



Experiência Inovadora e Contribuições no Ensino de Geometria em uma Ferramenta 3D: um Estudo de Caso na Engenharia

Innovative Experiences and Contributions for Teaching Geometry in a 3D Tool: A Case Study in Engineering.

Rodrigo Duarte Seabra

Instituto de Matemática e Computação/Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303; CEP 37500-903, Itajubá - MG
rodrigo@unifei.edu.br

Resumo *A habilidade de visualização espacial encontra-se aplicada nas mais variadas áreas do conhecimento e se apresenta como um tema de investigação bastante explorado, abrangendo o estudo de questões ainda em debate principalmente pela psicologia cognitiva. Devido à dificuldade inerente à compreensão e ao aprendizado de Geometria Descritiva aliada à falta de desenvolvimento das habilidades espaciais de grande parte dos estudantes ingressantes em cursos de Engenharia, foi desenvolvida uma ferramenta didática inovadora (GD@RV), fazendo-se uso de técnicas de Realidade Virtual, para apoiar o ensino do tema. A ferramenta, por meio de sua interface 3D, possibilita a criação de situações espaciais pelo usuário proporcionando aos estudantes a visualização da geometria em três dimensões, com percepção de profundidade. Os principais efeitos do uso do sistema nas aulas tradicionais de Geometria Descritiva indicaram que os três grupos de estudantes analisados apresentaram melhoras no desenvolvimento de suas habilidades espaciais. No entanto, não foi possível detectar diferença estatisticamente significativa pela análise dos ganhos médios proporcionados pelos tratamentos diferenciados empregados na pesquisa experimental. Além da avaliação quantitativa, a pesquisa envolveu a aplicação de uma avaliação qualitativa, que indicou melhor aceitação da ferramenta pelos estudantes, se comparada aos métodos convencionais de ensino.*

Palavras-Chave: *Habilidade de Visualização Espacial, Realidade Virtual, Geometria Descritiva, Pesquisa Educacional, Ensino de Geometria.*

Abstract *Spatial visualization ability is applied in various areas of knowledge and presents itself as a research topic well explored, including the study of issues still under discussion mainly by cognitive psychology. Due to the difficulty of understanding and learning of Descriptive Geometry combined with the lack of development of spatial abilities of most entering students in the engineering courses, we developed an innovative didactic tool (DG@VR), by making use of techniques of Virtual Reality, to support the teaching of the theme. The tool, through its 3D interface, allows the creation of spatial situations by the user providing the visualization of geometry in three dimensions, with depth perception, for the students. The main effects of system usage in traditional classes of Descriptive Geometry indicated that the three groups of students showed improvements in the development of their spatial abilities. However, no statistically significant difference was verified by analysis of the mean gain provided by the different treatments used in the experimental research. In addition to the quantitative evaluation, the research involved the application of a qualitative evaluation, which indicated the tool was better accepted by students, if compared to the conventional methods of teaching.*

Keywords: *Spatial Visualization Ability, Virtual Reality, Descriptive Geometry, Educational Research, Teaching of Geometry.*

1 Introdução

A habilidade de visualização espacial se apresenta como uma valiosa capacidade cognitiva humana para a prática profissional do engenheiro [1], e as disciplinas de Desenho na Engenharia apresentam um enorme potencial para o desenvolvimento da cognição espacial [2]. Um dos tópicos abordados no conteúdo dessas disciplinas refere-se à Geometria Descritiva (GD), que se constitui no principal instrumento para o treinamento da potencialidade intelectual dos estudantes na percepção do espaço [3, 4]. Uma série de estudos sistematicamente relatados na literatura aponta as diferenças existentes entre os gêneros no que se refere à execução de tarefas espaciais [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Além disso, sabe-se também que a maioria dos estudantes ingressantes em cursos de Engenharia não apresenta um desenvolvimento satisfatório dessa capacidade cognitiva.

A Realidade Virtual (RV), explorada em diversas áreas do conhecimento [15, 16, 17, 18], dentre elas a educação, inclui tecnologias de interface que exploram canais multi-sensoriais, proporcionando aos usuários a capacidade de navegar e interagir em um espaço tridimensional gerado por processamento computacional. O ambiente de RV que será apresentado neste trabalho proporciona aos usuários a possibilidade de manipular e interagir com objetos, em qualquer orientação, posicionados no espaço. Embora a Geometria Descritiva faça uso apenas de representações planares (2D), seu ensino pode ser beneficiado por esse processo de interação. Mais ainda, alguns ambientes de RV fazem uso da tecnologia da estereoscopia, que refere-se à capacidade de enxergar em três dimensões por meio da percepção da profundidade em imagens [19].

Por essa razão, e com base nas vantagens advindas do uso da RV no âmbito educacional, o trabalho em questão apresenta o GD@RV como uma ferramenta inovadora para apoio ao ensino de GD baseada em técnicas de RV, em especial a estereoscopia.

1.1 Considerações sobre o Ensino de Geometria Descritiva

Devido à sua importância para a Engenharia e áreas afins, a GD tem sido objeto de estudo em várias pesquisas nas últimas décadas [20, 21, 22, 23]. A GD tem como objetivo principal habilitar o aluno a se comunicar por meio de representações gráficas, além de se constituir em um instrumento para a resolução de problemas no espaço. Em síntese, a GD é vista e utilizada como uma ferramenta para a representação e solução de problemas espaciais.

Em sua maioria, o exercício profissional de engenheiros e arquitetos consiste na concepção de objetos tridimensionais por meio do desenvolvimento de projetos e

planejamento de processos de produção com representação em meio 2D (papel ou tela do computador). Com base nessa necessidade, destaca-se a importância da GD na formação desses profissionais.

Variados tipos de treinamento podem ser utilizados no desenvolvimento da cognição espacial. Para Stachel [24], as aulas de GD proporcionam um treinamento da potencialidade intelectual dos estudantes na percepção do espaço. Com isso, estes podem compreender objetos espaciais a partir de suas vistas principais, além de especificar vistas particulares e, adicionalmente, abstrair uma variedade de formas e raciocínios geométricos.

Embora seja comprovado que os cursos de GD auxiliam o desenvolvimento da cognição espacial dos estudantes, ainda não existe um consenso na literatura em relação ao melhor treinamento a ser utilizado visando a esta finalidade. No entanto, a visualização espacial pode ser treinada, desde que os indivíduos sejam expostos a experiências apropriadas.

De acordo com Valente [4], a GD contribui na formação dos futuros engenheiros fornecendo teoremas e procedimentos que permitem a resolução de problemas relativos às representações gráficas de elementos tridimensionais no plano. Assim, consideram-se como objetivos principais a serem alcançados no estudo dessa disciplina, o desenvolvimento das seguintes habilidades:

- Visão espacial;
- Capacidade de representar elementos tridimensionais no plano indicando corretamente sua forma, tamanho e posição relativa;
- Habilidade de interpretar representações gráficas no plano;
- Resolução de problemas geométricos espaciais no plano.

Apesar de sua importância, a GD é considerada uma disciplina de difícil aprendizado, pois muitos alunos ingressantes nos cursos de Engenharia não apresentam a habilidade de visualização espacial devidamente desenvolvida, o que dificulta a compreensão e o acompanhamento das atividades realizadas durante as aulas. Gani e Belfort [25] corroboram essa afirmação “conhecemos bem essa dificuldade, encontrada pelos estudantes, na visualização de uma épura. Sabemos que constitui um obstáculo a ser vencido, principalmente nos estágios iniciais de seu estudo. Assim, seria didaticamente aconselhável que o estudo da descritiva fosse acompanhado de uma representação que privilegiasse a visualização”. Em adição, o ritmo de aprendizagem para a aquisição de novas habilidades (mentais e motoras) exige um tempo diferente para cada indivíduo.

Outro fato importante se refere à redução das aulas de GD nas instituições de ensino superior, obrigando os estudantes a desenvolverem sua habilidade de visualização espacial em um curto período de tempo. Em alguns casos, a falta de sucesso nessa tarefa provoca desapontamentos, sensação de fracasso e/ou incompetência e, conseqüentemente, desistências, conforme relato de Ulbricht, Santos e Wazlawick [26] “a Geometria Descritiva é disciplina formativa e imprescindível para a formação dos profissionais que trabalham com a relação espaço-forma. Esta disciplina, que era estudada em profundidade nos cursos de Engenharia e Arquitetura, hoje está reduzida a esquemas formais que visam facilitar ao aluno a solução de problemas, fazendo com que o único objetivo dessa disciplina seja o de cumprir uma programação, já que é obrigatória para esses cursos”.

A carga horária drasticamente reduzida, a dificuldade inerente ao tema e a falta de habilidade espacial desenvolvida apresentam-se como importantes obstáculos na aprendizagem do estudante. Aliadas a esses fatores, na Era da Informação (ou Digital), as aulas tradicionais perdem a atratividade quando confrontadas com a televisão, a internet, os programas multimídia, os videogames, a Realidade Virtual, dentre outras tecnologias. Portanto, alguns moldes ainda atualmente empregados no processo de ensino-aprendizagem tornam-se pouco estimulantes, podendo se apresentar como um empecilho para a aprendizagem [27].

Os computadores adicionaram uma nova dimensão no estudo da visualização espacial e a motivação do aluno tende a aumentar à medida que este é exposto às tecnologias atuais. Nesse sentido, o uso de ferramentas didáticas no ensino da GD pode proporcionar avanços significativos no desenvolvimento da habilidade cognitiva incentivando a aprendizagem dos conceitos e aumentando a motivação dos estudantes, não restringindo o aprendizado somente à sua capacidade de imaginação.

1.2 Diferenças na Cognição Espacial Relativas ao Gênero

Inúmeros trabalhos apontam não só, mas principalmente, as diferenças de gênero como uma das variáveis de maior influência no desempenho de tarefas que requerem habilidades cognitivas espaciais. Além do gênero, fatores ambientais (biológicos, culturais, sociais e educacionais), idade, estilos de aprendizagem, especializações cerebrais, velocidade na execução de tarefas e eficiência têm sido estudados na tentativa de explicar tais diferenças de comportamento e desempenho. As variações na cognição espacial entre os gêneros são fracamente compreendidas e apesar das deficiências de visualização espacial ocorrerem com frequência em ambos os sexos, a maioria das pesquisas experimentais mostra uma vantagem dos indivíduos do gênero masculino em relação ao feminino.

Por mais que essa diferença seja constatada e reconhecida pela comunidade científica, sua causa é alvo de um debate expressivo. Kaufman [13] afirma que a diferença de desempenho entre os gêneros reside na capacidade da memória de trabalho dos indivíduos. Além disso, a pesquisa de Moè e Pazzaglia [10] mostrou que o desempenho inferior das mulheres em testes de visualização espacial pode estar associado a estereótipos atribuídos ao gênero. O conhecimento da informação de que as mulheres possuem sua cognição espacial menos desenvolvida pode influenciar seu desempenho na execução de tarefas espaciais, seja por ansiedade, sentimento de incapacidade, dentre outros, não refletindo a real habilidade deste gênero.

Na área biológica, as principais variáveis apontadas como causadoras de influências na habilidade espacial são os hormônios sexuais e os seus efeitos são investigados em variados estudos comportamentais [28, 29, 30, 31, 32].

O estudo de Silverman et al. [33] defende a “*The Hunter-Gatherer Theory*”¹ como forma de justificar as diferenças de gênero nas habilidades espaciais. Segundo os autores, o fator crítico para a superioridade masculina deve-se à divisão do trabalho durante a Era Pleistocênica, com os homens assumindo a função de caçadores e as mulheres de coletoras de plantas e alimentos. Devido à necessidade delas localizarem plantas e alimentos comestíveis a partir de várias configurações de vegetação, desenvolveram a capacidade de aprender e lembrar-se do conteúdo de diversos arranjos e do relacionamento dos objetos entre si. No caso dos homens, a habilidade exigida para o desempenho da caça baseava-se na localização, orientação e direção como habilidades essenciais para perseguir animais ou rastrear trilhas aleatórias em locais desconhecidos, mantendo a orientação espacial necessária para o retorno. Com isso, as habilidades espaciais associadas à caça foram mais desenvolvidas entre os homens, ao passo que as habilidades relacionadas à coleta desenvolveram-se mais entre as mulheres.

Na área do entretenimento, o trabalho de Quaiser-Pohl et al. [34] destaca a relação entre as preferências por categorias de jogos de computador como variável de influência na execução de tarefas de rotação mental. A pesquisa apresenta o melhor desempenho do grupo de indivíduos pertencentes à categoria de jogos de ação e simulação, se comparados ao grupo dos não jogadores, em um teste de rotação mental.

Vários estudos mostram resultados significativos em relação à possibilidade de treinamento da cognição espacial, assim, não é possível afirmar que o gênero seja a causa principal para as diferenças observadas, haja vista

¹ Teoria do Caçador-Coletora

que cada indivíduo possui um tempo e ritmo diferentes para realizar determinadas tarefas. Isso pode ser atribuído à precaução, falta de treinamento ou pelo simples fato de executarem o mesmo raciocínio mental muitas vezes.

1.3 Trabalhos Correlatos

Vários autores têm desenvolvido sistemas que utilizam tecnologias digitais em atividades ligadas ao ensino de GD. Esta seção apresenta algumas soluções projetadas em universidades brasileiras especificamente para subsidiar a aprendizagem do tema. Finalmente, são listados alguns trabalhos correlatos desenvolvidos no âmbito internacional.

Explorando a flexibilidade e o fácil acesso dos recursos advindos da internet, um exemplo de tutorial que visa a apoiar o ensino do tema é o Hypergeo (<http://www.faac.unesp.br/pesquisa/hypergeo>), desenvolvido no Departamento de Representação Gráfica Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Bauru. O tutorial apresenta diversos conceitos relacionados à aprendizagem de GD segundo o formato de um livro eletrônico (Figura 1).

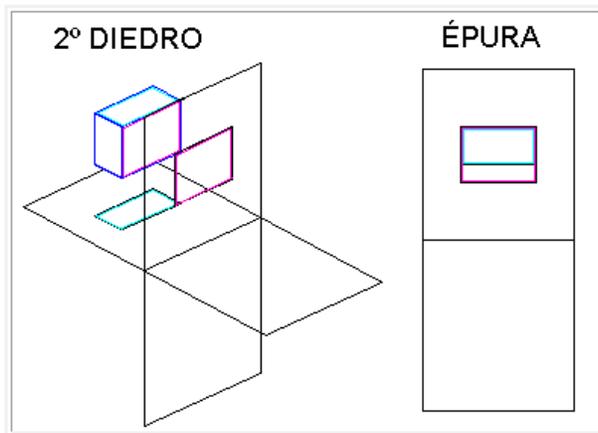


Figura 1: Exemplo de tela do Hypergeo.

Outra abordagem na mesma linha é o Portal Geométrica (Figura 2), desenvolvido no Departamento de Matemática da Universidade Estadual de Londrina (<http://www.mat.-uel.br/geometrica/>). Ainda neste segmento, o EspaçoGD [35] apresenta-se como um site idealizado para o ensino da GD envolvendo o uso de animações em Flash e ambientes 3D implementados na linguagem VRML. Utilizando princípios semelhantes, o software GDFácil [36], desenvolvido na Universidade Federal do Mato Grosso, foi implementado na linguagem Java 3D e se constitui como mais uma alternativa facilitadora na construção do conhecimento do aluno. Desenvolvido em 1997, o Visual GD [26] é um ambiente hipermídia para o estudo dos conceitos básicos da GD possibilitando ao estudante a oportunidade de interagir em atividades pro-

jetuais.

A pesquisa de Valente [4] propõe o uso de um ambiente computacional de suporte ao aprendizado de GD adaptável à trajetória do aluno. A solução consiste em um sistema tutor do ambiente de aprendizado em que, a cada interação do aluno, a ferramenta avalia quais conceitos ele domina e, a partir daí, sugere novos exercícios gradualmente.

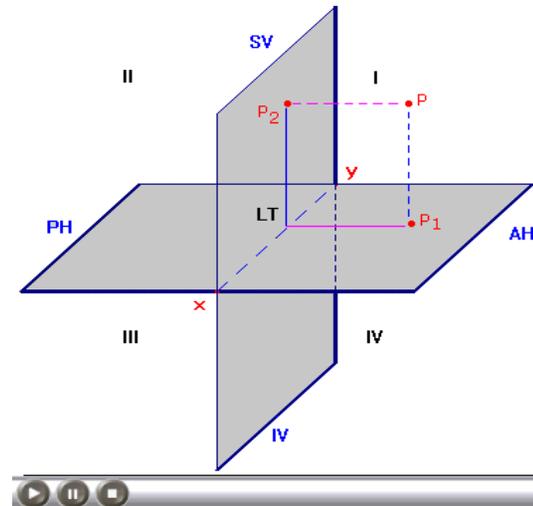


Figura 2: Exemplo de tela do Portal Geométrica.

Na área da Realidade Aumentada e no que concerne o ensino da GD, aponta-se a pesquisa de Lima, Haguenaer e Cunha [37]. O trabalho apresenta o VSTARGD – Visualizador das Superfícies Tóricas da Geometria Descritiva através da Realidade Aumentada, desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro. O aplicativo permite escolher variadas visualizações (algumas delas animadas) oferecendo ao usuário a possibilidade de observar com detalhes o resultado de cortes em um toro aberto. Ainda na área da RV, encontra-se o trabalho de Guedes, Guimarães e Méxas [38] que apresenta o VirtualGD, desenvolvido na Universidade Federal Fluminense, como mais uma oportunidade a ser explorada no ensino da GD utilizando recursos estereoscópicos.

Saindo do contexto nacional, a literatura internacional contempla várias pesquisas que exploram o uso de tecnologias para apoiar o ensino da GD. De modo geral, os trabalhos aqui referenciados podem ser categorizados segundo as ideias já descritas nos trabalhos nacionais abordados nesta seção. Por conta disso, este artigo não apresentará uma descrição pormenorizada dos referidos trabalhos. Maiores detalhes podem ser encontrados em [21, 23, 39, 40, 41, 42, 43, 44].

2 Projeto da Ferramenta GD@RV

Consiste em uma ferramenta didática para apoio ao

ensino de GD baseada em técnicas de RV, em especial a estereoscopia, proporcionando situações que facilitem o ensino e a aprendizagem de GD, visando a aumentar a habilidade cognitiva dos estudantes. Por se tratar de uma ferramenta para a execução dinâmica de construções geométricas tridimensionais, o sistema utiliza basicamente primitivas como pontos, retas, planos e suas projeções. Essas construções acontecem por meio da interação com o usuário (professor).

2.1 Componentes da Ferramenta

A aplicação desenvolvida é um sistema composto por dispositivos físicos e programas de computador. Para facilitar o entendimento, considera-se:

- *Plataforma de execução*: consiste no aparato de dispositivos físicos do sistema (placa gráfica, dispositivos de interação e visualização);
- *Ambiente de execução e implementação*: consiste no conjunto de linguagens de programação e bibliotecas utilizadas na implementação do sistema, assim como no sistema operacional.

2.1.1 Plataforma de Execução

Como a ferramenta pode ser utilizada por professores e seu custo deve permitir a implantação em ambiente acadêmico, tal fato foi levado em consideração para a escolha da plataforma de execução. Para tanto, a plataforma escolhida foi um computador do tipo PC com uma placa gráfica *dual-head* com suporte ao recurso da estereoscopia.

Em relação à interação e à visualização, a plataforma de execução pode ser dividida em dois módulos: módulo de interação e módulo visual. O módulo de interação é responsável pela interação do usuário, por meio dos dispositivos de interação. O módulo visual é responsável pela visualização das construções realizadas em ambiente estéreo, fazendo uso dos óculos polarizados. No módulo de interação, foram avaliados alguns dispositivos encontrados comercialmente, com o objetivo de se utilizar o mais adequado para a interação do usuário com a ferramenta. Assim, a seleção ocorreu com base nos requisitos considerados essenciais no processo de interação do usuário com a ferramenta: seleção de comandos, indicação de objetos, posicionamento 3D, orientação 3D e entrada textual.

Para o módulo visual, tendo em vista que as construções de GD a serem realizadas seriam feitas no espaço 3D, a visualização deveria permitir observá-las também no espaço. Além disso, para a obtenção do efeito estereoscópico desejado, havia a necessidade de se adotar alguma solução plausível em termos de custo para sua implantação em ambiente acadêmico (sala de aula).

2.1.2 Ambiente de Execução e Implementação

O ambiente de execução e implementação envolve o sistema operacional, as linguagens de programação e bibliotecas utilizadas na implementação e execução do sistema. A escolha desse ambiente levou em conta a compatibilidade com a plataforma de execução adotada no trabalho, bem como o uso de uma plataforma cujo custo viabilizasse a implantação do sistema. Os dispositivos de interação escolhidos oferecem suporte para utilização em ambiente Windows. A linguagem de programação adotada foi o C++ para Windows e a biblioteca gráfica OpenSceneGraph (OSG), utilizada para a programação das rotinas gráficas do sistema.

A OSG consiste em uma biblioteca de código aberto (*open source*) de alto nível, compatível com diversos sistemas operacionais, utilizada para o desenvolvimento de aplicações gráficas de alto desempenho, como simuladores de voo, jogos, RV e visualizações de propósito científico. É uma biblioteca multi-plataforma desenvolvida em C++ que permite aos programadores representar objetos em uma cena usando o conceito de grafo de cena. Este grafo é uma estrutura de dados do tipo “árvore”, e em seus vértices são armazenadas informações necessárias para a construção da cena visualizada. Essas informações, que consistem em geometrias e matrizes de transformação, unidas às posições em que se encontram os vértices nessa estrutura, determinam as relações entre eles. Desse modo, qualquer transformação realizada em um vértice pai, afetará todos os seus filhos, permitindo o agrupamento das primitivas criadas na ferramenta. Entre as principais vantagens da OSG destacam-se a portabilidade, a produtividade, a escalabilidade e o desempenho.

2.2 Arquitetura do GD@RV

A arquitetura do sistema (Figura 3) é baseada em um computador central que controla diretamente um sistema de projeção estereoscópico e, simultaneamente, recebe dados do dispositivo de interação 6DOF², além do mouse e do teclado. O processo de interação com o sistema começa com os comandos do usuário provenientes do dispositivo 6DOF, que o alimenta com dados de deslocamento, além do teclado para entrada textual e do mouse para o mapeamento das coordenadas 2D. Caso a interação ocorra com o dispositivo 6DOF, o driver desenvolvido pelo autor da pesquisa realiza a leitura da informação e a direciona para a aplicação com RV que, ao recebê-la, procede à sua interpretação, relacionando-a com as funcionalidades predefinidas atribuídas aos objetos visualizados na tela. As informações oriundas do teclado e do mouse são enviadas diretamente para a aplicação.

² 6DOF (*Degrees of Freedom*): seis graus de liberdade, isto é, translações nos eixos (x, y, z) e rotações em torno deles.

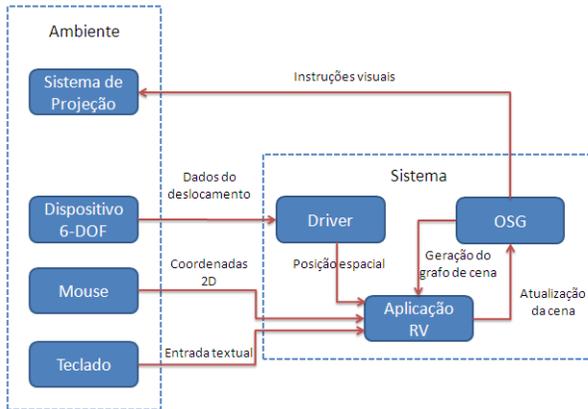


Figura 3: Arquitetura do sistema

Em função da informação recebida, o sistema envia instruções de visualização para o sistema de projeção por meio da OSG, atualizando o grafo de cena e as posições do apontador do mouse e dos objetos na visualização projetada no sistema estereoscópico. Os módulos de visualização e interação são totalmente independentes e operam em paralelo. A comunicação entre eles é verificada apenas na transferência dos dados dos dispositivos de interação, permitindo às rotinas de visualização exibirem visualmente as ações em resposta às entradas do usuário.

2.3 Descrição do Formato dos Arquivos

As construções espaciais de GD realizadas na ferramenta são armazenadas em arquivos (ou visualizadas a partir destes). Para tanto, fez-se necessária a implementação de um gerenciador responsável por criar e escrever em um arquivo texto uma descrição sucinta da cena construída, com as posições de cada primitiva e as relações entre elas, que podem ser de pertinência, perpendicularidade ou paralelismo.

O formato do arquivo consiste em indicar, primeiramente, o número de primitivas presentes na cena, seguido de uma descrição detalhada de cada uma. Dessa forma, são armazenados o tipo, a identidade atribuída e uma série de dezesseis números reais que descrevem uma matriz quatro por quatro, que corresponde à matriz de transformação da primitiva em relação à sua posição e orientação inicial de criação. Na existência de planos presentes na cena, o elemento seguinte descreve o comprimento e a largura da primitiva. No caso de retas, o elemento atual corresponde ao tamanho da primitiva. Em seguida, verifica-se a cor da primitiva segundo o padrão RGB (*red, green, blue*). O elemento final consiste na indicação, caso existente, da aplicação do efeito de transparência. A leitura do arquivo processa-se de forma semelhante. Como a ordem das características é conhecida, torna-se trivial retomá-las para a completa reconstrução

da cena.

3 Projeto da Interface Gráfica de Usuário 3D

O GD@RV possui alguns requisitos fundamentais no que diz respeito ao projeto, desenvolvimento e sua aplicação em um ambiente educacional. Nesse sentido, destacam-se alguns fatores essenciais em relação aos dispositivos de entrada e saída que devem ser atendidos visando a sua implantação nesse âmbito. Para os dispositivos que compõem a entrada, observa-se a necessidade de um aparato de baixo custo e de uso simples que possibilite a interação e a manipulação 3D, bem como entrada textual (para operação com arquivos e notação de primitivas).

Tendo em vista a disponibilidade universal do teclado e o atendimento do requisito relativo à entrada textual, este foi um dos dispositivos pré-selecionados para o módulo de entrada.

Segundo Zhai e Milgram [45], os dispositivos de mesa fornecem maior controle e coordenação que os movimentos livres dos dispositivos com 6DOF. Para a ferramenta, esta característica apresenta uma relevância considerável para a seleção de entidades pequenas como pontos e retas finas exibidas na interface do sistema. Assim, o segundo dispositivo de entrada adotado foi o mouse 2D, para a satisfação do requisito relativo à seleção de objetos. Finalmente, para atender o requisito referente à manipulação 3D, a disponibilidade de um novo dispositivo de mesa com 6DOF e custo reduzido facilitou a decisão em relação à seleção do dispositivo de interação 3D mais adequado. Os dispositivos pertencentes a esta categoria permitem os movimentos para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita e as rotações nos 3 eixos (x, y, z), configurando 6 graus de liberdade. Outra vantagem é o uso desses dispositivos em conjunto com outros, como por exemplo, o mouse 2D e o teclado, visto que os dispositivos com 6DOF não foram projetados para substituí-los. Pelo contrário, o usuário pode utilizar um mouse 2D em uma mão para selecionar objetos, enquanto simultaneamente com a outra manipula um dispositivo 6DOF para controlar os objetos 3D da aplicação. Deste modo, o *Space Navigator* (Figura 4) foi selecionado, em adição ao teclado e ao mouse 2D, como terceiro e último dispositivo de entrada do sistema.



Figura 4: Dispositivo de entrada com 6DOF (Extraída de 3DConnexion.com)

O dispositivo selecionado apresenta baixo custo e suporta os 6DOF necessários no processo de interação 3D do usuário com o sistema. Apresenta também dois botões nas laterais de sua base, cujos estados podem ser lidos e traduzidos pelo driver do dispositivo. Em relação à saída, a seleção dos dispositivos deve considerar a quantidade de usuários que utilizarão o sistema ao mesmo tempo (sala de aula) e o efeito que se deseja obter, neste caso, a percepção de profundidade (vital para se atingir o objetivo principal da ferramenta). Além disso, os componentes que constituem a saída também devem se apresentar como uma solução de baixo custo. Dessa forma, o sistema de projeção adotado para a visualização estereoscópica foi o estéreo passivo. A solução é constituída por um par de projetores de vídeo polarizados (multimídia), filtros polarizadores, óculos com lentes polarizadoras (que apresentam baixo custo e são adequados para uso por grandes grupos), uma tela prateada para exibição da projeção e uma placa gráfica com suporte à estereoscopia. A placa gráfica utilizada apresenta uma saída *dual head*, que possibilita a geração de duas imagens distintas (uma para cada projetor) para a obtenção do efeito desejado e foi escolhida a partir de placas disponíveis no mercado que ofereciam suporte para a visualização estereoscópica. Destacam-se como vantagens na solução adotada a possibilidade de visualização 3D por múltiplos usuários e o não isolamento do usuário no ambiente virtual.

Como a simplicidade era uma qualidade e, simultaneamente, um requisito obrigatório para facilitar o processo de interação do usuário com a ferramenta, o maior desafio nesta fase de desenvolvimento residiu na criação de uma técnica de interação para a interface 3D. A técnica criada deveria fornecer à interface comportamentos adequados para a satisfação dos requisitos do sistema, assim como os mapeamentos necessários para os dispositivos de entrada e saída selecionados.

3.1 Descrição da Interface

A interface do GD@RV não apresenta menus ou botões, componentes normalmente disponíveis na maioria das aplicações computacionais tradicionais. Inicialmente, são visualizados na tela somente os dois planos Mongeanos (planos de projeção vertical e horizontal), e a interface atua como uma janela em um espaço de trabalho infinito. A interação com a interface é realizada usando o mouse e o dispositivo de entrada com 6DOF e, em poucos casos, o teclado. A saída é feita por meio da projeção estéreo passiva que permite a percepção de profundidade, tornando mais fácil a navegação e o posicionamento dos objetos no espaço 3D virtual. Um diagrama de estados da interação com a interface é apresentado na Figura 5. Uma descrição completa dos componentes e operações da interface é fornecida nas próximas sub-seções.

3.1.1 Espaço de trabalho

O espaço de trabalho é, potencialmente, infinito. Contém apenas os planos de projeção horizontal e vertical, sendo que novos elementos são construídos pelo usuário. A “câmera virtual” é controlada pela manipulação do dispositivo de entrada, que permite também a navegação no espaço virtual. Além da ativação dos diferentes estados de interação, o espaço de trabalho permite o acesso à várias funcionalidades (via mouse e teclado), além das operações como a translação (nas três direções principais) e a rotação (nos três eixos) da câmera, devido aos seis graus de liberdade. A cada interação do usuário, os sinais das rotações e movimentos são inversamente mapeados para a câmera, visando a transmitir a sensação de que o usuário não a controla, mas sim, o espaço como um todo. Como a projeção paralela não é útil para a visão em estéreo, é necessário criar duas imagens distintas, uma a partir da posição de cada olho. A visualização do espaço de trabalho é gerada de acordo com uma projeção perspectiva centrada (cônica), necessária para a obtenção do efeito estereoscópico.

3.1.2 Apontador

O apontador é controlado pela movimentação do mouse e pelo acionamento dos seus dois botões. É representado por uma seta tradicional, com funções de seleção e arrasto de objetos. Além dessas ações, o apontador também pode ser usado pelo instrutor para destacar determinadas construções em GD com o intuito de despertar a atenção dos estudantes para algum elemento da cena.

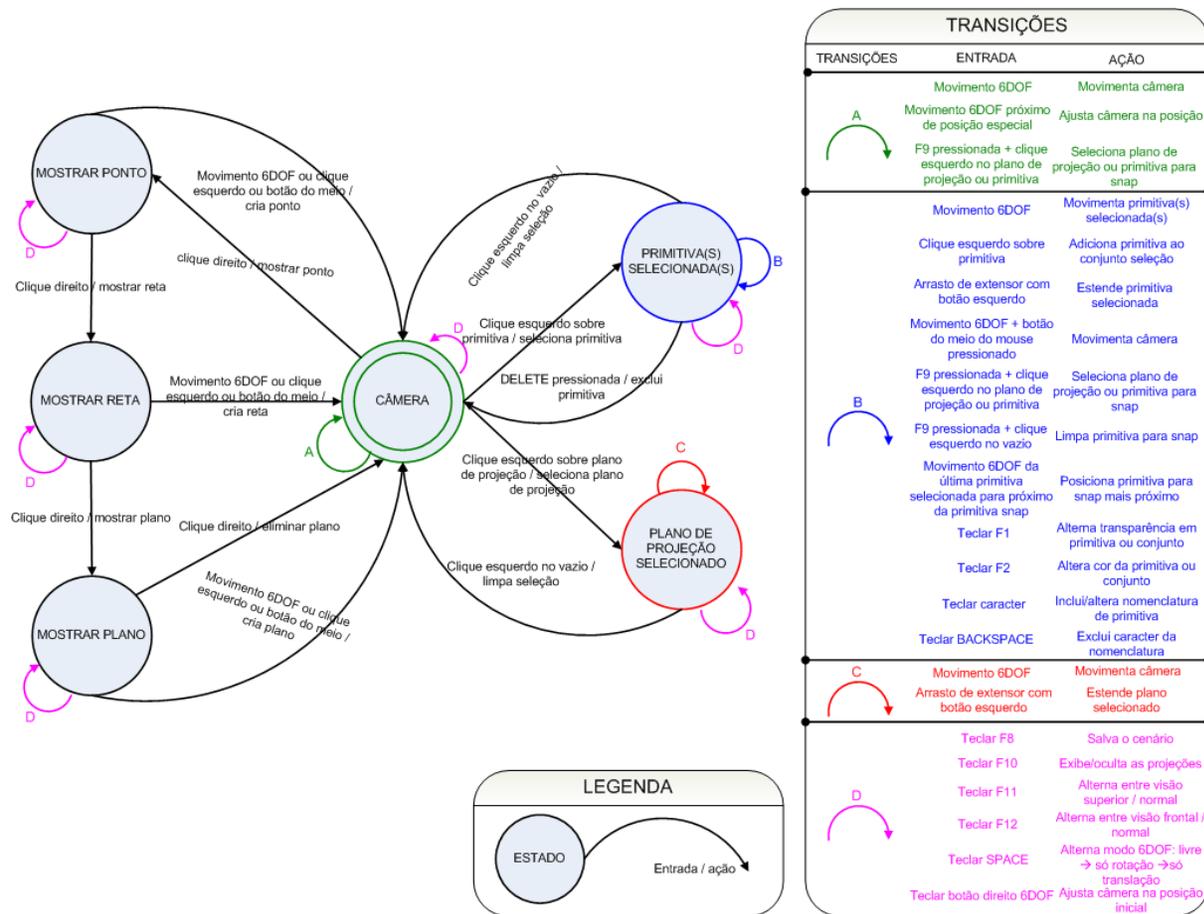


Figura 5: Diagrama de estados da interface

3.1.3 Primitivas e Autoposicionamento

As primitivas do sistema são pontos, retas e planos. Cada primitiva possui sua representação própria, sendo que os pontos são representados por pequenas esferas, as retas por cilindros delgados e os planos por paralelepípedos de pequena espessura. Para posicionar-se precisamente uma primitiva em relação à outra, a ferramenta dispõe de um recurso de autoposicionamento (*snapping*). Assim, o sistema detecta quando a última primitiva selecionada fica próxima do paralelismo, perpendicularismo ou pertinência em relação a uma outra primitiva previamente selecionada, e automaticamente ajusta sua posição precisa para esta situação. No entanto, ressalta-se que os vínculos são criados somente quando a ação é indicada pelo usuário via teclado.

3.1.4 Primitivas Automáticas e Projeções

As intersecções entre as primitivas reta são automaticamente geradas sempre que elas se interceptem, e representadas visualmente pela primitiva (ponto), porém com aparência e comportamento diferentes (uma pequena esfera de coloração escura). O ponto que representa a

intersecção não pode ser selecionado, movido ou apagado, uma vez que trata-se apenas de uma indicação visual. As primitivas inseridas no espaço de trabalho automaticamente têm suas projeções calculadas desde o momento da inserção, mas a visualização dessas projeções nos planos de projeção acontece somente quando as primitivas são selecionadas, e desde que elas estejam situadas dentro da área visível dos planos de projeção, ou então, quando a ação é requisitada pelo usuário (respeitando a mesma condição). A representação dos raios projetantes é feita por meio de linhas tracejadas (Figura 6).

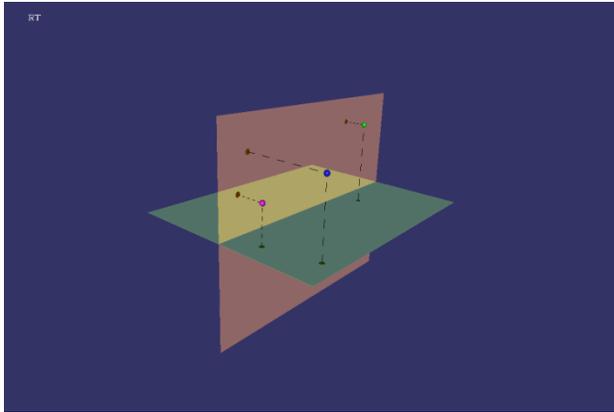


Figura 6: Projeção de ponto.

3.2 Estados de Interação com a Interface

A interface do GD@RV possui quatro estados principais de interação. Cada estado é acionado de acordo com o processo de interação do usuário via pressionamento dos botões dos dispositivos de interação. Assim, os possíveis estados de interação são: estado câmera - CÂMERA, estado seleção de primitivas - PRIMITIVA(S) SELECIONADA(S), estado seleção de plano de projeção - PLANO DE PROJEÇÃO SELECIONADO, e estado de criação de primitivas - MOSTRAR PONTO, MOSTRAR RETA, MOSTRAR PLANO. O sistema faz um ciclo entre os estados na sequência indicada na Figura 7.

4 Descrição do GD@RV

4.1 Estado Câmera

O estado Câmera permite a navegação do usuário no espaço de trabalho virtual, explorando quatro graus de liberdade do dispositivo de entrada 6DOF: três graus de liberdade correspondem às coordenadas de um sistema esférico (distância radial e ângulos de azimute e zênite) e o quarto grau é a rotação em torno da direção de visada.

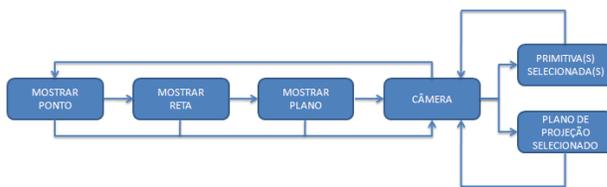


Figura 7: Ciclo dos estados de interação.

O ponto médio da linha de terra (intersecção entre os dois planos de projeção) é sempre mantido no centro da tela, evitando que o usuário perca-se no espaço de trabalho. À medida que a posição de visualização é manipulada, aproximando-se de determinadas posições previamente especificadas (isométrica, frontal, superior ou lateral),

o mecanismo de autoposicionamento de câmera ajusta sua posição de forma exata. Ainda neste estado, o usuário pode ativar a funcionalidade relativa à criação de *snaps* entre primitivas.

4.2 Estado Primitiva(s) Seleccionada(s)

O acionamento deste estado acontece quando o usuário clica com o botão esquerdo do mouse sobre uma primitiva presente na cena. Como reflexo desta ação, o GD@RV indica a seleção pelo mecanismo de realce (alterando a primitiva em questão para a cor vermelha), permitindo o acionamento de várias operações adicionais. Além dessa indicação visual, são exibidos também pequenos cones que indicam ao usuário a direção em que a primitiva pode ser estendida, por meio da variação de sua dimensão. Em um ambiente de trabalho em que a representação de primitivas que idealmente possuem dimensões infinitas é feita fazendo-se uso de sólidos limitados, torna-se necessário estender o comprimento e a largura desses sólidos para se visualizar as intersecções entre as primitivas presentes na cena. A extensão de primitivas se dá arrastando-se o extensor (cone) com o botão esquerdo do mouse.

No que se refere à movimentação de uma ou mais primitivas, o usuário pode rotacionar e posicionar interativamente a(s) primitiva(s) seleccionada(s) enquanto aciona o manche do dispositivo 6DOF. Neste contexto, para movimentar um conjunto composto por mais de uma primitiva, basta que o usuário clique com o botão esquerdo do mouse sobre as primitivas desejadas, objetivando adicioná-las ao *conjunto seleção*. O movimento utiliza como base o ponto *pivô* da última primitiva seleccionada. Este se define como um ponto em torno do qual se dá a componente rotacional do movimento, e é definido no ponto em que a primitiva foi seleccionada (por meio do apontador do mouse). O estado atual ainda oferece a funcionalidade de movimentação da câmera enquanto uma primitiva ou conjunto está seleccionada. Para tanto, basta o usuário manipular o manche do dispositivo 6DOF pressionando, simultaneamente, o botão do meio do mouse. Ao terminar o movimento e soltar o botão, a seleção continua ativa.

Tal como no estado Câmera, o usuário pode ativar a funcionalidade relativa à criação de vínculos (*snaps*) entre primitivas. A ação acontece segundo o mesmo procedimento descrito na seção 4.1. Neste momento, o movimento 6DOF da última primitiva seleccionada para próximo da primitiva *snap* faz com que o posicionamento da primeira aconteça com o *snap* mais próximo. A indicação visual da criação do *snap* é exibida no formato de um texto (“Pertencente”, “Paralelo”, “Perpendicular”), no canto superior esquerdo da aplicação. Cada *snap* é constituído por duas partes: *verificação* e *ativação*. A primeira verifica se as duas primitivas envolvidas no processo, a

de referência e a de movimentação, encontram-se em posição e orientação propícias à segunda, a *ativação*, que é a aplicação da transformação na primitiva de *movimentação*. Como exemplo, caso o usuário deseje que uma reta passe por um ponto, se este já estiver selecionado como a referência, basta aproximar a reta e, quando esta estiver a uma distância suficientemente próxima, o sistema calcula a transformação que deve ser aplicada à reta para que a ela pertença o ponto em questão (Figura 8).

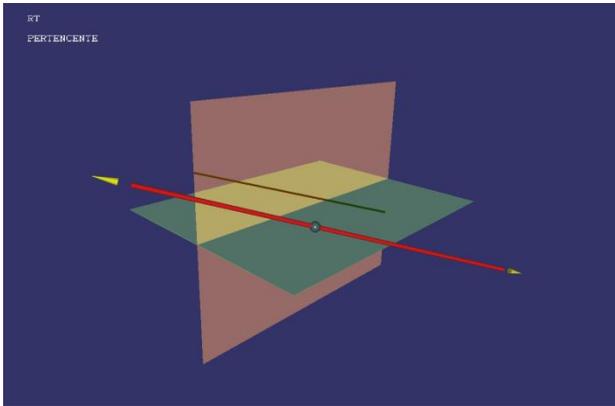


Figura 8: Snap de reta passando por ponto.

Para proporcionar ao usuário um maior controle das características do cenário criado, foram incluídos neste estado a possibilidade de alteração de cores e a imposição ou não de um efeito de transparência a uma primitiva ou conjunto de primitivas. A cor é alterada com base em um vetor de cores disponíveis. Outra funcionalidade disponível no estado Primitiva(s) Selecionada(s) refere-se à inclusão ou alteração da nomenclatura de primitivas. O sistema lê os caracteres alfanuméricos do teclado e os vincula à última primitiva selecionada. A tecla *BACKSPACE* permite a exclusão de caracteres atribuídos à primitiva. Por fim, a primitiva ou conjunto em destaque pode ser excluído pressionando-se a tecla *DELETE*, e o sistema retorna para o estado Câmera.

4.3 Estado Plano de Projeção Selecionado

A partir do estado Câmera, um clique no botão esquerdo do mouse sobre um dos planos de projeção proporciona a sua seleção, e o estado Plano de Projeção Selecionado é ativado. A indicação da seleção ocorre pela exibição de pequenos cones nas laterais do plano. Neste momento, o usuário pode executar duas ações: movimentação da câmera ou extensão do plano. A movimentação da câmera acontece do mesmo modo descrito no estado Câmera, via manipulação do dispositivo com 6DOF. A extensão do plano ocorre arrastando o extensor (cone) com o botão esquerdo do mouse. Finalmente, ao clicar com o botão esquerdo em um espaço vazio, o sistema retorna para o estado Câmera.

4.4 Estado Primitiva

A partir do estado Câmera, as três primitivas do sistema podem ser criadas e posicionadas de acordo com os sub-estados Mostrar Ponto, Mostrar Reta e Mostrar Plano. A primitiva é exibida somente quando o botão direito do mouse é clicado. Caso o usuário mova o dispositivo 6DOF, ou clique com o botão esquerdo ou com o botão do meio do mouse, o sistema realiza a transição para o estado Câmera e a primitiva exibida na cena é criada na posição apontada pelo mouse. Caso contrário, a cada clique do botão direito do mouse (sem qualquer interação), o sistema circula entre os sub-estados. Finalmente, após o sub-estado Mostrar Plano, o sistema retorna para o estado Câmera.

4.5 Ações Comuns a Todos os Estados

Seis ações comuns podem ser ativadas independente dos estados descritos. Para facilitar determinados movimentos de primitivas e as construções com *snap*s, o GD@RV oferece a funcionalidade de *filtragem de movimento*, isto é, o usuário pode indicar se deseja aplicar à primitiva somente uma rotação, uma translação ou executar um movimento livre com 6DOF. A indicação da filtragem é exibida no formato de um texto (“R”, “T”, “RT”), no canto superior esquerdo da aplicação. Tal ação é obtida com o pressionamento de uma tecla específica, e teve de ser considerada na confecção dos métodos de criação de vínculos, já que a transformação aplicada à primitiva deveria respeitar o modo de filtragem indicado pelo usuário. Além disso, foi incluído o conceito de ponto pivô. Essas duas funcionalidades, *filtragem de movimento* e *definição do ponto pivô*, possibilitaram uma maior eficiência e precisão na construção das cenas desejadas, complementando a funcionalidade dos *snap*s.

Durante o processo de construção geométrica e interação do usuário com o sistema, todas as modificações podem ser armazenadas no arquivo atual (indicado ao iniciar-se o aplicativo). A construção de determinadas situações espaciais pode ser facilitada pela visualização das projeções das primitivas presentes na cena. Desta forma, a exibição ou ocultamento de projeções é feita pelo pressionamento de uma tecla específica. Ainda no sentido de facilitar as construções, o usuário pode alternar entre as visões superior/normal e frontal/normal. Para a implementação destas duas últimas funcionalidades, foi necessário alterar o tipo de projeção realizada pela OSG para a visualização correta da cena, modificando a renderização da projeção cônica para a paralela. A última funcionalidade implementada consiste no pressionamento do botão direito do dispositivo 6DOF, que proporciona o ajuste da câmera em sua posição inicial.

4.6 Gerenciamento de Arquivos

As operações de gerenciamento de arquivos como a

abertura de um já existente ou a criação de um novo são realizadas ao iniciar o uso do sistema. Para a criação de um novo arquivo, o usuário deve atribuir-lhe um nome, segundo o formato “nome_do_arquivo.gd”. Para a abertura de um arquivo existente, basta que o usuário faça um clique duplo, no diretório em que estiver localizado, ou indicá-lo como parâmetro na linha de comando ao disparar-se o aplicativo. O GD@RV automaticamente abre o arquivo pela associação à extensão “.gd”.

5 Pesquisa Experimental

Este trabalho abrange ainda a realização de uma pesquisa experimental envolvendo estudantes ingressantes em cursos de Engenharia, com a aplicação de um teste de visualização adotado como instrumento de mensuração de suas habilidades espaciais. Após o desenvolvimento da ferramenta, foram oferecidas aulas de GD aos alunos ingressantes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) pertencentes a três turmas selecionadas para a amostra utilizada na pesquisa. As três turmas selecionadas foram aleatoriamente sorteadas e classificadas em três grupos distintos: grupo de controle, grupo teste-mono e grupo teste-estéreo.

O grupo de controle recebeu instrução convencional de GD, totalizando oito horas-aula, sem o uso dos novos recursos desenvolvidos, permitindo a avaliação do ganho na habilidade de visualização espacial devido à instrução convencional, bem como a avaliação da aprendizagem de GD nesta metodologia. Alunos pertencentes ao grupo teste-estéreo foram expostos à nova ferramenta desenvolvida usando recursos estereoscópicos. O grupo teste-mono utilizou a mesma ferramenta, porém não operando em modo estereoscópico. A importância de se utilizar um terceiro grupo, isto é, o grupo teste-mono, foi a de evitar que possíveis diferenças de desempenho fossem motivadas unicamente pelo fato de se aplicar material diferenciado durante as aulas. Neste caso, tal motivação deveria ser observada nos dois grupos de teste, em relação ao grupo de controle.

Ambos os experimentos foram conduzidos em curso de GD de oito horas-aula. O processo de intervenção se estendeu por quatro semanas. Após isso, foi aplicado um teste de visualização (pós-teste) objetivando mensurar a evolução relativa da habilidade espacial dos alunos. Os resultados obtidos foram comparados, por meio de uma avaliação quantitativa [46], com um pré-teste aplicado previamente aos tratamentos empregados, com o objetivo de verificar até que ponto a ferramenta desenvolvida auxiliou nesta evolução. Por fim, a aplicação de uma prova convencional sobre o tema GD permitiu comparar a aprendizagem de todos os grupos nesta disciplina. Esta avaliação foi realizada na mesma data para os três grupos e versou sobre o mesmo conteúdo.

5.1 Participantes do Estudo

Noventa e um estudantes de graduação compreendendo 75 homens e 16 mulheres (idade média = 18 anos) das aulas de GD, da disciplina de Geometria Gráfica para Engenharia, ministrada aos alunos do primeiro ano no primeiro semestre de 2009 na EPUSP, participaram voluntariamente da pesquisa experimental.

5.2 Avaliação Qualitativa

A avaliação qualitativa consistiu na aplicação de um questionário visando à coleta de dados para a avaliação da opinião dos estudantes em relação aos diferentes recursos utilizados em sala de aula. Vale destacar que esta avaliação também contribuiu na análise de outros atributos, uma vez que o participante pôde relatar importantes considerações a respeito dos tratamentos empregados, expressando uma visão distinta a de todos os envolvidos no projeto. As questões elaboradas e que foram respondidas são de múltipla escolha, no sentido de minimizar a subjetividade inerente a uma questão com resposta aberta, além de agilizar o processo de preenchimento. Em complemento aos dados coletados, alguns participantes incluíram comentários pertinentes e valiosos a respeito da experiência vivenciada. Nesse sentido, a neutralidade e a imparcialidade dos estudantes enriqueceu a pesquisa, possibilitando um melhor retorno no que diz respeito aos processos de intervenção utilizados em sala de aula.

Na primeira questão da avaliação qualitativa “*Conseguiu visualizar as situações espaciais apresentadas pelo sistema utilizado?*”, aplicada aos grupos teste-mono e teste-estéreo, todos os participantes responderam “*sim*” (o que representa 100% da amostra). A segunda e terceira questão do grupo teste-estéreo “*Sentiu algum incômodo no uso dos óculos?*” e “*Usou os óculos constantemente para a visualização das situações espaciais apresentadas?*” buscou identificar possíveis incômodos no uso dos óculos estereoscópicos, bem como a constância do seu uso nas aulas. O resultado mostrou que 87,1% dos participantes não sentiu nenhum tipo de incômodo no uso dos óculos, e os que alegaram problema relataram que sentiram uma espécie de irritação nos olhos em determinados momentos. Na questão 3, apenas 16,13% (cinco participantes) da amostra alegaram não ter usado os óculos constantemente para a visualização das situações espaciais apresentadas.

Em relação ao auxílio do efeito estéreo à visualização das situações espaciais apresentadas “*Achou que o efeito em estéreo ajudou na visualização das situações espaciais apresentadas?*”, 74,19% dos participantes aprovaram o uso do sistema. Destes, 19,35% responderam “*totalmente*” e 54,84% optaram por “*muito*” (Figura 9).

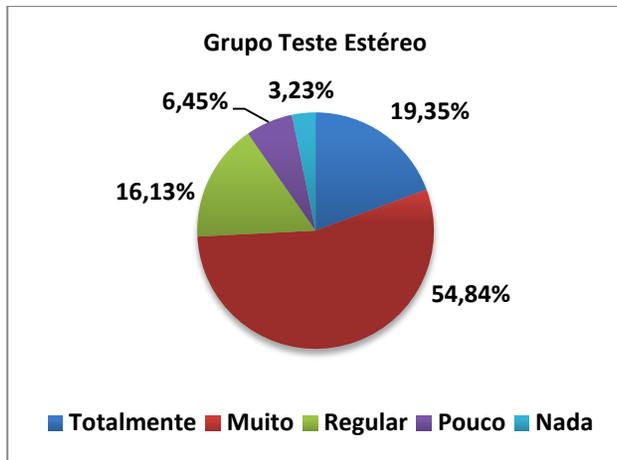


Figura 9: Auxílio do efeito estéreo na visualização das situações espaciais.

Tratadas as questões exclusivas ao grupo teste-estéreo, a próxima questão envolveu a compreensão da visualização das situações espaciais apresentadas na apostila do curso de GD “*Achou que a visualização das situações espaciais apresentadas na apostila são facilmente compreendidas?*”. O grupo de controle, em sua maioria (45,16%), optou por “regular”. A visualização das situações espaciais apresentadas pelo sistema “*Achou que a visualização das situações espaciais apresentadas pelo sistema são mais facilmente compreendidas se comparadas às imagens 2D da apostila?*” foi amplamente aceita pelos participantes do grupo teste-mono, e sua maioria (55,17%) optou por “muito”. Para o grupo teste-estéreo, o resultado foi ainda melhor, tendo a maioria (45,16%) dos participantes escolhido a resposta “totalmente”.

No que se refere o uso de slides para a compreensão das situações espaciais apresentadas “*Achou que a visualização das situações espaciais apresentadas nos slides são facilmente compreendidas?*”, os participantes do grupo de controle, em sua maioria (48,39%), optou por “muito”. Novamente, a visualização das situações espaciais apresentadas pelo sistema foi amplamente aceita pelos participantes do grupo teste-mono, e sua maioria (65,52%) optou por “muito”. Para o grupo teste-estéreo, o resultado não foi diferente, tendo a maioria (51,61%) dos participantes escolhido a resposta “muito”. Em seguida, os participantes foram questionados sobre o aprendizado do conteúdo do curso (“*Achou que as situações espaciais apresentadas proporcionaram um melhor aprendizado do conteúdo do curso?*”), com base nas situações espaciais utilizadas em sala de aula. O melhor resultado foi verificado no grupo teste-estéreo (Figura 12), com 51,61% dos participantes escolhendo a opção “muito” e 25,81% optando por “totalmente”. Em seguida, observa-se as respostas dos participantes dos grupos teste-mono

(Figura 11) e controle (Figura 10), onde sua maioria também optou por “muito” (44,83% e 38,71%, respectivamente).

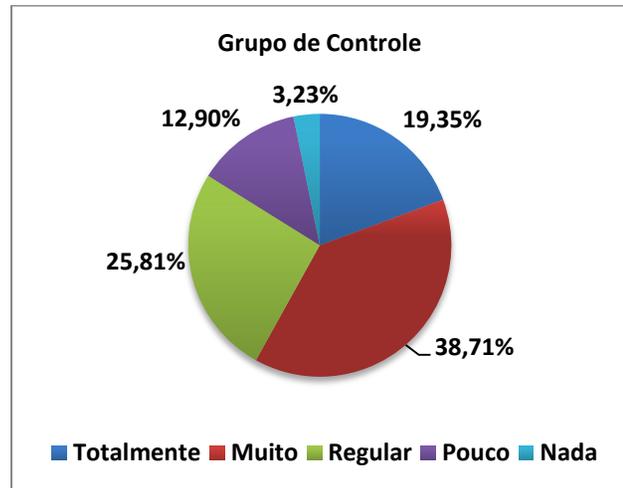


Figura 10: Aprendizado do conteúdo do curso – grupo de controle.

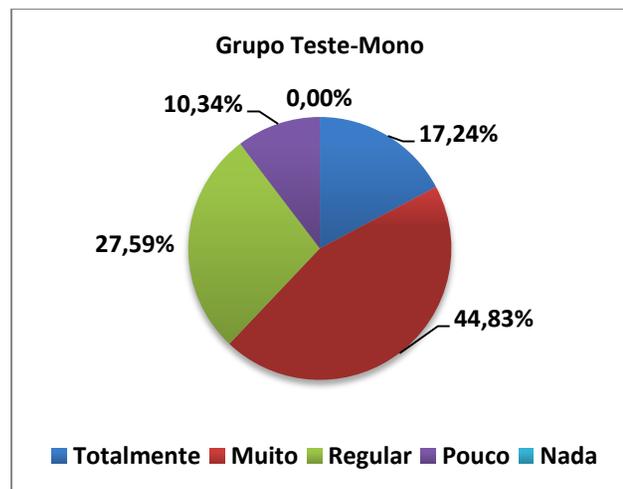


Figura 11: Aprendizado do conteúdo do curso – grupo teste mono.

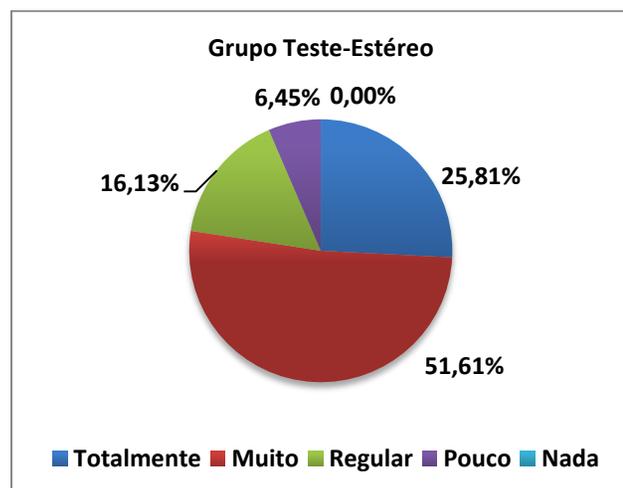


Figura 12: Aprendizado do conteúdo do curso – grupo teste estéreo.

Sobre a qualidade dos recursos visuais das construções espaciais utilizadas em aula “*Os recursos visuais (aparência, cores, dimensão etc.) das situações espaciais apresentadas foram de boa qualidade?*”, 74,19% dos estudantes do grupo de controle optaram por “*muito*” (51,61%) e “*excelente*” (22,58%). Os resultados são ainda melhores para os grupos teste-mono e teste-estéreo. No primeiro, o índice de aprovação foi de 89,66% (65,52% “*muito*” e 24,14% “*excelente*”) e, no segundo, 83,87% (64,52% “*muito*” e 19,35% “*excelente*”).

Uma importante questão tratada no estudo (“*A visualização das situações espaciais apresentadas sofreu algum tipo de prejuízo em virtude de sua posição em sala de aula?*”) concerne à visualização das situações espaciais apresentadas ter sofrido algum tipo de prejuízo em decorrência da posição ocupada pelos estudantes em sala de aula. Nesse contexto, 35,48% dos participantes do grupo teste-estéreo apontaram algum tipo de prejuízo na visualização, ao contrário dos outros grupos que representam baixos índices.

Finalmente, a última questão da avaliação qualitativa (“*Em sua opinião, de modo geral a adequação dos recursos utilizados nas aulas de GD foi:*”) atingiu bons níveis de aceitação. Para o grupo de controle, este índice foi de 74,2%, com 70,97% dos participantes optando por “*boa*” e apenas 3,23% escolhendo “*excelente*”. Novamente, verificam-se resultados melhores para os grupos teste-mono e teste-estéreo. No primeiro, as respostas “*excelente*” e “*boa*” somaram 86,21%, sendo que tal índice pode ser atribuído a uma significativa parcela dos participantes que atribuíram a adequação como “*excelente*” (41,38%). No segundo caso, o índice atingiu a marca de 83,87%. Ao contrário do que se esperava, para este grupo, a porcentagem dos participantes que atribuiu a adequação como “*excelente*” foi menor, se comparada ao grupo anterior. A diferença pode ser explicada em função de alguns problemas relatados sobre a visualização do efeito estéreo nas laterais da sala (segundo a opinião dos estudantes).

6 Discussão

Como primeira análise do pós-teste, foi verificada a influência do gênero no desempenho dos participantes. A partir dos dados coletados, observou-se que o gênero só não influenciou o desempenho no pré-teste do grupo de controle. A análise da influência do gênero permitiu a observação de um fato interessante no grupo teste-mono. As mulheres do referido grupo apresentaram desempenho superior ao masculino no pré e pós-teste, o que contradiz vários estudos sistematicamente relatados na literatura sobre o tema [5, 6, 7]. Tal resultado pode ser explicado pelo gênero feminino ter alcançado um excelente desempenho no pré-teste, com média superior ao pós-teste do

gênero masculino dos três grupos. Acredita-se que esta anomalia possa ser atribuída a uma coincidência em relação à distribuição aleatória das mulheres que já apresentavam sua habilidade de visualização espacial muito desenvolvida no mesmo grupo.

As próximas análises se encarregaram de averiguar se os tratamentos empregados promoveram um desenvolvimento significativo da habilidade espacial dos participantes. Os resultados observados mostraram que houve um aumento significativo da habilidade espacial para os três grupos. Deste modo, conclui-se que os tratamentos empregados promoveram um aumento da HVE dos participantes. A partir da melhora detectada, o estudo se concentrou em tratar mais três questões, referentes ao ganho observado em cada tratamento. Nesse sentido, esperava-se que o ganho médio obtido pelo grupo teste-estéreo fosse maior que o observado no grupo de controle e teste-mono, e que este, por sua vez, fosse maior que o do grupo de controle. Tais suposições levaram em conta importantes variáveis agregadas ao processo, como a motivação em relação ao uso de uma nova ferramenta computacional no processo de ensino-aprendizagem, bem como a vantagem proporcionada pelo sistema na visualização das situações espaciais apresentadas. Ao contrário do que se esperava, não foi verificada uma diferença significativa que apoiasse as hipóteses.

Cada grupo foi subdividido em três subgrupos, identificados como: baixa habilidade espacial, intermediária habilidade espacial e alta habilidade espacial. Esta divisão está associada às mudanças que ocorrem em grupos com desempenho extremamente baixo ou alto no pré-teste. Com vistas a isolar os ganhos obtidos com os tratamentos em cada grupo, e considerando que indivíduos que já apresentavam sua habilidade especial desenvolvida no pré-teste não poderiam melhorar significativamente seus resultados, a análise dos subgrupos permitiu isolar esses possíveis extremos, bem como indicar se os subgrupos baixa e intermediária habilidade obtiveram melhoria no desempenho, ainda mais por se constituírem no objetivo principal deste estudo. Deste modo, a análise dos ganhos médios dos subgrupos de cada grupo não apontou diferenças significativas em relação ao ganho. Em seguida, foram analisadas as transições dos participantes entre os subgrupos de cada grupo. Houve uma maior transição no número de participantes (55,55%) do subgrupo baixa habilidade, principalmente no grupo teste-estéreo (Figura 13). Este resultado, associado à avaliação qualitativa, privilegia o uso do GD@RV em relação ao desenvolvimento da habilidade de visualização espacial dos alunos que apresentavam menores habilidades.

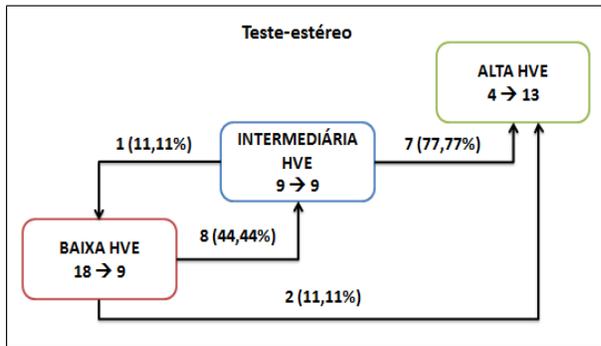


Figura 13: Transições dos participantes entre os subgrupos (grupo teste estéreo).

Outro fator analisado no pós-teste consistiu na análise do desempenho dos estudantes na avaliação de Geometria Descritiva, aplicada após o término do processo de intervenção, na tentativa de identificar diferenças de desempenho em relação ao tema estudado. A análise mostrou que o desempenho na avaliação de GD apresentou comportamento heterogêneo em dois pares de comparações, provavelmente em função do desempenho inferior do grupo teste-estéreo se comparado aos demais. Neste momento, vale destacar que o grupo teste-mono apresentou melhor desempenho que os demais, seguido pelo grupo de controle. Em última posição, observa-se o grupo teste-estéreo.

Com base no desempenho inferior do grupo teste-estéreo na avaliação de GD bem como no teste de visualização, fica clara a existência de outros fatores externos à pesquisa experimental que possivelmente influenciaram mais o resultado do que as intervenções empregadas em sala de aula. Dentre as possíveis explicações plausíveis para esta diferença, pode-se pensar que uma delas esteja associada à dedicação dos alunos às demais disciplinas do curso. Assim como a disciplina de Geometria Gráfica para Engenharia é ministrada por vários professores, as demais disciplinas do curso também possuem a mesma característica. Como os docentes das turmas podem variar, possivelmente os alunos do grupo teste-estéreo se dedicaram mais a alguma outra disciplina em detrimento ao curso de GD. Isso pode ter acontecido, por exemplo, por uma maior exigência do professor da disciplina, obrigando e influenciando esses alunos a dedicarem a ela mais tempo disponível fora do horário normal de aula. Com isso, a participação e o desempenho no curso de GD podem ter sido afetados. Menos provável, porém possível de acontecer, os alunos do grupo teste-estéreo também podem ter se deixado influenciar por uma falta de empatia pelo professor do curso ou em relação a sua didática e conduta em sala de aula. Esse sentimento, atrelado às possíveis explicações anteriores, possivelmente pode ter se apresentado como um fator de aversão à disciplina.

Vale destacar que não foi observado nenhum tipo de atrito, discussão ou desentendimento entre o professor e os alunos no decorrer do curso de GD.

Independente do tratamento empregado, inegavelmente sabe-se que o desenvolvimento da habilidade espacial das aulas de GD só acontece com a prática da resolução de exercícios. O acompanhamento das aulas durante a realização do estudo propiciou a oportunidade de verificar hábitos praticados pelos estudantes no que se refere à resolução de exercícios solicitados em aula, bem como daqueles a serem entregues nas aulas seguintes. Notou-se que, além de nem todos se preocuparem com esta prática, em sua maioria, como forma de atender às exigências do professor e assim garantir benefícios em termos de notas, praticam a cópia das atividades pedidas de colegas da turma. Assim, elimina-se qualquer possibilidade desses estudantes praticarem os conceitos transmitidos pelo docente, anulando também maiores chances de desenvolvimento de suas habilidades espaciais, mesmo diante de uma quantidade relativamente grande de exercícios disponíveis na apostila do curso.

Uma alternativa ao modelo experimental utilizado no estudo poderia se concentrar unicamente na avaliação dos exercícios resolvidos em sala de aula. Isto pode ser explicado pelo fato dos testes de visualização medirem somente a habilidade espacial dos participantes com base em processos cognitivos intrínsecos a cada indivíduo. Neste processo, todos os estudantes constituintes da amostra são analisados segundo esse aspecto, ou seja, apenas levando-se em conta seu nível de habilidade espacial. No entanto, deve-se considerar também que muitos alunos que compõem o processo de análise não praticaram devidamente o ato de resolver exercícios, e seu desempenho é considerado na análise geral.

Com base nesses comentários, acredita-se que uma nova pesquisa experimental nesse sentido poderia ser conduzida. Como forma de incentivar a prática dos exercícios e simultaneamente controlar os participantes que realmente os fazem, o experimento deve apresentar um caráter controlado em sala de aula, e totalmente focado nas dificuldades individuais dos alunos presentes no estudo. Deste modo, a cada atividade do professor em sala de aula (independente do grupo), deve-se verificar se os estudantes obtiveram êxito na resolução dos exercícios solicitados. Como a ferramenta utilizada no estudo visa a facilitar e a desenvolver a visualização da representação projetiva, e a partir dela permitir que o aluno conceba a solução do problema, a mensuração da capacidade mencionada refletirá o avanço e a habilidade do aluno na execução desta tarefa. Por fim, superada esta fase, o processo de resolução de exercícios apresentará maior possibilidade de sucesso no desenvolvimento da habilidade espacial dos alunos, possivelmente com a detecção de melhoras significativas nos grupos teste-mono e teste-

estéreo, auxiliadas pelos recursos adicionais oferecidos pelo GD@RV.

7 Conclusão

O trabalho apresentou o GD@RV como uma ferramenta didática inovadora no processo de ensino-aprendizagem de Geometria Descritiva, utilizando como estudo de caso estudantes ingressantes em cursos de Engenharia, que caracterizam o público-alvo principal. A ferramenta permite a execução dinâmica de construções geométricas tridimensionais, possibilitando a criação de situações espaciais, conforme o processo de interação do usuário, neste caso, o professor em sala de aula.

Para o incremento da percepção das relações espaciais entre os elementos representados em cena, adotou-se a projeção estereoscópica passiva e óculos com lentes polarizadoras, o que possibilita aos estudantes a visualização da geometria em três dimensões, com percepção de profundidade. Além disso, a ferramenta se caracteriza em uma solução de baixo custo e viável para uso por grandes grupos.

O principal objetivo e a motivação para o desenvolvimento do sistema em questão consistiram na especificação de uma interface simples, que interferisse pouco no comportamento normal do professor em sala de aula, fornecendo o suporte necessário para as construções geométricas espaciais, sem exigir grande esforço do usuário em relação a seu aprendizado e uso.

A conclusão final do estudo, considerando os resultados da avaliação quantitativa e qualitativa, é que o uso de sistemas estereoscópicos modernos no processo de ensino-aprendizagem facilita a visualização. No entanto, não se pode afirmar que o desenvolvimento da cognição espacial dos estudantes foi beneficiado com o uso desta tecnologia, e outros estudos fazem-se necessários para maiores observações. Acredita-se, portanto, que o GD@RV contribui significativamente na aprendizagem de GD, porém cabe a cada professor a devida exploração dos recursos oferecidos pela ferramenta, bem como a inserção do GD@RV gradativamente nas aulas. Nesse sentido, recomenda-se que a introdução do sistema nas aulas aconteça nas ocasiões em que o professor sentir dificuldade em explicar e representar, pelos recursos tradicionais (gestos, modelos em papel ou até mesmo a fala etc.), as situações espaciais desejadas. Neste contexto, o GD@RV apresenta-se como um importante instrumento facilitador do processo de visualização, e seu uso em sala de aula tende a atingir o objetivo principal que se busca alcançar neste trabalho: a superação do obstáculo relativo à visualização, com o posterior desenvolvimento da habilidade de visualização espacial dos estudantes com base na resolução de exercícios. Por fim, acredita-se que a ferramenta desenvolvida, em sua primeira versão,

pode ser implantada e explorada no apoio ao ensino de GD em outras instituições, contribuindo para a aprendizagem do tema e para o avanço dos métodos de ensino, adequando-os gradativamente à realidade tecnológica vivenciada atualmente.

Referências

- [1] S. A. Sorby. Developing 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*. 63(2):21-32, 1999.
- [2] A. D. Velasco. Avaliação da aptidão espacial em estudantes de engenharia como instrumento de diagnóstico do desempenho em desenho técnico. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2002.
- [3] S. Strong, R. Smith. Spatial visualization: fundamentals and trends in engineering graphics. *Journal of Industrial Technology*. 18(1), 2001.
- [4] V. C. P. N. Valente. Desenvolvimento de um ambiente computacional interativo e adaptativo para apoiar o aprendizado de geometria descritiva. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2003.
- [5] R. Gorska, S. A. Sorby, C. Leopold. Gender differences in visualization skills – an international perspective. *Engineering Design Graphics Journal*. 62(3):9-18, 1998.
- [6] D. C. Geary et al. Sex differences in spatial cognition, computational fluency, and arithmetical reasoning. *Journal of Experimental Child Psychology*. 77:337-353, 2000.
- [7] S. A. Sorby. Assessing and improving spatial visualization skills of engineering students: international collaborations and studies. In *Proceedings of the IV International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design*. páginas 1285-1313, 2001.
- [8] R. Gorska, Z. Juscakova. A pilot study of a new testing method for spatial abilities evaluation. *Journal for Geometry and Graphics*. 7(2):237-246, 2003.
- [9] M. S. McGlone, J. Aronson. Stereotype threat, identity salience, and spatial reasoning. *Journal of Applied Developmental Psychology*. 27:286-493, 2006.
- [10] A. Moè, F. Pazzaglia. Following the instructions! Effects of gender beliefs in mental rota-

- tion. *Learning and Individual Differences*. 16:369-377, 2006.
- [11] R. D. Seabra, E. T. Santos. Evaluation of the spatial visualization ability of entering students in a Brazilian engineering course using computerized versions of MRT and TVZ. *In Proceedings of the 12th International Conference on Geometry and Graphics*. 2006.
- [12] G. M. Alexander, T. Son. Androgens and eye movements in women and men during a test of mental rotation ability. *Hormones and Behavior*. 52:197-204, 2007.
- [13] S. B. Kaufman. Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: can they be accounted for by differences in working memory capacity? *Intelligence*. 35:211-223, 2007.
- [14] R. D. Seabra, E. T. Santos. Evaluation of the spatial visualization ability of entering students in a Brazilian engineering course. *Journal for Geometry and Graphics*, 12(1):1-10, 2008.
- [15] H. Kaufmann, D. Schmalstieg, M. Wagner. Construct3D: a virtual reality application for mathematics and geometry education. *Education and Information Technologies*. 5(4):263-276, 2000.
- [16] C. M. D. S. Freitas et al. Framework para construção de pacientes virtuais: uma aplicação em laparoscopia. *In Proceedings of the 6th Symposium on Virtual Reality*. 2003.
- [17] L. S. Machado. A realidade virtual no mdoelamento e simulação de procedimentos invasivos em oncologia pediátrica: um estudo de caso no transplante de medula óssea. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2003.
- [18] S. V. G. Cobb, P. M. Sharkey. A decade of research and development in disability, virtual reality and associated technologies: review of ICDVRAT 1996-2006. *The International Journal of Virtual Reality*. 6(2):51-68, 2007.
- [19] E. T. Santos. Uma proposta para uso de Sistemas estereoscópicos modernos no ensino de geometria descritiva e desenho técnico. *In Anais do III Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho*. 2000.
- [20] E. Tsutsumi. Descriptive geometry education at the Department of Clothing and Textiles, Otsu Women's University. *Journal for Geometry and Graphics*. 1(1):83-89, 1997.
- [21] E. T. Santos, J. I. R. Sola. A proposal for an online library of descriptive geometry problems. *Journal for Geometry and Graphics*. 5(1):93-100, 2001.
- [22] S. P. A. Radzevich. A descriptive geometry-based solution to a geometrical problem in rotary shaving of a shoulder pinion. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 127:893-900, 2005.
- [23] H. Stachel. Descriptive geometry meets computer vision – the geometry of two images. *Journal for Geometry and Graphics*. 10(2):137-153, 2006.
- [24] H. Stachel. What is descriptive geometry for? *In Proceedings DSG-CK Dresden Symposium Geometric: Konstruktiv & Kinematisch*. TU Dresden, 327-336, 2003.
- [25] D. C. Gani, E. Belfort. Descritiva em geometria dinâmica: integrando representações. *In Anais do 14^o Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico*. Ouro Preto: UFOP, 2000.
- [26] V. R. Ulbricht, N. Santos, R. S. Wazlawick. Ambiente hipermídia para a geometria descritiva. *GRAF&TEC*. 2(1):9-38, 1997.
- [27] W. A. Bazzo. Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica. Florianópolis, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- [28] M. Hausmann et al. Sex hormones affect spatial abilities during the menstrual cycle. *Behavioral Neuroscience*. 114(6):1245-1250, 2000.
- [29] O. T. Wolf et al. Testosterone and cognition in elderly men: a single testosterone injection blocks the practice effect in verbal fluency, but has no effect on spatial or verbal memory. *Biological Psychiatry*. 47:650-654, 2000.
- [30] G. M. Alexander, T. Son. Androgens and eye movements in women and men during a test of mental rotation ability. *Hormones and Behavior*. 52:197-204, 2007.
- [31] S. Schöning et al. Functional anatomy of visuo-spatial working memory during mental rotation is influenced by sex, menstrual cycle, and sex steroid hormones. *Neuropsychologia*. 45:3203-3214, 2007.
- [32] C. J. Yang et al. Testosterone levels and mental rotation performance in Chinese men. *Hormones and Behavior*. 51:373-378, 2007.
- [33] I. Silverman et al. The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*.

- 36(2):261-268, 2007.
- [34] C. Quaiser-Pohl et al. The relationship between computer-game preference, gender, and mental-rotation ability. *Personality and Individual Differences*. 40:609-619, 2006.
- [35] A. J. R. Lima et al. Espaço GD – uma experiência semipresencial de ensino de geometria descritiva. In *Anais do GRAPHICA 2007*, Curitiba, 2007.
- [36] J. L. S. P. Cuiabano et al. GDFácil: aplicação do software para o ensino da disciplina de geometria descritiva. In *Anais do IT Conference 2005*, Cuiabá, 2005.
- [37] A. J. R. Lima, C. J. Haguenuer, G. C. Cunha. A realidade aumentada no ensino da geometria descritiva. In *Anais do GRAPHICA 2007*, Curitiba, 2007.
- [38] K. B. Guedes, M. S. Guimarães, J. G. Méxas. Virtual reality using stereoscopic vision for teaching/learning of descriptive geometry. In *Proceedings of The Fourth International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning*, Spain, 2012.
- [39] R. R. García et al. Interactive multimedia animation with Macromedia Flash in descriptive geometry teaching. *Computers & Education*. 49:615-639, 2007.
- [40] S. Gorjanc. Some examples of using Mathematica and webMathematica in teaching geometry. *Journal for Geometry and Graphics*. 8(2):243-253, 2004.
- [41] A. Schmid-Kirsch. Teaching descriptive geometry at the Faculty of Architecture. *Journal for Geometry and Graphics*. 1(1):75-82, 1997.
- [42] C. E. Jacobson. Using AutoCAD for descriptive geometry exercises in undergraduate structural geology. *Computers & Geosciences*. 27:9-15, 2001.
- [43] A. Cucakovic, J. Biljana. Constructive geometry education by contemporary technologies. *Serbian Architectural Journal*. 3(2):164-183, 2011.
- [44] S. Smith et al. Using virtual reality tools in design and technical graphics curricula: an experience in learning. *Engineering Design Graphics Journal*. 69(1), 2005.
- [45] S. Zhai, P. Milgram. Quantifying coordination in multiple DOF movement and its application to evaluating 6DOF input devices. In *Proceedings of the SIGCHI'1998*. páginas 320-327, 1998.
- [46] R. D. Seabra. Uma ferramenta em realidade virtual para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2009.