Teoria e Exercícios. Projeto, São Paulo, 1986..

Rodrigues, A. J.. Geometria Descritiva. Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1968..

Teixeira, F.; Silva, R.; Barreto, D. G. O.; Lemes, M. T.. Geometria Descritiva ? Estudo de Superfícies. Apostila Didática, Porto Alegre, 1999. (Biblioteca Arquitetura)..

#### Complementar

Giesecke, Friederick .E.; Mitchell, Alva; Spencer, Henry C. ; Hill, Ivan Leroy; Dygdon, John Thomas; Novak , James E.; Lockhart, Shawna.. Moderne Graphics Communication . Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, c 1998..

THOMAS J.W, 2000.. A review of research on project-based learning. Relatório técnico. Autodesk Foundation.. Disponível em: Acesso em 18 de julho de 2005: <http://www.autodesk.com/foundation>

### Outras Referências

20/07/2016

UFRGS | Planos de Ensino

Não existem outras referências para este plano de ensino.

### Observações

Site da disciplina:  
[www.gd.ufrgs.br](http://www.gd.ufrgs.br)

Usuário: nome completo (conforme o cartão da UFRGS)  
Senha: número do cartão da UFRGS (sem zeros à esquerda)

No Site você pode:

- Baixar a apostila da disciplina.
- Baixar o programa HyperCAL 3D.
- Enviar arquivos para avaliação.
- Acompanhar as notas das avaliações.
- Baixar a lista de exercícios.
- Baixar os gabaritos da lista de exercícios
- Acompanhar os Avisos.
- Acompanhar os Trabalhos