

VMAG3D: APOIO À COMPREENSÃO DE MODELOS DE SISTEMAS DE
SOFTWARE UTILIZANDO O CONTROLE POR GESTOS EM UM AMBIENTE
MULTIUSUÁRIO DE VISUALIZAÇÃO 3D

Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação.

Orientadoras: Cláudia Maria Lima Werner

Claudia Susie Camargo Rodrigues

Rio de Janeiro

Março de 2018

VMAG3D: APOIO À COMPREENSÃO DE MODELOS DE SISTEMAS DE
SOFTWARE UTILIZANDO O CONTROLE POR GESTOS EM UM AMBIENTE
MULTIUSUÁRIO DE VISUALIZAÇÃO 3D

Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Examinada por:

Prof^ª. Cláudia Maria Lima Werner, D.Sc.

Prof^ª. Claudia Susie Camargo Rodrigues, D.Sc.

Prof. Geraldo Bonorino Xexéo, D.Sc.

Prof^ª. Rosa Maria Esteves Moreira da Costa, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2018

Antunes, Sergio Henriques Martins Barreto Bento

VMAG3D: Apoio à compreensão de modelos de sistemas de software utilizando o controle por gestos em um ambiente multiusuário de visualização 3D/Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XI, 97 p. 29,7 cm.

Orientadoras: Cláudia Maria Lima Werner

Claudia Susie Camargo Rodrigues

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 70-84.

1. Ensino de Engenharia de Software. 2. Modelos UML. 3. Realidade Virtual e Realidade Aumentada. 4. Sistemas Complexos. 5. Gestos I. Werner, Cláudia Maria Lima *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato bem interessante.

Às vezes agradecemos a quem nos ajuda,

Às vezes agradecemos a quem nos faz algum favor,

Às vezes agradecemos a quem reclama com a gente,

Agradecer é bem complexo, pois não se explica.

Simplesmente se agradece.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

VMAG3D: APOIO À COMPREENSÃO DE MODELOS DE SISTEMAS DE SOFTWARE UTILIZANDO O CONTROLE POR GESTOS EM UM AMBIENTE MULTIUSUÁRIO DE VISUALIZAÇÃO 3D

Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes

Março/2018

Orientadoras: Cláudia Maria Lima Werner

Claudia Susie Camargo Rodrigues

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

A Modelagem de Sistemas tem sido uma disciplina indispensável para a melhor compreensão e evolução de sistemas computacionais. Por isso, tem-se buscado formas de melhorar a visualização dos dados envolvidos nesses modelos e seus relacionamentos. Essas formas necessitam oferecer liberdade de exploração aos usuários, além de permitir a colaboração e comunicação entre vários usuários. O uso de técnicas de Realidade Virtual promove uma imersão nesses modelos, incentivando o usuário a visualizar os dados sob diferentes ângulos e em novos contextos.

Esta dissertação propõe uma abordagem para Visualização de Modelos de sistemas Assistida por Gestos em 3D, denominada VMAG 3D, para o apoio da visualização tridimensional de modelos de sistemas. Ela é inspirada na abordagem VisAr3D, um ambiente de ensino e aprendizagem para a exploração e interação de modelos UML com o uso de visualização 3D, e visa dar suporte à visualização de modelos de sistemas computacionais, usando o controle por gestos, favorecendo uma melhor usabilidade, além de incentivar a colaboração e comunicação entre os usuários.

Um protótipo de ferramenta baseado nesta abordagem foi elaborado e um estudo foi feito para avaliar a sua usabilidade, mostrando resultados positivos em relação à experiência de uso dos participantes.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SUPPORT FOR COMPREHENSION OF SOFTWARE SYSTEM MODELS USING
GESTURE CONTROL IN A MULTIUSER 3D VISUALIZATION ENVIRONMENT

Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes

March/2018

Advisors: Cláudia Maria Lima Werner

Claudia Susie Camargo Rodrigues

Department: Computer and Systems Engineering

System Modeling has been an indispensable discipline for the better understanding and evolution of these systems. So it has been sought ways to improve the visualization of the data involved in these models and their relationships. These means must offer freedom to explore for users, besides allowing collaboration and communication between users. The use of Virtual Reality techniques promotes an immersion in these models, encouraging the user to visualize data from different angles and in new contexts

This dissertation proposes an approach for Model Visualization Assisted by Gestures in 3D, called VMAG 3D, to support the three-dimensional visualization of system models. It is inspired by the VisAr3D approach, a teaching and learning environment that provides the exploration and interaction of UML models with the use of 3D visualization, and aims to support the visualization of computer systems models, using gesture control, favoring a better usability and opening the possibility for a greater accessibility, while encouraging collaboration and communication among users.

A prototype based on this approach was developed and a study was done to evaluate its usability, showing positive results in relation to user experience.

ÍNDICE

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| Capítulo 1 – Introdução..... | 1 |
| 1.1 - Motivação..... | 1 |
| 1.2 - Problema..... | 2 |
| 1.3 - Questão de Pesquisa..... | 3 |
| 1.4 - Enfoque de Solução..... | 3 |
| 1.5 - Estrutura da Dissertação..... | 4 |
| Capítulo 2 – Base Teórica..... | 6 |
| 2.1 – Realidade Virtual..... | 6 |
| 2.1.1 – Conceitos de Realidade Virtual..... | 6 |
| 2.1.1.1 – Gestos..... | 8 |
| 2.1.1.1 – Imersão..... | 9 |
| 2.1.2 – Dispositivos..... | 9 |
| 2.1.2.1 – Visualização..... | 10 |
| 2.1.2.2 – Interação..... | 13 |
| 2.1.2.2.1 – Kinect..... | 15 |
| 2.1.3 – Aplicações de Realidade Virtual..... | 17 |
| 2.2 – Interfaces Multimodais..... | 20 |
| 2.2.1 – Definição e Conceitos..... | 21 |
| 2.2.2 – Aplicações..... | 23 |
| 2.3 – Colaboração e Comunicação..... | 24 |
| 2.3.1 – Definindo Colaboração e Cooperação..... | 25 |
| 2.3.2 – Ferramentas Colaborativas..... | 26 |
| 2.3.3 – Modelo 3C..... | 26 |
| 2.3.4 – Comunicação..... | 27 |
| 2.3.4.1 – Comunicação e o Processo de Design..... | 28 |
| 2.4 – Considerações Finais..... | 29 |
| Capítulo 3 – VMAG 3D..... | 30 |
| 3.1 – VisAr3D..... | 30 |
| 3.1.1 – Objetivos da abordagem VisAr3D..... | 30 |
| 3.1.2 – Descrição da abordagem..... | 31 |
| 3.1.3 – Protótipo VisAr3D..... | 33 |
| 3.2 – VMAG 3D..... | 34 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1 – Objetivos da abordagem VMAG 3D..... | 34 |
| 3.2.2 – Requisitos..... | 35 |
| 3.2.3 – Funcionalidades..... | 36 |
| 3.2.4 – Visão Geral..... | 37 |
| 3.3 – Implementação..... | 39 |
| 3.3.1 – Trabalho Anterior (VMAG)..... | 39 |
| 3.3.2 – Implementação do protótipo VMAG 3D..... | 40 |
| 3.4 – Trabalhos relacionados..... | 45 |
| 3.4.1 – <i>Digito: A Fine-Grain Gesturally Controlled Virtual Musical Instrument</i> | 45 |
| 3.4.2 – <i>Distributed and Collaborative Visualization</i> | 46 |
| 3.4.3 – Input/Output Devices and Interaction Techniques..... | 47 |
| 3.5 – Considerações Finais..... | 47 |
| Capítulo 4 – Avaliação da Ferramenta..... | 49 |
| 4.1 – Objetivo do estudo..... | 49 |
| 4.2 – Planejamento..... | 50 |
| 4.2.1 – Piloto..... | 51 |
| 4.3 – Execução da Avaliação..... | 51 |
| 4.4 – Resultados..... | 53 |
| 4.4.1 – Caracterização dos Participantes..... | 53 |
| 4.4.2 – Tarefas..... | 56 |
| 4.4.3 – Questionário de Avaliação..... | 56 |
| 4.4.4 – Conclusões obtidas a partir dos resultados..... | 63 |
| 4.4.5 – Ameaças à validade..... | 64 |
| 4.5 – Considerações Finais..... | 65 |
| Capítulo 5 – Conclusões..... | 66 |
| 5.1 – Contribuições..... | 67 |
| 5.2 – Limitações..... | 67 |
| 5.3 – Trabalhos Futuros..... | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Oculus RIFT, um exemplo de HMD..... | 11 |
| Figura 2.2 - Uma usuária em uma CAVE, visualizando a projeção de um equipamento em 3D..... | 12 |
| Figura 2.3 – Um usuário em frente a um <i>display-wall</i> | 13 |
| Figura 2.4 - Usuário utilizando luva háptica como mouse..... | 14 |
| Figura 2.5 – Componentes do sensor Kinect, adaptado (KERKHOVE, 2014)..... | 15 |
| Figura 2.6 - Usuário em uma CAVE..... | 17 |
| Figura 2.7 – Diagrama descrevendo uma interface multimodal genérica, adaptado de (RODRIGUEZ <i>et. al.</i> , 2012)..... | 21 |
| Figura 2.8 - Modelo 3C (FUKS <i>et. al.</i> , 2009)..... | 27 |
| Figura 3.1 – Visão Geral da VisAr3D (RODRIGUES, 2012)..... | 32 |
| Figura 3.2 – Modelo 3D gerado pelo VisAr3D (RODRIGUES, 2012)..... | 33 |
| Figura 3.3 – Visão Geral da abordagem VMAG 3D..... | 38 |
| Figura 3.4 – Interface da VMAG..... | 39 |
| Figura 3.5 – Tela do VMAG 3D..... | 41 |
| Figura 3.6 – Barra de Status mostrando três usuários detectados pelo Kinect, com o usuário 1 (Azul) controlando a visualização..... | 41 |
| Figura 3.7 – Barra de Informação, onde é possível escolher qual tipo de dados são visualizados. A opção Nome se encontra selecionada..... | 43 |
| Figura 3.8 – Botão da Tela de Mensagens..... | 43 |
| Figura 3.9 – Tela de mensagens exibida sobre a tela geral, com três mensagens já gravadas..... | 44 |
| Figura 3.10 – Botões para controle da visualização..... | 45 |
| Figura 3.11 – Feedback visual da ferramenta Dígito, com detalhe para a captura do usuário pelo Kinect (GILLIAN & PARADISO, 2012)..... | 46 |
| Figura 4.1 – Tela do VMAG 3D em uso, obtendo informação dos diagramas a que uma classe pertence..... | 50 |
| Figura 4.2 – Tela do VMAG 3D exibindo os diagramas utilizados no experimento..... | 52 |
| Figura 4.3 - Nível de experiência dos participantes com modelos UML por quantidade de participante..... | 53 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.4 - Número de elementos dos modelos UML mais complexos por quantidade de participante..... | 54 |
| Figura 4.5 - Nível de familiaridade dos temas relacionados à ferramenta pela quantidade de participantes..... | 55 |
| Figura 4.6 - Tamanho máximo de equipe em trabalhos colaborativos por participantes..... | 56 |
| Figura 4.7 - Dificuldade percebida pelos participantes ao operar o protótipo durante o experimento (0 sendo muito difícil e 5 muito fácil) por participante..... | 57 |
| Figura 4.8 - Grau de satisfação dos participantes com os resultados das tarefas, sobreposto aos resultados da quantidade de participantes que realizaram as tarefas..... | 58 |
| Figura 4.9 - Opinião dos participantes quanto à suficiência do treinamento para uso do protótipo..... | 58 |
| Figura 4.10 - Adequação da ferramenta para atividades em grupo de acordo com os participantes do estudo..... | 59 |
| Figura 4.11 - Opinião dos participantes quanto à importância da funcionalidade de áudio..... | 59 |
| Figura 4.12 - Satisfação dos participantes com as funcionalidades da ferramenta operadas por gestos..... | 60 |
| Figura 4.13 - Satisfação dos participantes com as funcionalidades da ferramenta operadas pelo mouse..... | 61 |
| Figura 4.14 - Satisfação dos participantes com a implementação de funcionalidades independentes da forma de controle..... | 61 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 4.1 - Composição dos participantes por formação acadêmica. | 53 |
| Tabela 4.2 - Tabela comparando a satisfação entre os métodos de operação e as funcionalidades..... | 64 |

1 - Introdução

1.1 - Motivação

A prática de Modelagem de sistemas é fundamental no aprendizado e compreensão de sistemas computacionais (CIAN *et. al.*, 2017). Entretanto, com o avanço tecnológico, tais sistemas computacionais tem se tornado cada vez maiores e mais complexos, envolvendo um maior número de componentes e trabalhando com uma quantidade maior de dados (JORDAN & MITCHELL, 2015). Isso, por sua vez, faz com que modelar tais sistemas requeira um maior esforço, tendo que representar cada vez mais elementos e relacionamentos, e não apenas necessitando de uma grande quantidade de documentação, mas também dos meios para organizá-la (HAMUNEN, 2016). Aplicações para auxílio na compreensão e criação de modelos têm fornecido uma ajuda valiosa para profissionais e alunos (PINAUD *et. al.*, 2017).

Entretanto, um aspecto que é frequentemente negligenciado nessas aplicações é a colaboração entre usuários. A realização de atividades complexas se beneficia drasticamente do uso de técnicas colaborativas (IMPERIAL, 2005), e o desenvolvimento de software e sua modelagem não é diferente (HILPERT *et. al.*, 2017). Dentro do uso de software colaborativo, o uso de técnicas não tradicionais tem ganho atenção recentemente, mostrando como métodos alternativos podem ter efeitos positivos no desenvolvimento e compreensão de software (MAHONEY, 2017). Alguns desses métodos envolvem o uso de tecnologia como Realidade Virtual, uma interface entre o usuário e um sistema, e que recria sensações e experiências reais para um usuário, para a visualização 3D de dados (DONALEK *et. al.*, 2014).

Segundo RODRIGUES (2012), a aplicação de técnicas de Realidade Virtual e Aumentada é uma forma viável para estimular a compreensão de conceitos computacionais dentro do ensino de Engenharia de Software. De fato, DEDE (1992) afirma que a utilização de técnicas de Realidade Virtual pode melhorar de maneira considerável a habilidade do estudante em aplicar o conhecimento abstrato em situações reais, necessária na disciplina de Modelagem de Sistemas, uma vez que essas situações reais podem ser emuladas no universo virtual. WALKER (1988) elabora sobre como o nível tecnológico vem permitindo o uso de Realidade Virtual e Realidade Aumentada para a imersão do aluno em universos virtuais sintéticos, utilizando artefatos virtuais para construir conhecimento real, podendo fazer isso sozinho ou interagindo com outros usuários.

O uso de Realidade Virtual em aplicações traz o benefício de abrir um leque de possibilidade para formas de interação, com diversos tipos de dispositivos, servindo como meio de operação (RODRIGUEZ, 2017), bem como várias formas de interação em simultâneo (GREENWALD, 2017). Essas interfaces com vários modos de interação, chamadas Interfaces Multimodais, oferecem formas mais naturais de colaboração (COHEN *et.al.*, 2015), incluindo o uso de gestos manuais (RAUTARAY & AGRAWAL, 2012). O uso dessas interfaces também pode ajudar nos processos de modelagem de sistemas computacionais, e na compreensão de tais modelos (NARAYAN, 2017).

1.2 - Problema

Com esses conceitos em mente, fica evidente que sistemas complexos, entendidos neste trabalho como sendo sistemas com um grande número de elementos e relacionamentos, requerem um maior nível de esforço para serem compreendidos, e que existem técnicas colaborativas que podem auxiliar na resolução de tarefas complexas, incluindo o uso de técnicas não convencionais, como Realidade Virtual e Interfaces Multimodais.

Entretanto, utilizar essas tecnologias para permitir a compreensão de modelos complexos não é algo trivial. Permitir que usuários visualizem modelos de sistemas em ambientes tridimensionais traz diversos desafios, especialmente quando métodos tradicionais de modelagem usam exclusivamente modelos bidimensionais. Os métodos de interação com esse modelo também requerem cuidados especiais, visto que a introdução de uma terceira dimensão por si só traz dificuldades na forma de orientação dos usuários inseridos no ambiente.

Essas dificuldades crescem consideravelmente ao incluir a necessidade dessas aplicações lidar com vários usuários em simultâneo. Enquanto que a necessidade de incluir suporte multiusuário nessas aplicações é evidente, dado que Modelagem de Sistemas é uma atividade geralmente realizada em grupo, em especial com sistemas de grande porte, realizar isso em um ambiente não convencional também adiciona as dificuldades de interação entre os usuários na lista de desafios que devem ser superados.

1.3 - Questão de Pesquisa

Com o intuito de atender aos problemas descritos nos cenários acima, este trabalho destina-se aos alunos de computação. Contudo, não se restringe apenas a alunos, podendo ser útil a profissionais que trabalhem com modelos de sistemas computacionais, ou qualquer usuário com interesse em modelagem de sistemas. O foco em alunos se deve à insatisfação quanto ao nível de preparação dos universitários recém-formados que entram no mercado de trabalho por profissionais de Engenharia de Software que trabalham na indústria (SHAW, 2000).

Este trabalho é baseado na abordagem VisAr3D, proposta inicialmente em (RODRIGUES, 2012), estendendo os conceitos e funcionalidade inicialmente abordados.

O trabalho de pesquisa se propõe a apoiar os alunos com a compreensão de diagramas UML com muitos elementos, bem como na colaboração e comunicação entre vários alunos com tarefas de análise de sistemas.

Portanto, a questão de pesquisa foi elaborada da seguinte forma:

Q1 - "Como incentivar e auxiliar alunos de computação na compreensão e visualização de modelos de sistemas com muitos elementos?"; E,

Q2 - "Como usar Interfaces Multimodais, como o controle por gestos, como método de interação alternativo para o incentivo à colaboração?".

1.4 - Enfoque de Solução

Para responder as questões de pesquisa, este trabalho propõe a abordagem VMAG 3D - Visualização de Modelos de sistemas Assistida por Gestos – para apoiar a compreensão de modelos UML com muitos elementos de modelagem, utilizando tecnologias de Realidade Virtual, enquanto permite a operação por vários usuários, e incentiva a comunicação.

A ideia é desenvolver um ambiente de visualização 3D, usando o controle por gestos como forma de interação, para a exibição de modelos de sistemas computacionais com muitos elementos por uma nova perspectiva. Permitir a exploração dos modelos e a interação dos alunos da disciplina de Modelagem de Sistemas, utilizando os recursos e facilidades presentes neste ambiente virtual, tais como: visualização dos modelos em diversos ângulos, gravação de comentários relacionados aos modelos por voz, e a interação com os modelos em um espaço ilimitado com todos os diagramas modelados disponíveis.

Para incentivar a exploração e visualização, permitindo visualizar os modelos de forma mais natural, e se adaptar às necessidades dos usuários, dentro do ambiente 3D, propõe-se o uso de gestos como forma de interação com os modelos. O uso de gestos também sugere a possibilidade de acesso da ferramenta por usuários que tenham algum tipo de dificuldade motora.

Também é previsto um sistema que permita a gravação de mensagens de áudio. Essas mensagens são usadas para registrar relatos pertinentes aos modelos, estimulando a comunicação. Elas também podem ser usadas para auxiliar na manutenção dos modelos, oferecendo um meio para comunicar aos responsáveis pela criação e edição dos diagramas qualquer tipo de erro ou ambiguidade encontrada.

Devido ao fato da abordagem ser exibida através de apenas um monitor, ao invés de um método de visualização distribuída para cada usuário, também é proposto neste trabalho um sistema que permite o controle da visualização dos modelos pelos usuários. Esse sistema leva em consideração que usuários distintos podem requerer pontos de vista diferentes para visualizar o modelo, o que pode trazer conflitos durante a operação multiusuário, sem a devida organização do controle.

O uso de diferentes métodos de interação, através de Interfaces Multimodais, e seu emprego na visualização de modelos de sistemas com muitos elementos, trata-se de um tema atual, inovador e com importância prática no ensino de Modelagem de Sistemas (NARAYAN, 2017).

Outro objetivo é a avaliação dessa abordagem quanto à usabilidade, levando em consideração a sua operação por mais de um usuário em simultâneo e com diagramas de sistemas complexos, com um grande número de elementos.

1.5 - Estrutura da Dissertação

A partir desta Introdução, esta dissertação está organizada em mais 4 capítulos, da seguinte forma:

O Capítulo 2 descreve os conceitos teóricos que serviram como base deste trabalho, abordando tópicos de Realidade Virtual, Interfaces Multimodais, e Colaboração.

O Capítulo 3 descreve a abordagem e a ferramenta de mesmo nome, VMAG 3D - Visualização de Modelos de sistemas Assistida por Gestos em 3D, e os protótipos implementados. Também são apresentados alguns trabalhos relacionados.

O Capítulo 4 detalha a elaboração e aplicação da avaliação da ferramenta VMAG 3D.

O Capítulo 5 resume a pesquisa desta dissertação, apresenta as suas contribuições, uma análise das suas limitações e descreve sugestões para trabalhos futuros.

Os Apêndices de A a D contêm os formulários utilizados no estudo experimental descrito no Capítulo 4.

2 - Base Teórica

Este capítulo aborda, em maiores detalhes, conceitos que ajudam a compreender o problema anterior, a fim de melhor contextualizar as particularidades de uma possível solução por meio do desenvolvimento de uma ferramenta, clarificando quais e como certos requisitos devem ser atendidos.

Este capítulo é organizado da seguinte forma: a Seção 2.1 apresenta os conceitos de Realidade Virtual e suas aplicações. Na Seção 2.2, são detalhados os conceitos relacionados a interfaces multimodais, interfaces que utilizam diversos tipos de entradas. A Seção 2.3 discute conceitos de colaboração e comunicação, e a Seção 2.4 finaliza o capítulo, apresentando as considerações finais.

2.1 - Realidade Virtual

O autor de ficção científica Philip K. Dick uma vez escreveu: "Realidade é aquilo que, quando você para de acreditar, não desaparece" (DICK, 1978). Avanços tecnológicos nas áreas de computação permitem criar ambientes virtuais que representem mundos e realidades, onde é possível interagir e experimentar com elementos virtuais criados dentro do ambiente, podendo variar desde simples objetos estáticos até complexos elementos abstratos e dinâmicos. Independentemente de o quão "real" esses ambientes sejam, essas simulações virtuais representam realidades, e as sensações e conhecimentos, que podem ser adquiridos por elas, são tão reais quanto aqueles obtidos ao lidar com modelos fisicamente reais.

A Realidade Virtual (RV) pode ser definida como o uso combinado de sistemas gráficos de computador com vários dispositivos de exibição e interação para prover um efeito de imersão em um ambiente interativo 3D gerado por computador (PAN *et. al.*, 2006). A RV é uma tecnologia que tem se tornado extremamente popular nos últimos anos, e tem tido diversos usos, inclusive em aplicações educacionais (HUANG *et. al.*, 2010). RICKEL *et. al.* (2002) também afirmam que mundos virtuais interativos podem fornecer um meio poderoso para o entretenimento e aprendizado experimental.

2.1.1 – Conceitos de Realidade Virtual

Por se tratar de uma tecnologia complexa, envolvendo aspectos de áreas diversas como computação, comunicação, psicologia, entre outras, e com diversos tipos de uso, como entretenimento, aprendizado, e tratamento terapêutico, para citar alguns, a RV

possui diversas definições, várias delas dando um foco maior a determinado aspecto relevante ao trabalho que apresenta essa definição. Além da definição apresentada na seção anterior, a RV também pode ser definida como uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais gerados por computador (KIRNER & SISCOOTTO, 2007). Outra forma de definir RV é como sendo um ambiente virtual ou sintético que provê para uma pessoa o senso de realidade (JAYARAM *et.al.*,1997).

Para modelar tais ambientes virtuais, desenvolveram-se linguagens especializadas, como VRML¹ (*Virtual Reality Modeling Language*) e sua sucessora, X3D², dentre outras (LERONUTTI *et.al.*, 2007). Atualmente, é possível utilizar programas de modelagem 3D para criar objetos virtuais de modo mais fácil, sem a necessidade de aprender uma linguagem específica para criar objetos detalhados. Apesar dessa maior facilidade de criação, cuidados relacionados à exibição do ambiente virtual, como quantidade de objetos, e o detalhamento desses elementos, devem ser tomados para garantir que o ambiente virtual promova uma experiência agradável ao usuário. Não atentar para esses detalhes pode afetar negativamente a experiência do usuário, causando confusão durante a interação com o ambiente virtual (STOAKLEY *et.al.*, 2007).

Usando esses ambientes virtuais, é possível visualizar dados aplicados em modelos tridimensionais (KAGEYAMA *et.al.*, 2000), usando a terceira dimensão para melhor representar dados comparativos, como colocar gráficos ou modelos semitransparentes atrás do outro, para facilidade a comparação visual (HOLTEN & WIJK, 2008). NGUYEN *et. al.* (2001) também aponta que o uso de visualização 3D pode beneficiar a atenção do usuário para detalhes a cerca do usuário em um ambiente tridimensional. Esse tipo de visualização pode beneficiar não apenas a compreensão de conceitos mais práticos (STRACKE & GOEDJE, 2002), mas também pode ajudar com informações abstratas (KOLLER *et. al.*, 1995).

Segundo BOWMAN *et.al.* (2005), a interação do usuário com um ambiente virtual tridimensional realista propicia um maior engajamento e eficiência, através de experiências ricas e naturais. Por isso, a interação é considerada um aspecto de grande importância ao se discutir RV (SATAVA, 1993). Estas interações podem ocorrer de

¹ <https://www.web3d.org/x3d/vrml/>

² <http://www.web3d.org/x3d/content/examples/X3dResources.html>

diversas maneiras, dependendo do tipo do hardware de interação envolvido, como sensores de movimento, luvas hápticas, ou *mouse* e teclado. E podem ser implementadas de vários modos, desde simplesmente explorar o ambiente, movimentando o ponto de vista do usuário por meio de um *mouse* 3D, ou algum dispositivo de captura, até interações complexas, envolvendo objetos virtuais que alteram o comportamento da simulação, como tocar em um objeto virtual que muda atributos do ambiente como iluminação, cores, ou sons.

Para permitir essa interação, a RV necessita utilizar diversos tipos de dispositivos, os quais podem vir em diversas formas, desde capacetes e óculos, que permitam ao usuário controlar o ponto de vista diretamente através da movimentação da cabeça, até luvas que respondam aos movimentos do usuário, dando a sensação de tato e fazendo com que o usuário interaja diretamente com o ambiente virtual (HUANG *et.al.*, 2010).

2.1.1.1 – Gestos

Alguns desses tipos de interação envolvem gestos, usando sensores para reconhecimento e captura visual do usuário, e identificação dos gestos específicos (WEISSMANN & SALOMON, 1999), ou usando dispositivos como *DataGloves*, que são luvas com sensores instalados que devem ser vestidas pelo usuário para interagir com a aplicação (MAGGIONI, 1993). Por gestos, entende-se como movimento das mãos e/ou do corpo com o intuito de transmitir uma informação (LIANG & OUYOUNG, 1998).

O uso de gestos tem a vantagem de ser algo mais natural à comunicação humana, além de ajudar na associação de movimento a uma resposta do sistema (CABRAL *et.al.*, 2005). COOK *et. al.* (2008) e THAKKAR *et. al.* (2012) também discutem sobre como o uso de gestos pode ajudar no ensino, afirmando que a imersão propiciada pelos gestos facilita a retenção do conhecimento adquirido. Entretanto, também existem alguns problemas inerentes ao uso de gestos, como a fadiga causada pela atividade física e a necessidade inicial de aprender e associar os gestos às funcionalidades, caso estes não sejam definidos de forma natural (BAUDEL & BEAUDOIN – LAFON, 1993).

Gestos também oferecem uma maior acessibilidade de operação de sistemas de software (CHANG *et. al.*, 2012). Além do uso de gestos como forma de comunicação, através da linguagem por sinais (SUK *et. al.*, 2010), é possível usar gestos como

alternativa de controle (LI *et. al.*, 2006), permitindo que usuários que tenham dificuldades em operar métodos tradicionais de controle ainda possam operar sistemas. Por exemplo, um usuário com dificuldades motoras e que não poderia segurar um *mouse* propriamente poderia usar gestos através de um sensor de captura de movimento, que usa gestos menos sensíveis, para interagir com programas e outras aplicações.

2.1.1.2 – Imersão

Em seu estudo sobre engajamento, DOUGLAS & HARGADON (2000) definem imersão como estar completamente absorvido dentro do fluxo de uma narrativa familiar. Diversas outras definições apontam como ponto central da imersão que o usuário se sinta como parte do ambiente que está sendo descrito, proporcionando ao usuário a mesma experiência caso estivesse realmente na situação apresentada. Tanto a interação quanto a visualização são aspectos frequentemente mencionados em estudos de imersão.

O papel principal da imersão dentro do ensino é o aumento da facilidade no aprendizado. Isso é atingido pelo maior interesse dos alunos ao serem imersos dentro do contexto pertinente ao aprendizado. Esse interesse aumenta a chance da retenção das informações apresentadas, o que permitiria a melhor absorção do conhecimento (SLATER *et al.*, 1996). Em caso do aprendizado de assuntos práticos, a imersão permite a introdução do aluno a situações e ambientes de trabalho reais, o que fortalece a ligação entre o conhecimento teórico e prático.

Um exemplo desse tipo de imersão é através de uma CAVE (O'BRIEN *et. al.*, 2009), onde o usuário pode adentrar e as projeções a sua volta exibem o ambiente virtual. O usuário, literalmente imerso nesse ambiente, pode então explorá-lo, tendo uma visão mais detalhada sobre os ambientes simulados, como o fundo do oceano, com os peixes nadando a sua volta, ou em uma construção histórica, com obras de arte da época ao seu redor, nas paredes.

2.1.2 – Dispositivos

Os primeiros aparelhos para visualização de RV foram criados na década de 50, e consistia de uma simples cabine onde o usuário assistia a um filme, com dispositivos estimulando outros sentidos além da visão: um ventilador para criar a sensação de vento e movimento, um mecanismo que soltava perfume, para simular cheiros etc. Desde então, diversos tipos de dispositivos vêm sendo inventados para permitir o uso de RV. Hoje em dia, é possível encontrar aplicações utilizando essas tecnologias até mesmo em

smartphones, embora sejam limitadas a aplicações mais simples, como a visualização de ambientes virtuais pequenos, ou a interação com elementos simples. Aplicações mais complexas ainda necessitam de equipamento mais especializado (WAGNER *et.al.*, 2005), como cinemas 4D, onde o próprio assento dos espectadores se move, para simular movimentos.

De um modo geral, os dispositivos podem ser definidos em duas categorias, dependendo se o seu uso permite a interação entre o usuário e os objetos virtuais, ou a sua visualização. Um dos principais motivos de existirem variados dispositivos é o fato de que cada tipo de dispositivo possui as suas próprias particularidades, e para garantir uma boa usabilidade é preciso usar o dispositivo adequado para a situação (BOWMAN & MCMAHAN, 2007). Como exemplo: caso uma aplicação seja operada por um usuário individualmente, não compensaria usar dispositivos para vários usuários, como a CAVE. A seguir são descritos alguns desses dispositivos para RV.

2.1.2.1 – Visualização

Dispositivos de visualização permitem ao usuário visualizar o ambiente virtual. De modo similar aos de interação, dispositivos mais avançados permitem uma maior imersão ao usuário.

- **Projetores ou Monitores** – O ambiente tridimensional é visualizado utilizando a tela de um simples computador que está executando a aplicação, ou sua projeção. Tem como vantagem não precisar de nenhum requisito técnico especial.
- **HMD (*Head Mounted Display*)** - Um HMD é um dispositivo de exibição usado na cabeça, ou como parte de um capacete, que exibe imagens diretamente aos olhos do usuário (Figura 2.1). Os HMDs ajudam na imersão, controlando o ponto de vista do usuário pelo movimento da cabeça, ou seja, ao virar a cabeça para a direita, a perspectiva do usuário dentro do ambiente virtual se move da mesma forma e intensidade para a direita, por exemplo. Um exemplo desse tipo de dispositivo é o Oculus RIFT³, desenvolvido pela empresa Facebook Inc.

³<https://www.oculus.com/rift/>



Figura 2.1 - Oculus RIFT, um exemplo de HMD

- CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) - Consiste de uma pequena sala (Figura 2.2), com um grupo de projetores que exibem imagens de um ambiente virtual nas paredes, no chão e no teto. Uma vez dentro da sala, o usuário pode visualizar e interagir com o ambiente virtual a sua volta, o que propicia a imersão dentro do universo virtual (CRUZ-NEIRA *et.al.*, 1993). O usuário, geralmente, utiliza óculos 3D para visualizar os objetos virtuais fora da projeção, e sensores de movimento para controlar a movimentação do usuário dentro do ambiente. Esses dispositivos, frequentemente, usam projeções em larga escala, exibindo o ambiente virtual em uma grande área, com o objetivo de exibir o conteúdo para vários usuários em simultâneo, mantendo os objetos dentro do ambiente em tamanho natural (LEE *et. al.*, 2010).



Figura 2.2 - Uma usuária em uma CAVE, visualizando a projeção de um equipamento em 3D

- *Display-wall* - O ambiente tridimensional é visualizado utilizando um conjunto de telas ou projeções lado a lado, alinhadas e sincronizadas (Figura 2.3). Um dos benefícios é a maior resolução disponível, em comparação com HMDs ou projetores convencionais. Essa resolução depende dos monitores e/ou projetores utilizados, e de sua quantidade. Um pouco similar a CAVE, em que a maior resolução permite mais detalhes e a exibição em tamanho natural (NI *et. al.*, 2006), mas difere, visto que *Display-walls* exibem um ambiente virtual na frente do usuário, enquanto que as projeções da CAVE ocorrem ao redor dos usuários, dando a impressão de que se encontram dentro do ambiente. Similar à CAVE, *Display-walls* são destinados ao uso colaborativo (EBERT *et.al.*, 2009).



Figura 2.3 – Um usuário em frente a um *display-wall*

2.1.2.2 – Interação

Dispositivos de interação permitem que o usuário interaja diretamente com o ambiente virtual e com os objetos nele presentes. Essa interação pode variar dependendo do uso do aplicativo: o usuário pode ativar funcionalidades ao tocar em certos objetos, ou ele pode simplesmente tocar e manusear fisicamente os objetos. Também é possível usar os dispositivos de interação para controlar a visualização, de forma indireta, permitindo ao usuário mover, rodar ou aproximar o ponto de vista. Estes dispositivos variam em sua complexidade e na imersão que proporcionam ao usuário.

- Teclado ou *Touchscreen* – A forma de interação mais básica consiste em utilizar um dos periféricos padrão do dispositivo que está reproduzindo o ambiente virtual (*mouse* e teclado para computadores, *touchscreen* para dispositivos móveis) para interagir com objetos, clicando ou tocando na posição em que se encontram na visualização, respectivamente. Embora ofereçam menos imersão, são métodos de interação com que os usuários estão mais familiarizados, por usar no seu dia a dia.
- Luvas hápticas - Luvas que contêm sensores para capturar os movimentos das mãos do usuário (Figura 2.4). Com elas, é possível interagir diretamente com o ambiente virtual, o que propicia uma maior imersão. Luvas hápticas suficientemente avançadas utilizam “radiação acústica” para criar a sensação de pressão nas mãos, permitindo ao

usuário “tocar” objetos virtuais (IWAMOTO *et. al.*, 2008). Essa sensação pode ajudar na imersão, simulando a sensação de tato no usuário: uma maior pressão pode simular a sensação de segurar um objeto com um peso maior, ou alterar a pressão de forma rítmica, criando a sensação de pulsação, como se tocasse em um motor ligado, ou segurasse um coração pulsando.



Figura 2.4 - Usuário utilizando luva háptica como mouse

- Sensores de movimento – Sensores que capturam a posição e a movimentação de um ou mais usuários, e utilizam essa informação para alterar o ambiente virtual. A posição e o movimento dos usuários podem ser obtidos pela análise da imagem capturada pelo sensor, reconhecendo

padrões e identificando a posição do usuário, ou com o auxílio de marcadores, que geralmente representam algum tipo de objeto que o sensor reconhece e utiliza como referência. Esses marcadores podem variar em forma, desde pequenas esferas até fitas coloridas. Um exemplo de tal sensor de movimento é o dispositivo Kinect, desenvolvido pela Microsoft (CHANG *et. al.*, 2012).

Este último dispositivo, o sensor Kinect, encontrou diversos usos entre pesquisadores nas mais variadas áreas, desde o tratamento fisioterápico, pesquisas sobre métodos alternativos de ensino, até formas de entretenimento imersivo (ZYDA, 2005). A seguir são apresentados mais alguns detalhes sobre esse dispositivo em particular, por se tratar do dispositivo utilizado nesta pesquisa.

2.1.2.2.1 – Kinect

Este dispositivo foi proposto como uma alternativa ao controle de jogo do Xbox360 (PAULA, 2011), tendo sido desenvolvido pela Microsoft em 2010 sob o nome de Projeto Natal. A ideia principal do Kinect é a captura de imagens em três dimensões e reconhecimento do corpo do jogador presente na imagem. Isso permite ao usuário controlar o jogo apenas com gestos, sem a necessidade de apertar botões. Eventualmente, o dispositivo passou a ser utilizado no estudo e desenvolvimento de aplicações em RV, dada a sua capacidade de coletar facilmente uma grande quantidade de dados sobre o ambiente (ALVES *et.al.*, 2012).

O Kinect pode ter sua funcionalidade dividida em duas partes: *Hardware*, que diz respeito ao sensor ótico que captura as imagens, e *Software*, que contém os *drivers*, *runtime*, APIs etc. e que pode ser obtido baixando-se o *Source Development Kit* (SDK) no próprio site da Microsoft⁴. O Hardware do sensor pode ser visto com mais detalhe na Figura 2.5, e contém uma câmera RGB, sensor de profundidade e um arranjo de quatro microfones em sua base, os quais permitem a captura de movimento em 3D, bem como reconhecimento facial e de voz.

⁴<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>



Figura 2.5 – Componentes do sensor Kinect, adaptado de (KERKHOVE, 2014)

O sensor de profundidade é constituído por três projetores de laser infravermelho combinados com um sensor CMOS, um sensor de reconhecimento de imagens composto por um circuito integrado com um arranjo de sensores de pixel-ativo. Essa combinação permite a captura de vídeo em 3D em condições de pouca luminosidade, mas devido ao uso de infravermelho, o sensor Kinect não pode ser utilizado em locais sob luz direta do sol. Usando o sensor de profundidade e a câmera RGB, o sensor Kinect pode identificar indivíduos dentro do seu campo de visão, detectando gestos, faces e vozes, e na sua segunda versão, podendo captar até 6 pessoas simultaneamente, cada uma com 25 juntas (articulações do corpo humano). Além de funcionar como uma alternativa de controle para jogos, o Kinect tem sido aplicado em diversas outras áreas, como por exemplo:

- No ensino (HSU, 2011), demonstrado por aplicações como o Xdigit (LEE et.al., 2012), que consiste em um jogo para o ensino de noções de matemática utilizando o Kinect como método de controle, ou como AlfabetoKinect (ALVES *et. al.*, 2012), um aplicativo que usa o Kinect como forma de controle para auxiliar na alfabetização de jovens, ou como discutido em HOMER *et.al.*(2014), onde usou-se o Kinect em um aplicativo para estimular a leitura de histórias para crianças;
- No tratamento e avaliação física, como por exemplo, o trabalho de SGRÒ *et.al.* (2015), que usa o Kinect para avaliar a capacidade de saltos feitos por jovens, a fim de avaliar sua disposição física, ou como visto

em (BALISTA, 2013), onde o uso do Kinect em uma aplicação para auxiliar no tratamento de pacientes de fisioterapia é proposto;

Diversas dessas aplicações tiveram avaliações que tornaram possível melhor compreender as vantagens e limitações do sensor como ferramenta de pesquisa.

2.1.3 – Aplicações de Realidade Virtual

A RV originou aplicações em diversas áreas, devido a possibilidade de imersão e interação com um ambiente que pode ser adaptado a diversas situações, muitas das quais simulam situações de risco, enquanto mantêm o usuário seguro (SHERMAN & CRAIG, 2002). Dentre estas, quatro áreas se destacam:

- **Treinamento:** O uso de RV permite treinar os usuários simulando situações que, caso fossem representadas na vida real, poderiam ter algum risco, tanto ao bem estar dos usuários, quanto riscos financeiros (Figura 2.6). Médicos em treinamento podem praticar operações em pacientes com doenças raras e contagiosas sem arriscar a vida de terceiros; soldados podem simular operações antiterroristas sem o risco de ferir inocentes (POWERS, 2008).



Figura 2.6 - Usuário em uma CAVE

- **Medicina:** Vários estudos (PARSONS & RIZZO, 2008) têm testado a eficiência do uso de RV no tratamento de problemas psicológicos e

neuroológicos, como fobias ou autismo. Esses tratamentos são feitos por meio de simulações de situações que o paciente teria dificuldade em lidar, como locais fechados, ou multidões, permitindo ao usuário enfrentar essas situações, tendo consciência de que não são reais e não apresentam nenhum tipo de ameaça. O trabalho de ANDERSON *et.al.* (2003), por exemplo, demonstra o uso de RV para o tratamento de fobias sociais, usando um público virtual como técnica de exposição.

- **Entretenimento:** O uso de RV na área de entretenimento se dá devido à imersão propiciada por essa tecnologia. É possível ao usuário interagir com um jogo, ou assistir um vídeo 3D, e se sentir dentro do ambiente e interagir diretamente com o universo virtual (ZYDA, 2005). Em (BREGLER, 2007), é possível ver como o uso de captura de movimento tem influenciado o entretenimento, especialmente na criação de animações mais naturais, desde os seus primeiros usos em filmes de animação, até *videogames* de última geração, com sistemas de captura sem marcadores. Sua aplicação no entretenimento também foi um dos fatores na redução dos preços dos dispositivos, que contribuiu para a sua popularização (BROOKS, 1999).

O desenvolvimento de dispositivos de RV para o uso no entretenimento tem alternado entre os tipos de dispositivo: Uma das primeiras tentativas de usar RV em jogos feito por uma empresa de grande porte foi o Virtual Boy da Nintendo, em 1995, o qual consistia de um sistema de jogo acoplado a um HMD para visualização. O console é considerado como um grande fracasso, tanto nas vendas, como em explorar a RV em jogos (BOYER, 2009). A segunda grande tentativa foi o uso do Kinect como dispositivo de interação, em 2010, detalhado anteriormente na Seção 2.1.2.2.1. Mas recentemente, o uso de HMDs no entretenimento tem recebido um ressurgimento, através do dispositivo HTC VIVE⁵ pela empresa Valve em 2015, e o Playstation VR⁶ e o Oculus RIFT⁷ pela Sony Entertainment e Facebook, respectivamente, em

⁵ <https://www.vive.com/us/>

⁶ <https://www.playstation.com/pt-br/explore/playstation-vr/>

⁷ <https://www.oculus.com/rift/>

2016. Dada a alternância entre visualização e interação, é de se esperar que no futuro outro dispositivo para interação venha a se popularizar.

Não são apenas os jogos eletrônicos que têm usado RV para o entretenimento: a indústria cinematográfica também tem buscado métodos para aumentar a imersão dos expectadores usando dispositivos que fazem os usuários se sentirem dentro do filme (SLATER & SANCHEZ-VIVES, 2016). Graças a tecnologias como áudio 3D (BEGAULT, 2000), filmes podem se tornar bem mais atrativos com o uso de RV (RYAN, 2001). Por sua vez, a possibilidade de simular ambientes e permitir que usuários se sintam dentro do ambiente pode ser útil para outra indústria dentro do setor de entretenimento: Turismo. É possível que um indivíduo simule uma visita a locais que normalmente não se teria acesso, devido a riscos de danificar algum ambiente histórico que esteja sendo preservado (GUTTENTAG, 2010).

- Ensino: Como já elaborado anteriormente, existe a possibilidade do uso de RV para o treinamento prático de profissionais de diversas áreas. Entretanto, esse mesmo potencial também pode ser utilizado para o ensino de disciplinas teóricas nos mais diversos níveis, desde o ensino fundamental até o ensino superior. É possível usar RV para simular conceitos e situações que não poderiam ser normalmente observadas, como ver uma reação química a nível molecular, ou uma representação de um momento histórico, o que não apenas pode auxiliar na compreensão desses conceitos, mas também aumenta o interesse dos alunos pelo assunto. É possível observar isso em estudos como o realizado por BELL & FOGLERL (1995), onde essa capacidade de visualização é apontada como a principal vantagem da aplicação de RV no ensino. Eles também mencionam o interesse e o entusiasmo do usuário na utilização dessas aplicações.

Diversos estudos já foram realizados para avaliar a eficiência dessa tecnologia dentro desse contexto (MOORE, 1995). Uma ferramenta com o propósito de ensinar usando RV pode ser vista em (MONAHAN *et. al.*, 2004), que detalha o aplicativo CLEV-R, um programa que permite aos usuários assistirem a aulas dentro de um ambiente virtual. SYLAIU *et. al.* (2005) avaliam a possibilidade do uso

de RV para enriquecer visitas a museus, permitindo que visitantes se sintam dentro do ambiente apresentado.

Desenvolver aplicações para o ensino usando RV implica em diversas dificuldades, como a necessidade de fazer uma interface que se adapte aos usuários e que seja de fácil entendimento, a necessidade de aprender como desenvolver aplicações com tecnologias relativamente novas e que frequentemente sofrem alterações, além de um viés negativo para essa “falsa” realidade (HUANG *et. al.*, 2010). Entretanto, estudos como o de MERCHANT *et. al.* (2014) mostram resultados positivos no uso de RV, sugerindo que, uma vez que essas dificuldades iniciais sejam superadas, o benefício em seu uso é substancial. Outras vantagens incluem o maior engajamento do usuário (JOHNSON *et. al.*, 1998), a possibilidade de coletar um grande número de dados durante o seu uso (BAILENSON *et. al.*, 2008) e a possibilidade de colaboração entre usuários (SCHWIENHORST, 2002).

2.2 - Interfaces Multimodais

Ao interagir com outras pessoas, especialmente como forma de se comunicar com outros seres humanos, diversos canais de comunicação são utilizados, muitas vezes em simultâneo: quando dois indivíduos conversam, frequentemente é possível observar o uso de gestos para reforçar ou transmitir ideias, ou utilizar mudanças na expressão facial e no tom da voz. Esses métodos de comunicação não verbal enriquecem consideravelmente a comunicação entre indivíduos, ao ponto que a sua ausência pode dificultar seriamente a troca de informação (AMIN *et. al.*, 2005). Desse modo, sistemas de comunicação que usam diversos métodos de entrada permitem a possibilidade de uma experiência muito mais enriquecedora aos usuários durante a interação. Diversas ferramentas de comunicação, como o uso de expressões ou sarcasmo dependem da contextualização para serem compreendidas, e muitas vezes são difíceis de captar apenas com o uso de texto.

Assim, os diversos meios de transmissão de mensagens podem reforçar um ao outro (HASEGAWA *et.al.*, 1995). Isso indica que aplicações computacionais que usem mais de um tipo de entrada podem permitir uma melhor compreensão e transferência de dados entre usuários. Permitir o uso de áudio, além de apenas texto, por exemplo, pode possibilitar que os usuários entendam melhor o contexto sendo apresentado.

Aplicações com múltiplos modos de interação, denominadas aplicações com interfaces multimodais, visam enriquecer a interação entre seres humanos e computadores, visto que a interação multimodal é parte da comunicação natural entre indivíduos, e o uso de gestos, expressões e movimentos complementa o fluxo natural de uma conversação (VARONA *et.al.*, 2008). Evidências mostram que o uso de *feedback* multimodal das plataformas de RV, por exemplo, tem tido efeitos positivos na absorção de conhecimentos e informações (MORENO & MAYER, 2002).

Esses métodos de interação podem vir em qualquer combinação, dependendo do tipo de uso e das formas de entrada esperada. O envio de mensagens por celular pode ser feito usando um teclado virtual e o *touchscreen* do celular, ou totalmente por comandos de voz. O sistema de tradução do Google conta com o método de escrita tradicional, pelo teclado, mas também oferece suporte à escrita por caneta.

2.2.1 – Definição e Conceitos

Multimodal pode ser compreendido como aquilo que possui “vários modos” ou “múltiplas modalidades” de interação, com cada modo sendo associado a pelo menos um dos sentidos de percepção: audição, visão, tato, olfato e paladar (INACIO JÚNIOR, 2007). A partir disso, pode-se entender interfaces multimodais como sendo interfaces de interação (Figura 2.7) entre um ou mais usuários e um sistema de computação que permita um número variado de entradas de dados (REEVES *et.al.*, 2004).

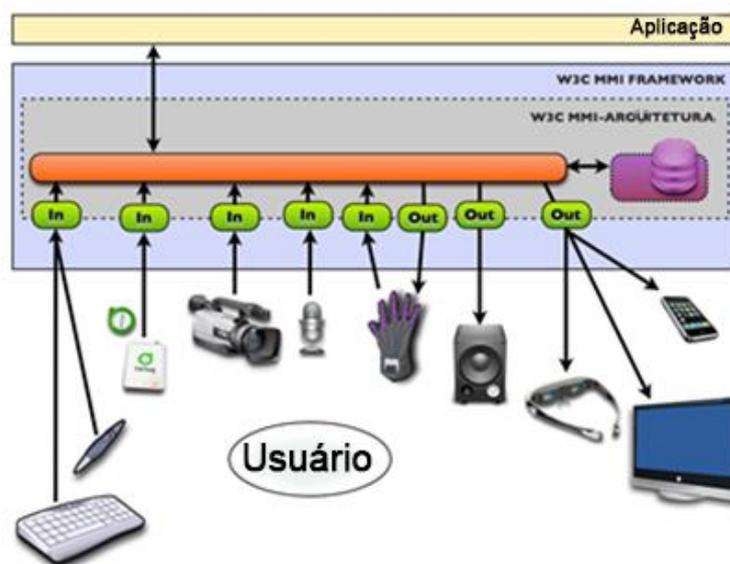


Figura 2.7 – Diagrama descrevendo uma interface multimodal genérica, adaptado de (RODRIGUEZ *et. al.*, 2012)

Interfaces multimodais permitem uma maior precisão na medição de dados, além de fornecer a possibilidade de uma operação mais natural de sistemas (SHARMA *et.al.*, 1998). Outra vantagem é permitir que os usuários tenham uma maior compreensão do sistema que esteja sendo apresentado, fornecendo um auxílio no processamento do mapeamento mental de atividades dentro do mesmo (YU *et.al.*, 2006). Isso faz com que sistemas multimodais complementem aplicações que já usem alguma forma de multimídia, como a RV.

Um das vantagens do uso de interfaces multimodais é a adaptabilidade ao usuário: O usuário pode usar o método que lhe for mais prático em determinada situação, como operar um telefone por comandos de voz por meio de um assistente (LAPUT *et.al.*, 2013) e mudar para controles por *touchscreen* quando lhe for mais conveniente. É também possível ao usuário usar métodos mais tradicionais como um teclado e *mouse*, mas mudar para uma caneta digital, ao precisar escrever ou esboçar algum desenho (HUANG *et.al.*, 2000).

Outro aspecto importante de sistemas que utilizam interfaces multimodais é o potencial para maior acessibilidade à computação. OVIATT & COHEN (2000) comentam que a possibilidade de oferecer diversos tipos de entrada para a operação pode facilitar o uso por pessoas com diferentes níveis de habilidade, ou até mesmo indivíduos com deficiência física ou motora.

Entretanto, ao se desenvolver aplicações que usem essa tecnologia, é importante levar em consideração como as informações são apresentadas ao usuário, a fim de evitar a sobrecarga de informações (MORENO & MAYER, 2002). Um número maior de entradas também implica em um número maior de dados, portanto, os sistemas que utilizam essas aplicações devem estar prontos para lidar com um grande volume de dados, sendo recebidos e tratados em tempo aceitável.

Atualmente, aplicações ainda tendem a ser desenvolvidas a partir do zero, em parte pela ausência de uma metodologia padrão de desenvolvimento. OBRENOVIC *et.al.* (2007) também apontam para a necessidade de se criar uma metodologia padrão ao lidar com interfaces multimodais, a fim de melhor utilizar essa tecnologia para lidar com problemas de acessibilidade. Em seu trabalho, eles apontam como a criação de uma visão unificada para acessibilidade e design de interfaces multimodais permitiria explicitar e estabelecer, formalmente, relacionamentos entre os conceitos envolvidos, e resultar em uma interface que melhor se adapte ao usuário.

Diversos outros fatores que merecem atenção ao se desenvolver uma aplicação com interação multimídia são apresentados em (REEVES *et.al.*, 2004). Alguns que se destacam são:

- A necessidade de *feedback* aos usuários. Mesmo algo simples como um *display* que informe aos usuários o estado dos outros, ou de elementos do sistema, para que eles tenham sempre noção do estado do sistema e dos resultados de suas ações;
- Consistência dos dados apresentados a todos os usuários. Não deve haver nenhum tipo de discrepância entre as informações recebidas pelos usuários, independentemente da forma de interação usada.
- Adaptabilidade da aplicação aos diversos usuários. Independentemente das necessidades especiais e contextualização de cada indivíduo, o sistema deve ser claro e permitir uma fácil usabilidade para todos os usuários.

2.2.2 - Aplicações

Um sistema de conversa com vários usuários é proposto por MATSUSAKA *et.al.* (1999). Eles utilizam diversos tipos de sensores e algoritmos para detectar detalhes em uma conversa e analisar dados não óbvios a sistemas que simplesmente capturam o áudio. Alguns desses detalhes são o uso de gestos durante a conversa, a tonalidade da voz, e a expressão facial dos participantes. Dada a importância de comunicação não verbal entre pessoas, essa coleta de dados multimodais permite ao sistema melhor compreender o que está sendo comunicado entre os envolvidos, captando insinuações que não seriam perceptíveis sem o contexto apropriado.

O trabalho de VARONA *et.al.* (2008) mostra o uso de interfaces modais como ferramenta de apoio à acessibilidade. Seu trabalho propõe o uso de reconhecimento facial para identificar o rosto do usuário e seu foco de visão, e usa esses dados para substituir o controle por *mouse* tradicional. Isso oferece a usuários que não possuam a coordenação motora ou capacidade física para usar o *mouse*, uma alternativa de controle não verbal.

Ainda sobre acessibilidade, YU *et.al.* (2006) apresentam uma interface que permite ao usuário com dificuldades de visão explorar e navegar na *Web*. Isso é feito sem o uso de ferramentas tradicionais, mas sim usando dispositivos hápticos que utilizam impulsos para fornecer *feedback* ao usuário. Essa interface foi avaliada com

participantes vendados, e os resultados mostraram a funcionalidade da interface proposta.

Dois sistemas para manipulação da visualização de mapas são propostos por FRANCESE *et.al.* (2012). Os sistemas Wing e King usam sensores de detecção de movimento para permitir que usuários controlem o modo de visualização de mapas *online*. Embora os sistemas apresentados sejam bem específicos, os resultados da avaliação mostram que há potencial no uso de entradas multimodais no controle de visualização de ambientes virtuais.

Em GOMES *et.al.* (2008), é proposta uma interface baseada em papel para o aprendizado. Com o uso de uma televisão digital, o usuário pode utilizar um *scanner* de código de barras, ou um controle remoto, para interagir com uma aplicação dentro do aparelho. Essa interface tem como uso proposto auxiliar na aprendizagem, embora substituir o uso de controle remoto por leitores de código de barras tenha sido apresentado como possível.

Uma ferramenta voltada para o ensino é a proposta por NG *et.al.* (2007). Nesse trabalho, é apresentada uma ferramenta que usa a captura de gestos para auxiliar no ensino e no aprendizado de instrumentos de corda. Além dos gestos, também, é usado som para identificar detalhes da operação dos instrumentos musicais. O sistema permite ainda a visualização tridimensional do desempenho de um usuário, a qual oferece ainda mais detalhes e uma maior precisão para a compreensão das técnicas envolvidas.

Uma ferramenta para edição de imagens é proposta por LAPUT *et.al.* (2013), usando *touchscreen* para selecionar elementos de uma imagem e reconhecimento de áudio para realizar tarefas de manipulação gráfica, como mudar a cor de um objeto, ou ajustar o brilho. O aplicativo também permite a criação de “etiquetas” para a edição de diversos elementos em simultâneo.

2.3 - Colaboração e Comunicação

Com o aumento da especialização, tem se tornado cada vez mais necessário que profissionais com conhecimentos em áreas distintas trabalhem em conjunto (DEEK *et. al.*, 2005). Com isso, faz-se necessário que requisitos, métricas e práticas que seriam comuns para um indivíduo tenham que ser transmitidos para todos os outros envolvidos em determinado projeto. Esse trabalho, em conjunto entre indivíduos com conhecimentos distintos com um mesmo objetivo, faz com que conceitos como cooperação e colaboração sejam cada vez mais importantes (HASSELBRING, 2000).

Por sua vez, colaboração e cooperação, embora frequentemente usados como sinônimos, possuem características distintas, e métodos específicos para sua aplicação. Técnicas de colaboração e cooperação geralmente baseiam-se na capacidade de coordenar um grupo cujos integrantes comuniquem-se entre si de maneira clara e concisa (KRUGER *et. al.*, 2004).

Em especial, comunicação é um dos aspectos mais importantes para colaboração, visto que para que haja coordenação, também é preciso que haja comunicação. Também é a comunicação que permite que conceitos específicos de um contexto sejam transmitidos, e lições aprendidas em determinada experiência sejam passadas adiante, garantido a proliferação do conhecimento para todo o grupo (NUSEIBEH & EASTERBROOK, 2000).

2.3.1- Definindo Colaboração e Cooperação

É importante definir o conceito de colaboração e diferenciá-lo de outro conceito bastante similar, muitas vezes usado como sinônimo, que é o de cooperação. Em (BULGARELLI *et.al.*, 2017), as distinções entre os dois conceitos são revisadas, incluindo o uso histórico dos termos. É importante notar que apesar das diferenças, nenhum dos conceitos é intrinsecamente “melhor” que o outro. Apenas acontece que um pode ser mais apropriado a um tipo de contexto do que o outro.

Colaboração pode ser definida como uma atividade onde os membros de um mesmo grupo trabalham conjuntamente e se apoiam mutuamente para atingir um objetivo comum. Esse trabalho colaborativo ocorre sem a existência de formas hierárquicas de divisão das tarefas. Não há “gerentes” ou “administradores” (CARLONE & WEBB, 2006).

Cooperação, por outro lado, pode ser definida como um processo de atividade onde os participantes do grupo executam tarefas que não resultam de uma negociação conjunta do coletivo. Ou seja, existe a presença de alguma forma de hierarquia, onde um ou mais participantes podem alterar a distribuição de trabalho dos outros participantes (GULATI *et. al.*, 2012).

Independentemente de qual forma o trabalho em grupo é realizado, é possível afirmar que a grande maioria das atividades tem se beneficiado com as atividades em grupo (WEST & ALTINK, 1996). Um caso que merece menção são as engenharias. Devido à natureza especializada das engenharias, a possibilidade de trabalhar com diversos profissionais, muitos deles com conhecimentos em áreas distintas, é

praticamente vital. Em especial, a Engenharia de Software, que lida com diversas subáreas de computação, efetivamente envolvendo profissionais ainda mais especializados do que em outras engenharias (Especialistas em Banco de Dados, Redes, Inteligência Artificial, Computação Gráfica etc.) (DEEK *et. al.*, 2005).

2.3.2- Ferramentas colaborativas

Um ambiente de desenvolvimento pode ser dito como sendo um Ambiente Colaborativo caso forneça meios para seus integrantes interagirem entre si, favorecendo a comunicação e a coordenação de atividades (MARJANOVIC, 1999). Isso pode ser feito com o auxílio de um software especializado oferecendo suporte a trabalhos em grupo, um *Groupware*, ou por medidas mais simples, como a remoção de divisórias entre os funcionários, ou o estabelecimento de reuniões frequentes (KAN *et. al.*, 2001).

Os *groupwares* começaram como sistemas de software que permitiam a participação de membros de um grupo no processo de desenvolvimento em longas distâncias, como teleconferências. Entretanto, com a evolução dos ambientes de trabalhos e dos processos de desenvolvimento, mais funcionalidades vêm sendo adicionadas, como por exemplo, um *log* de atividades dos usuários, interfaces compartilhadas, mais alternativas para a comunicação entre os usuários, entre outras (ELLIS *et. al.*, 1991).

Também é importante mencionar a linha de pesquisa em CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*), que estuda mais detalhadamente em como utilizar computadores como forma de suporte ao trabalho cooperativo (KRUGER *et. al.*, 2004). Esse suporte se estende além de *groupwares*, envolvendo práticas de ambientes colaborativos e estruturação da informação em bases de dados. Por isso, diversos trabalhos envolvendo CSCW, também, são relevantes dentro do contexto de Engenharia de Software (GRUDIN, 1994).

2.3.3- Modelo 3C

O modelo 3C (Figura 2.8) é um modelo de colaboração usado frequentemente na literatura para classificar os sistemas colaborativos, levando em consideração 3 dimensões: Cooperação, Coordenação e Comunicação. Cada uma dessas dimensões é interligada, ou seja, atividades ou medidas que afetam uma dimensão possui repercussões nas outras dimensões (ELLIS *et. al.*, 1991).



Figura 2.8 - Modelo 3C (FUKS *et. al.*, 2009)

A *Cooperação* é a atuação conjunta dos membros do grupo no espaço compartilhado para a produção de objetos ou informações. Com a *Coordenação*, os atores, as atividades e os recursos são gerenciados para lidar com conflitos e evitar a perda dos esforços de comunicação e de cooperação, como no caso do retrabalho. A *Comunicação* envolve a troca de mensagens, pela argumentação e pela negociação entre os indivíduos. Apesar da separação destas atividades para fins de análise, a coordenação, a comunicação e a cooperação não são realizadas de maneira isolada, sendo realizadas continuamente e iterativamente durante toda a duração do processo (STEINMACHER *et. al.*, 2010).

Diversos artigos têm estudado a relevância e efetividade do modelo 3C (FUKS *et. al.*, 2005), muitas vezes usando o modelo para avaliar um *groupware* já estabelecido ou que esteja sendo proposto.

2.3.4 - Comunicação

Embora se trate de uma atividade realizada com relativa frequência e facilidade, é pertinente tentar apresentar uma definição do que seria comunicação. SONNERWALD (1996) define comunicação como sendo todo comportamento humano que facilita o compartilhamento de significados que existem dentro de um contexto social particular. De um modo geral, pode-se considerar como comunicação toda a troca de mensagens dentro de um mesmo contexto entre dois ou mais indivíduos, com o

intuito de transmitir dados ou informações. A natureza dessa troca pode ser de qualquer forma: escrita, oral, visual etc. (DARLING & DANNELS, 2010).

Como mencionado anteriormente, comunicação é um dos principais componentes da colaboração, o que faz com que o comentário previamente feito sobre a relevância da colaboração dentro das engenharias também se aplique à comunicação. De fato, LAYZELL *et. al.* (2000) comentam que a “Engenharia de Software também é um processo social onde as dimensões de interação social (Comunicação, Cooperação e Coordenação) são tão importantes quanto os aspectos técnicos.”.

Para que um grupo de indivíduos trabalhe de forma coordenada e eficiente, é importante que cada membro do grupo esteja ciente do contexto geral das atividades realizadas dentro do grupo. Por isso, informação dentro de um grupo deve ser de fácil acesso e compreensão. O uso de técnicas que favoreçam a comunicação, como a adoção de padrões de mensagem, facilita o acesso dos integrantes à informação, evitando problemas de desenvolvimento como o retrabalho e a incompatibilidade de elementos desenvolvidos em partes separadas (GOPAL *et. al.*, 2002).

2.3.4.1 - Comunicação e o Processo de *Design*

Independentemente de sua aplicação ou de outras especificidades, o processo de design de sistemas envolve a participação de especialistas em diversas áreas, muitas vezes requerendo que profissionais que desconhecem determinado assunto tenham que desenvolver métodos ou funcionalidades que satisfaçam necessidades que lhes são estranhas. Para isso, é preciso que todos os envolvidos no processo entendam os requisitos envolvidos, e as particularidades do ambiente ao qual o sistema está destinado (GRIFFIN & HAUSER, 1992).

Por essas e outras razões, a comunicação é parte integral do processo de desenvolvimento e do *design* de sistemas e aplicações. Um grupo de desenvolvimento que mantém um forte vínculo de comunicação evita o retrabalho e trabalha de forma eficiente (SONNERWALD, 1996). Sua importância faz com que um passo exclusivo à comunicação seja incluído em diversos modelos de desenvolvimento, como pode ser visto na Figura 2.10.

Em teoria, toda a comunicação entre os membros de um grupo de trabalho deveria ser armazenada em um *log* de fácil acesso por todos, e soluções para problemas transmitidas para todos os envolvidos no projeto, caso algum dos envolvidos eventualmente se depare com um problema similar. Entretanto, o que se vê na prática é

que boa parte da comunicação entre desenvolvedores é feita de maneira *ad-hoc*, sem a preocupação de registrar o conhecimento adquirido ou de repassar a informação para os outros membros do grupo (TOUTAIN *et. al.*, 2011).

Para remediar isso, vários aplicativos de *groupware* incluem diversos métodos de comunicação entre os usuários, além de *logs* que armazenam essas informações. Alguns até permitem a pesquisa de palavras-chave específicas, tornando mais fácil o acesso dos usuários ao conhecimento coletivo do grupo.

2.4 – Considerações Finais

A Realidade Virtual tem-se apresentado como uma tecnologia vasta com diversas aplicações. A capacidade de simular um ambiente virtual que represente uma situação desejada permite uma maior adaptabilidade que, em conjunto com os diversos tipos de dispositivos de visualização e interação, fazem com que os usuários tenham uma experiência enriquecedora. Os diversos tipos de dispositivos também permitem o uso das aplicações de formas variadas.

O uso de interfaces multimodais abre um grande leque de possibilidades para o uso de ferramentas com vários usuários. O maior número de entradas de dados permite uma maior captura de informações, as quais podem ser usadas para melhor lidar com uma aplicação.

Finalmente, a colaboração permite que usuários realizem tarefas complexas demais para apenas um usuário. Com o auxílio de sistemas de software colaborativos, fica ainda mais fácil permitir que usuários de níveis distintos de conhecimento interajam entre si, com um propósito comum. Isso só é possível caso o ambiente permita a comunicação entre os envolvidos. Sistemas que oferecem a capacidade de operação por vários usuários devem suportar a comunicação entre eles, caso se queira usufruir dos benefícios da colaboração.

Baseado nos conceitos apresentados neste capítulo, a seguir é proposto uma abordagem que use aspectos de Realidade Virtual, Interfaces Multimodais, e Colaboração, com o propósito de atender o problema apresentado anteriormente.

3 - VMAG 3D

Este capítulo tem como objetivo apresentar a abordagem e ferramenta do mesmo nome, VMAG 3D, descrevendo seus requisitos, funcionalidades e limitações. Dada a sua natureza baseada na abordagem VisAr3D, este capítulo também discorre sobre esta abordagem. Serão também apresentados alguns trabalhos relacionados, os quais abordam conceitos relevantes à abordagem VMAG 3D.

Este capítulo é organizado da seguinte forma: a Seção 3.1 apresenta a abordagem VisAr3D, que serviu de base para a abordagem VMAG 3D. Na Seção 3.2, são descritos os conceitos envolvidos na abordagem VMAG 3D. A Seção 3.3 são detalhadas as implementações da ferramenta VMAG 3D. A Seção 3.4 aborda alguns trabalhos relacionados, elaborando a sua relevância para a abordagem desenvolvida, e a Seção 3.5 finaliza o capítulo, apresentando as considerações finais.

3.1 - VisAr3D

A abordagem VisAr3D - Visualização de Arquitetura de Software em 3D representa um ambiente de ensino e aprendizagem que utiliza as tecnologias de RA e RV para proporcionar a exploração e interação de modelos UML através da visualização 3D. Essa abordagem foi proposta em (RODRIGUES, 2012) e diversos de seus conceitos servem de base para a abordagem desenvolvida nesta dissertação. Este capítulo descreve, de maneira simplificada, alguns desses conceitos. Mais detalhes podem ser encontrados em (RODRIGUES, 2012) e (RODRIGUES, 2016).

3.1.1 - Objetivos da abordagem VisAr3D

A abordagem VisAr3D apoia o ensino de Engenharia de Software, mais especificamente na área de Modelagem de Sistemas, auxiliando alunos que estejam iniciando seus estudos na disciplina. Os principais requisitos que a abordagem visa atender são:

- Oferecer suporte ao desenvolvimento e à participação dos alunos em projetos complexos. A abordagem incentiva a modelagem de sistemas maiores, como os que os alunos encontrariam fora da academia, num ambiente de trabalho, e suporta o entendimento dos elementos e requisitos dos modelos dessa escala. Propõe ainda o suporte à reutilização e evolução de projetos anteriores.

- Reduzir a distância entre a teoria e a prática. A abordagem dinamiza as experiências na sala de aula, a fim de promover uma maior participação e melhor rendimento na aprendizagem por parte do aluno.
- Apoiar à assimilação de conhecimentos e habilidades. Ao melhorar a comunicação entre os membros do grupo e facilitar a organização e divisão de tarefas dentro da equipe, é possível promover a integração dos resultados individuais para a conclusão de tarefas complexas, o que permite a propagação de conhecimento entre os integrantes do grupo.
- Ser atrativo para o aluno. A abordagem propicia um ambiente exploratório com uma perspectiva tridimensional, que responde às interações dos usuários e é intuitivo.
- Simplicidade e facilidade de uso. Sua operação é intuitiva, a fim de que alunos e professores não percam tempo aprendendo como operar a ferramenta.
- Os diagramas tridimensionais usados têm aparência semelhante aos modelos originais bidimensionais. Os elementos tridimensionais complementam os diagramas 2D sem comprometer a capacidade de compreensão dos diagramas.
- Valorização visual. Usar profundidade, cores e formas para diferenciar as informações adicionais fornecidas pela abordagem com mais facilidade.
- Ocultar detalhes e informações enquanto não forem solicitadas. Modelos de sistemas maiores e mais complexos possuem muito mais elementos que, caso sejam exibidos o tempo todo, obstruiriam a visão do diagrama, dificultando a compreensão dos detalhes do modelo.

3.1.2- Descrição da abordagem

A arquitetura da abordagem VisAr3D é dividida em três módulos (Figura 3.1): um Módulo Arquitetural, onde diagramas são criados, documentados, e exportados no formato XMI; um Módulo de Realidade Aumentada, que reconhece a projeção 2D do

diagrama e permite o acesso ao arquivo XMI relacionado; e um Módulo de Realidade Virtual, responsável por exibir um modelo tridimensional baseado na projeção 2D.

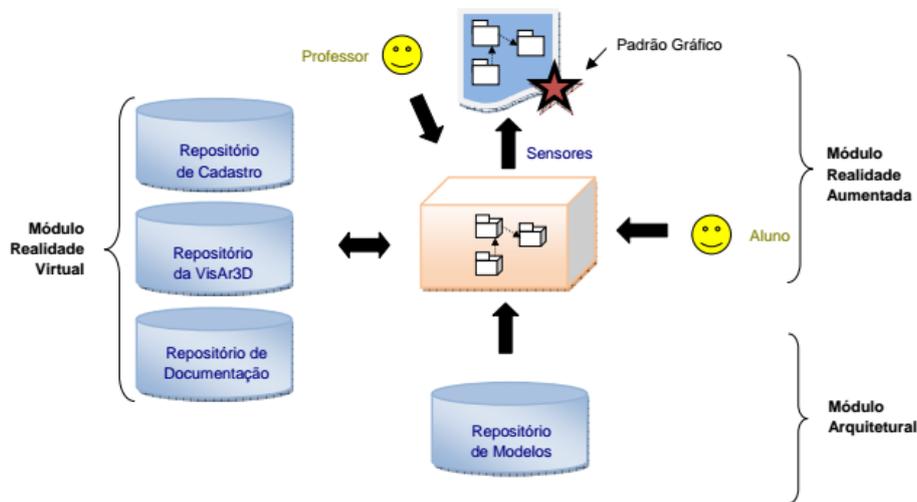


Figura 3.1 – Visão Geral da VisAr3D (RODRIGUES, 2012)

Um uso típico da abordagem consiste na elaboração de diagramas UML em 2D, utilizando uma ferramenta de edição UML, e exportadas para um arquivo XMI pelo Módulo Arquitetural. Esses diagramas são associados a um padrão gráfico para reconhecimento pelo módulo de Realidade Aumentada. Com isso feito, o professor pode ensinar, exibindo um diagrama 2D contendo o padrão gráfico específico do diagrama. O Módulo de Realidade Aumentada, então, reconhece o padrão, que permite, a partir dessa informação, que o Módulo de Realidade Virtual crie os modelos 3D associados ao diagrama (Figura 3.2), automaticamente.

Utilizando essa projeção virtual tridimensional, o professor e os alunos podem explorar e interagir com os modelos UML, visualizando todos os diagramas de um sistema de grande escala do ângulo que desejarem, compreendendo os elementos de modelagem e suas relações neste ambiente tridimensional e filtrar o tipo de informação disponível e relevante, contribuindo com a compreensão do diagrama através de uma atividade de aprendizagem prática e agradável.

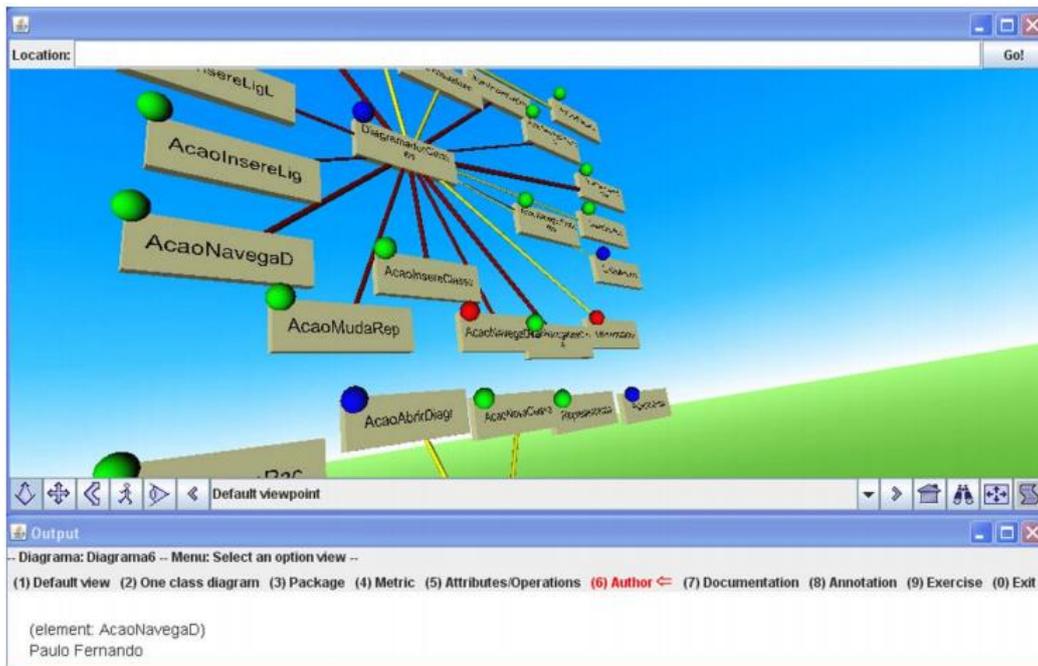


Figura 3.2 – Modelo 3D gerado pelo VisAr3D (RODRIGUES, 2012)

3.1.3 - Protótipo VisAr3D

O protótipo desenvolvido utilizando a abordagem VisAr3D é capaz de exibir uma visão estática de modelos de sistemas de larga escala, a partir de arquivos XMI contendo os dados pertinentes, gerados a partir de uma ferramenta de criação de diagramas UML. Limitando-se ao sistema operacional Windows, a versão disponibilizada foi desenvolvida em Java⁸, X3D⁹, Xj3D¹⁰ (2011) e XMI¹¹ (versão 2.1).

Optou-se pela utilização da API Xj3D para a manipulação dos modelos tridimensionais de padrão X3D por oferecer um conjunto de ferramentas desenvolvidas em Java, bem como um *browser* para visualização dos modelos em 3D e bibliotecas para a manipulação destes modelos. Entretanto, uma visita recente ao site oficial do Xj3D mostrou que ela foi abandonada e está passando, atualmente, por um processo de re-desenvolvimento.

O protótipo oferece a visualização de diversos detalhes sobre o diagrama, como os atributos e métodos pertencentes à cada classe, quais classes estão relacionadas a determinado pacote, quais classes possuem uma documentação e quais se encontram presentes em outros diagramas. Estas informações podem ser filtradas selecionando a

⁸ <https://www.java.com/>

⁹ <https://www.web3d.org/x3d/>

¹⁰ <http://www.xj3d.org/>

¹¹ <http://www.omg.org/spec/XMI/>

opção apropriada com o teclado, e a classe relevante selecionada com o cursor do *mouse*.

Uma avaliação de uso do protótipo foi feita para avaliar a utilização da abordagem na resolução de tarefas dentro da disciplina de Modelagem de Sistemas. Essa avaliação mostrou possíveis melhorias futuras, além de evidências positivas na capacidade de compreensão de modelos UML de sistemas com muitos elementos através do uso da abordagem num ambiente tridimensional.

3.2 – VMAG 3D

Embora a abordagem VisAr3D tenha tido resultados positivos, ela se baseia em tecnologias que, atualmente, se encontram desatualizadas, como o Xj3D mencionado anteriormente, sendo necessária sua atualização para novas tecnologias, e aproveitando para expandi-la. Baseada na abordagem VisAr3D, a abordagem VMAG 3D oferece uma forma de incentivar e auxiliar alunos de computação na compreensão de modelos complexos, de forma colaborativa. Para oferecer uma forma de controle diferenciado, optou-se por usar o Kinect em sua segunda versão para captura de gestos e áudio, oferecendo uma interface multimodal para interação e desenvolvendo a ferramenta VMAG 3D - Visualização de Modelos de sistemas Assistida por Gestos, de mesmo nome.

Essa abordagem de visualização utiliza técnicas de interatividade e imersão para apoiar a compreensão de modelos de sistemas. Isso é feito fornecendo ao usuário a possibilidade de interagir com diagramas de classe exibidos na tela do computador. O uso de gestos com o Kinect também permite aumentar o interesse do usuário no assunto, podendo mover o cursor por meio de gestos ou *mouse*, escolhendo qual tipo de informação deseja ver, facilitando sua assimilação de conceitos de modelagem, além de oferecer uma maior acessibilidade a usuários. E a captura de áudio permite aos alunos recordarem suas observações sobre os diagramas, estimulando a comunicação entre os usuários.

3.2.1 – Objetivos da abordagem VMAG 3D

A abordagem tem como objetivo:

- **Apoiar a compreensão de modelos de sistemas:** VMAG 3D deve auxiliar os usuários na visualização e compreensão de modelos UML,

inicialmente dando prioridade à diagramas de classe de sistemas com vários elementos;

- **Promover um maior interesse dos alunos pela área de Modelagem de Sistemas:** Usando o controle por gestos como atrativo, bem como a possibilidade de operação por vários usuários e a gravação de mensagens, a VMAG 3D deve estimular o interesse dos usuários por conceitos da disciplina de modelagem de sistemas;
- **Estimular o trabalho colaborativo dentro da modelagem de sistemas:** A possibilidade de operação da VMAG 3D por vários usuários deve favorecer a comunicação entre os alunos, permitindo que eles atinjam um objetivo comum: a melhor compreensão do modelo por todos envolvidos. Também, a gravação de mensagens relevantes aos modelos deve permitir e incentivar os usuários a relatar e armazenar informações pertinentes aos modelos para outros usuários;

3.2.2 – Requisitos

Para cumprir os seus objetivos, a VMAG 3D deve atender a certos requisitos. Os principais requisitos estão listados a seguir:

- **Controlar por gestos intuitivos:** Permitir que os usuários se familiarizem mais rapidamente com a abordagem, e diminua o viés negativo durante o período inicial de adaptação aos controles não convencionais: novos usuários estariam mais acostumados com o uso de *mouse* e teclado. Ter gestos que sejam mais naturais ao usuário permite uma melhor usabilidade;
- **Permitir a interação de múltiplos usuários em simultâneo:** Usar a possibilidade de captura de vários usuários e as diferentes interfaces de controle para incentivar o trabalho colaborativo. A VMAG 3D propicia um ambiente que estimule atividades em conjunto entre vários usuários, ao mesmo tempo;
- **Incentivar a comunicação entre os usuários:** Usando a funcionalidade de gravação de mensagens para criar comentários sobre os modelos e seus componentes, para o uso posterior de outros usuários. Ao encontrar detalhes, em um diagrama em particular, que mereçam atenção de um

usuário que não esteja presente, ou simplesmente para referência futura, o usuário usa essa funcionalidade para recordar anotações relacionadas a um diagrama e seus elementos, que podem ser ouvidas a qualquer hora por outros usuários;

Além desses requisitos, a VMAG 3D também possui outros três requisitos principais, herdados da abordagem VisAr3D:

- **Apoiar a participação dos usuários em projetos complexos:** O VMAG 3D tem a possibilidade de ler arquivos XMI representando diagramas UML 2D e convertê-los automaticamente em modelos 3D. Com isso é possível simular diagramas com um grande número de elementos (> 100 elementos, por exemplo) para visualização e interação do usuário;
- **Ser interessante para o usuário:** A VMAG 3D deve estimular o usuário em usar a ferramenta para explorar os modelos, através dos gestos e da gravação de áudio;
- **Exibir diagramas 3D semelhantes aos diagramas 2D de origem:** Os diagramas tridimensionais gerados pela VMAG 3D não devem diferir drasticamente de suas versões originais, permitindo que usuários possam consultar a versão bidimensional, caso necessário.

3.2.3 – Funcionalidades

As seguintes funcionalidades foram previstas para a VMAG 3D:

- **Exploração dos modelos:** O usuário pode controlar a posição e o ângulo de visualização dos modelos. Esse controle pode ser feito primariamente por meio de gestos, mas também é possível o controle utilizando o *mouse*. Usando a interface, é possível selecionar como a visualização é controlada, além de oferecer a possibilidade de restaurar a visualização original;
- **Exibição de vários modelos:** A VMAG 3D permite o carregamento de modelos definidos em um arquivo XMI. Esses arquivos XMI são criados e editados por produtos de software externos, e são lidos pela VMAG 3D para gerar modelos tridimensionais automaticamente. Isso permite

importar modelos com facilidade, disponibilizando o uso de diagramas baseados em sistemas reais;

- **Filtragem dos dados exibidos:** É possível selecionar quais tipos de dados sobre os modelos desejam ser vistos. Isso permite uma menor poluição visual e uma menor quantidade de dados para percorrer, ao procurar por uma informação específica;
- **Gravação de mensagens:** A abordagem permite a captura de áudio, como forma de estimular a comunicação entre os usuários, o que ajuda na compreensão. Essas mensagens podem conter informação relevante ao diagrama visualizado e seus elementos, permitindo passar informação útil aos usuários e incentivando a troca de ideias;
- **Fornecimento de *Feedback* ao usuário:** Permite ao usuário saber quais usuários estão sendo identificados, quem está controlando a visualização e de que forma. Isso ajuda aos usuários compreender o que está acontecendo durante a operação da abordagem;
- **Interface de Interação Multimodal:** A VMAG 3D oferece aos usuários diferentes maneiras de interação. Oferecendo gestos como forma de alternativa de operação da abordagem, permite que os usuários melhor se adaptem, possibilitando a acessibilidade de usuários com dificuldade de manipular um *mouse* ou teclado, que podem optar por usar gestos como método principal de controle.
- **Suporte à colaboração:** Com a possibilidade do Kinect de capturar até seis indivíduos ao mesmo tempo, a VMAG 3D pode usar essa particularidade para simular situações colaborativas próximas de operações de modelagem de sistema mais elaboradas.

3.2.4 – Visão Geral

A figura a seguir (Figura 3.3) mostra a visão geral da abordagem, apresentando sua visão geral com as entradas e saídas, bem como dividindo as funcionalidades da VMAG 3D em 4 módulos, baseados em *scripts* em C# dentro do Unity3D¹²:

¹² <https://unity3d.com/>

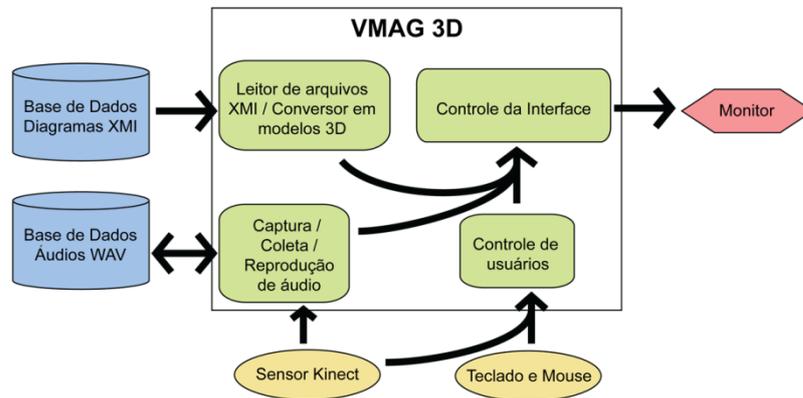


Figura 3.3 - Visão geral da abordagem VMAG 3D

- **Módulo Leitor de Arquivos XMI:** Responsável por ler os arquivos XMI presentes em uma base de dados, identificar os componentes e os dados relacionados a eles, e por transformá-los nos modelos tridimensionais que serão exibidos na tela principal. Informações como a posição dos componentes e os dados relacionados a eles são enviados para o controle da interface, para lidar com a interação entre modelos e usuários;
- **Módulo de Captura, Coleta e Reprodução de Áudio:** Módulo com as funcionalidades que ligam o VMAG 3D aos microfones do sensor Kinect e à base de dados de áudio. Esse módulo permite capturar o áudio pelo sensor, ou carregar um áudio gravado anteriormente, reproduzi-lo para o usuário, e armazenar essas gravações na base.
- **Módulo de Controle dos Usuários:** Responsável por coletar os dados obtidos pelo sensor Kinect e pelos periféricos tradicionais do computador, o *mouse* e o teclado, e interpretar essa informação como formas de interação do usuário. Alguns desses dados são a posição dos cursores/mãos dos usuários, quais teclas estão sendo pressionadas e quais gestos estão sendo feitos;
- **Módulo de Controle da Interface:** Módulo que utiliza os dados obtidos pelos outros módulos para gerenciar a interface, permitindo que os usuários possam interagir com os diagramas e menus, além de garantir que a interface se adapte a diferentes tamanhos de monitores e fornecer *feedback* do uso da ferramenta aos usuários.

3.3 – Implementação

Para implementar uma ferramenta de apoio foi desenvolvido um protótipo, por sua vez, baseado em um trabalho anterior que explorava as funcionalidades do sensor Kinect, os quais são apresentados a seguir:

3.3.1 – Trabalho anterior (VMAG)

Um primeiro protótipo foi desenvolvido, com o intuito de melhor se familiarizar com a programação de aplicações utilizando o sensor Kinect, bem como avaliar a viabilidade da implementação de uma ferramenta de visualização utilizando gestos como controle. O protótipo foi desenvolvido a partir dos exemplos disponibilizados com o *SourceDevelopmentKit* (SDK) do Kinect, e um experimento foi realizado com alunos da área de computação da UFRJ, com resultados positivos, embora não conclusivos. Detalhes sobre este primeiro protótipo, e o experimento que seguiu podem ser encontrados em (ANTUNES *et. al.*, 2015).

Este protótipo pode exibir sua interface em 2D (Figura 3.4) na própria tela do computador ou em uma parede através de um projetor. Por se tratar de um protótipo inicial, a aplicação possuía diversas limitações. Em especial, apenas um usuário podia interagir com o protótipo por vez, e não havia nenhum tipo de prevenção caso um segundo usuário entrasse no campo de captura do Kinect, o que impedia o seu funcionamento. Uma avaliação foi realizada para verificar a usabilidade da ferramenta. Embora tenha contado com um grupo de usuários relativamente pequeno, os resultados foram positivos, embora não pudessem ser considerados como conclusivos.

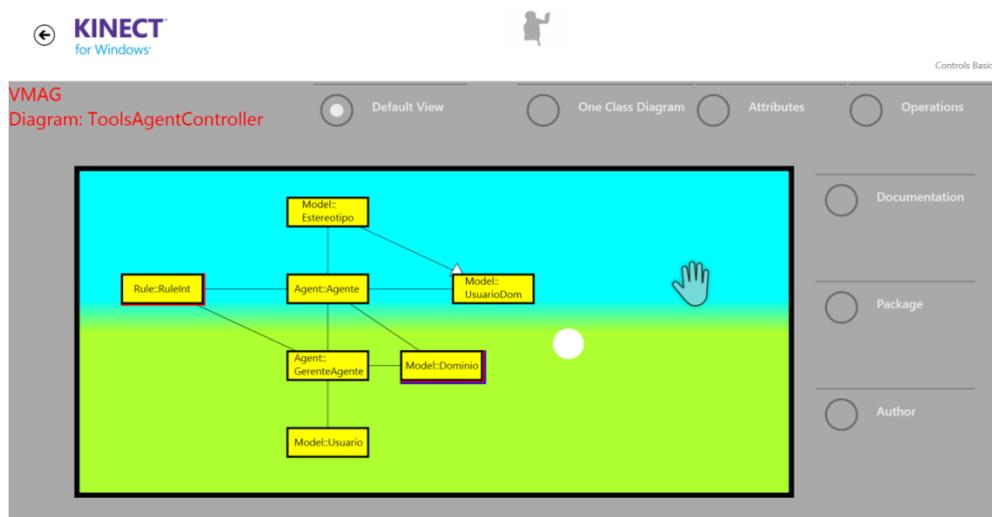


Figura 3.4 - Interface da VMAG

3.3.2 - Implementação do protótipo VMAG 3D

Devido à dificuldade na conversão para o 3D usando o XAML¹³, *eXtensible Application Markup Language*, linguagem utilizada no primeiro protótipo para programar a interface, e dado que a estrutura original dos exemplos do Kinect não utilizava elementos tridimensionais, optou-se por procurar outra plataforma que favorecesse o uso de elementos 3D. A *engine* de desenvolvimento Unity3D permite o desenvolvimento de aplicações tridimensionais e, em sua versão mais recente, oferece o suporte a periféricos como o sensor Kinect e o Oculus RIFT. O desenvolvimento ativo e a vasta comunidade também favoreceram a escolha dessa plataforma.

Com a passagem do VMAG de diagramas 2D para modelos 3D (Figura 3.5), a ferramenta não mais utiliza arquivos XAML para definir a interface, visto que o Unity3D lida com interfaces de modo distinto. Em vez disso, a interface de interação é codificada dentro da própria aplicação, o que por sua vez, resulta em mais possibilidades de visualização. As funcionalidades ainda se encontram em arquivos em C#, mas a sua estrutura teve que ser alterada para se adaptar ao padrão usado pelo Unity3D. Mais informações sobre as alterações iniciais podem ser encontrados em (ANTUNES *et. al.*, 2016).

Surgiu também o uso de arquivos XMI, os quais guardam informações sobre os modelos, servindo assim para permitir que a ferramenta utilize vários diagramas, os quais podem ser exportados a partir de um editor UML, em vez de se limitar a apenas um como o protótipo original. Esses diagramas são gerados automaticamente, a partir do arquivo XMI ao se iniciar o programa, e são exibidos em um ambiente tridimensional, onde os usuários podem ajustar o ponto e o ângulo de visualização manualmente também por meio de gestos. Isso permite que o usuário visualize o modelo em diversos ângulos, o que, em conjunto com a possibilidade de filtrar informações visuais, favorece a compreensão do modelo.

¹³ <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/uwp/xaml-platform/xaml-overview>

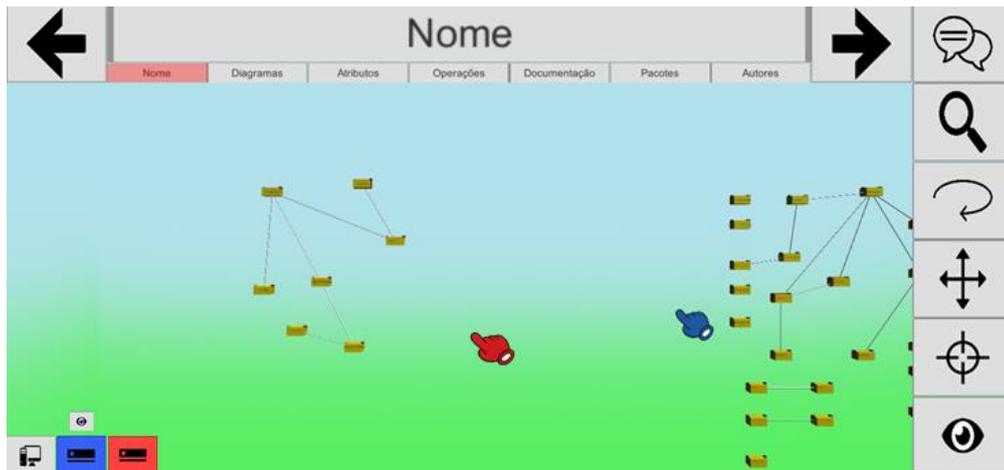


Figura 3.5 – Tela da segunda implementação

A segunda implementação também conta com suporte multiusuário, explorando essa funcionalidade do Kinect. Cada usuário possui um cursor com sua cor específica (Azul, Vermelho, Verde, Amarelo, Roxo, Laranja), permitindo até 6 usuários em simultâneo. Um sétimo usuário pode operar a aplicação diretamente do computador, usando o *mouse* e o teclado. Os usuários identificados pelo Kinect são exibidos no canto inferior esquerdo (Figura 3.6). Ao ser identificado, o usuário é automaticamente associado à próxima posição. Caso algum dos usuários se retire ou deixe de ser reconhecido pelo sensor, os usuários são automaticamente reajustados. Por exemplo: Caso o sensor reconheça 3 usuários, e o usuário 2 se retire, o usuário 3 ocupará a segunda posição, mantendo a sua cor.

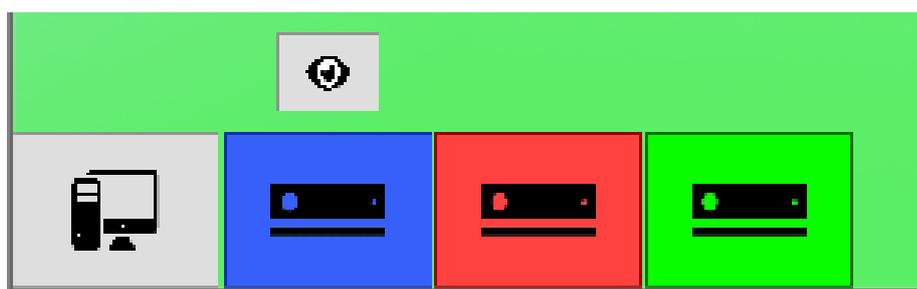


Figura 3.6 – Barra de *Status* mostrando três usuários detectados pelo Kinect, com o usuário 1 (Azul) controlando a visualização

De maneira similar ao primeiro protótipo, os usuários podem selecionar qual tipo de informação querem acessar ao interagir com os elementos do diagrama. Essa opção é selecionada interagindo com as setas na parte superior da tela (Figura 3.7), ou

através do teclado. Qualquer usuário pode selecionar o tipo de informação a qualquer momento.

As opções são as mesmas da primeira versão, mas com nomes distintos:

- **Nome:** Ao passar o cursor por um elemento do diagrama, o nome desse elemento é exibido junto ao cursor. Essa é a função padrão da ferramenta e é selecionada, automaticamente, com a sua inicialização.
- **Diagramas:** Algumas classes de um determinado diagrama podem estar representadas em diversos diagramas distintos. Essa funcionalidade auxilia a visualização desses relacionamentos pela adição de objetos visuais, que indicam quais classes possuem relacionamentos externos ao diagrama. Ao selecionar essa funcionalidade, passando o cursor por quaisquer classes no diagrama que foram modeladas em outros diagramas, exibe-se o nome dos diagramas que contêm o objeto. Classes que se encontram em mais de um diagrama possuem um contorno vermelho como apoio visual.
- **Atributos:** Com esta funcionalidade selecionada, o usuário pode ver uma lista de quais atributos pertencem a uma dada classe, ao passar o cursor por qualquer classe presente no diagrama.
- **Operações:** O usuário pode passar o cursor por qualquer classe presente no diagrama para ver uma lista de quais são as operações pertencentes àquela classe.
- **Documentação:** O desenvolvimento de um diagrama de classe geralmente acarreta a produção de documentos associados a determinadas classes, muitas vezes contendo informações adicionais sobre o seu comportamento. Ao selecionar essa funcionalidade, passar o cursor por quaisquer classes que possuam uma documentação associada, exibe-se o nome dos documentos associados ao objeto. Classes que possuam qualquer documento associado a elas possuem um contorno azul como apoio visual.
- **Pacotes:** Selecionar essa opção faz com que pequenos retângulos coloridos apareçam no canto superior direito de cada classe. Esses retângulos representam de quais pacotes se originam essas classes e ajudam a visualização, sem ser necessário visualizar cada classe

individualmente. Mover o cursor sobre uma classe com essa funcionalidade selecionada exibe o nome do pacote ao qual a classe pertence.

- **Autores:** Essa funcionalidade permite visualizar a autoria da classe no diagrama. Essa opção exibe pequenos círculos coloridos na parte superior esquerda da classe, facilitando a visualização. Passar o cursor pela classe exibe o nome do autor correspondente à classe.



Figura 3.7 – Barra de Informação, onde é possível escolher qual tipo de dados são visualizados. A opção Nome se encontra selecionada

No canto superior direito, se encontra o botão de mensagens (Figura 3.8). Assim que qualquer usuário interagir com o botão, é apresentada a tela de mensagens (Figura 3.9). Nela é possível ver uma lista com as mensagens já gravadas associadas ao diagrama, caso existam, e novas mensagens são adicionadas à lista automaticamente. Elas têm o nome do arquivo XMI que gerou o modelo, para facilitar a identificação dos arquivos. As mensagens são reproduzidas interagindo com os nomes na lista. Essas mensagens contêm informações que podem ser relevantes ao diagrama associado, e contribuir para o seu entendimento e a comunicação entre os usuários. Por exemplo, um usuário pode reportar elementos do diagrama que possuam dados incorretos, como repetições de elementos, ou incongruências entre elementos presentes em múltiplos diagramas.



Figura 3.8 – Botão da Tela de Mensagens

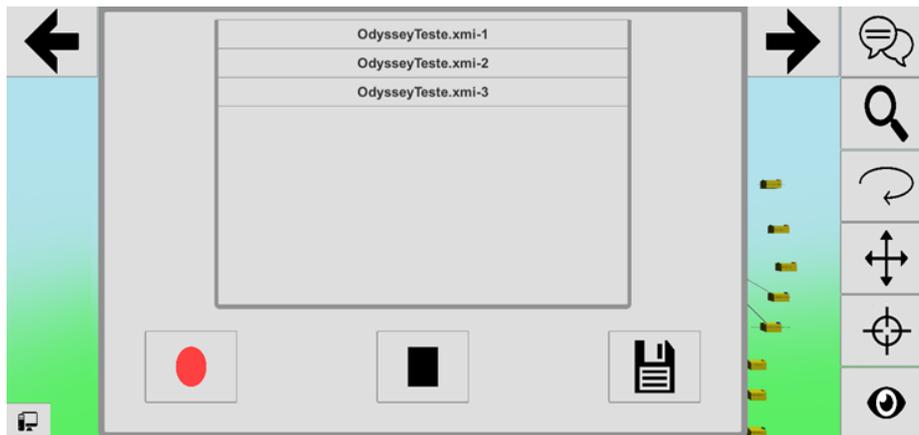


Figura 3.9 – Tela de mensagens exibida sobre a tela geral, com três mensagens já gravadas

Na parte inferior da tela de mensagens, existem 3 botões, responsáveis pela gravação de novas mensagens. O botão da esquerda inicia uma nova gravação. Qualquer gravação iniciada não salva será perdida, caso o botão não seja apertado. O botão central para a gravação e reproduz o áudio capturado para que o usuário verifique se a mensagem foi capturada de maneira satisfatória. Por fim, o botão da direita salva a captura mais recente em uma nova mensagem, criando o arquivo de áudio no computador, e adicionando a nova entrada à lista.

Os botões no lado direito na tela inicial são responsáveis pelo controle da visualização (Figura 3.10). No caso de multiusuários interagindo, o usuário precisa interagir com o botão no canto inferior esquerdo para pedir permissão de controle da visualização. Caso outro usuário já esteja controlando, é preciso aguardar que o usuário atual termine de controlar e aperte o botão novamente para liberar o controle. Caso o usuário que esteja controlando deixe de ser capturado pelo sensor, o controle é liberado, permitindo que qualquer outro usuário assuma. Os outros quatro botões controlam o tipo de movimento da visualização. Eles são, de cima para baixo:

- *Zoom*, que permite afastar e aproximar a visualização, oferecendo a possibilidade de visualizar vários diagramas num tamanho menor ao mesmo tempo, ou focar em detalhes de um elemento;
- *Rotação*, que roda a visualização a partir de um ponto invisível na frente do ponto de vista, transladando em torno desse ponto;

- Movimentação, que permite mover a visualização em um plano perpendicular ao ponto de vista, podendo se mover para cima, para baixo, ou para os lados;
- *Reset* da Visualização, que retorna a visualização ao ponto original, permitindo uma fácil correção da visualização, caso o usuário mova o campo de visão para longe dos diagramas.



Figura 3.10 – Botões para controle da visualização

3.4 – Trabalhos relacionados

Durante a pesquisa, alguns trabalhos foram encontrados por meio de busca adhoc, e se destacaram, apresentando conceitos e experiências comparativas a aspectos da VMAG 3D. Seguem os trabalhos, e a comparação com a ferramenta proposta.

3.4.1 – *Digito: A Fine-Grain Gesturally Controlled Virtual Musical Instrument*

Digito (GILLIAN & PARADISO, 2012) apresenta uma aplicação usando gestos como forma de controle de um instrumento musical virtual. As notas produzidas são afetadas pelo tipo de gesto realizado e a sua posição. Para evitar a necessidade de se utilizar luvas hápticas, as quais poderiam atrapalhar o usuário, caso deseje usar um instrumento real em simultâneo, optou-se por utilizar o sensor de captura de movimento do Kinect.

O trabalho detalha a importância do uso de *feedback* visual (Figura 3.11) para o usuário, ao operar ferramentas de controle por gesto: como os controles são virtuais, muitas vezes não há uma representação real, parecendo que o usuário está interagindo

com o ar. O uso de *feedback* visual permite ao usuário saber o que está acontecendo durante o uso da ferramenta, e melhor assimilar os controles virtuais.

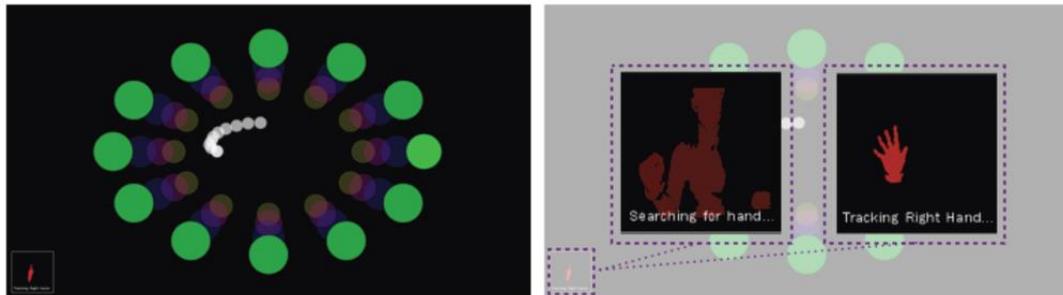


Figura 3.11 – *Feedback* visual da ferramenta Digito, com detalhe para a captura do usuário pelo Kinect, adaptado de (GILLIAN & PARADISO, 2012)

Na ferramenta VMAG 3D, esse tipo de *feedback* visual é feito através de uma barra de *status* localizada na parte inferior esquerda da tela da ferramenta. Ele é responsável por mostrar quais usuários estão sendo identificados pelo sensor, bem como qual usuário está controlando a visualização.

3.4.2 – *Distributed and Collaborative Visualization*

Em seu trabalho, BRODLIE *et. al.* (2004) apresentam a importância da visualização de dados, do ponto de vista de colaboração. São mostrados diversos tipos de visualização, e como diversos usuários podem utilizar visualização distribuída e colaborativa para melhor compreender um sistema, usando comunicação para passar ideias e conhecimentos entre os usuários.

Além disso, o trabalho também aborda os problemas de se permitir a visualização por diversos usuários de forma centralizada, com apenas uma saída de visualização, detalhando como as diferentes necessidades de visualização de cada usuário podem levar a uma disputa pelo controle da visualização, o que causa dificuldades de compreensão para todos os usuários. O trabalho também apresenta diversas aplicações, apontando como algumas delas resolveram esses problemas com a divisão do controle.

Visto que a ferramenta VMAG 3D permite o controle da visualização, ao mesmo tempo em que vários usuários a operem em simultâneo, a divisão do controle da visualização também é um problema a ser resolvido. No caso, a ferramenta utiliza um sistema de *token*: ao solicitar o controle da visualização, aquele usuário se torna

responsável pelo controle. Caso outro usuário queira alterar a visualização, deve aguardar até que o usuário original libere o controle, para que solicite o controle para si próprio.

3.4.3 – Input/Output Devices and Interaction Techniques

HINCKLEY *et al.* (2004) apresentam diversos tipos de controle e dispositivos de interação. São também apontadas algumas das propriedades desses dispositivos, como dimensões de controle, e tempo de resposta. Essas e outras informações são utilizadas para comparar dispositivos e métodos de interação com sistemas computacionais. Essas comparações são feitas dentro de contextos específicos, como usabilidade de entradas para certo tipo de dado.

A ferramenta VMAG 3D utiliza a captura de áudio para a criação de mensagens entre usuários. A razão para o uso de áudio em vez de texto é a dificuldade no uso de controles por gestos para a operação de um teclado virtual, a qual poderia influenciar negativamente a experiência de uso. O trabalho de HINCKLEY *et al.* (2004) explica em detalhes a dificuldade de se usar esse tipo de entrada, justificando a escolha pelo áudio. Essa dificuldade, por sua vez, seria ainda maior dentro da VMAG 3D, visto que controlar o teclado virtual através de gestos requereria interagir com botões pequenos, dependendo de um grande nível de precisão do sensor Kinect.

3.5 – Considerações finais

Baseando-se na abordagem VisAr3D, a VMAG 3D visa utilizar o controle por gestos para auxiliar a compreensão de diagramas de classe. A segunda implementação possui várias funcionalidades que se encontravam ausente no protótipo inicial, como a exibição 3D, a capacidade de ser operado por vários usuários, e a possibilidade de utilizar vários diagramas. A nova versão também conta com funcionalidades adicionais, como a captura de áudio, e um sistema de *feedback* para facilitar aos usuários melhor entenderem como a ferramenta está operando.

Alguns trabalhos encontrados reforçam algumas das escolhas de desenvolvimento da ferramenta, como o uso de mensagens de áudio em vez de um teclado virtual para mensagens escritas, ou o sistema para compartilhamento do controle da visualização. Esse sistema também possui a possibilidade de incentivar a colaboração, já que, em vez de liberar o controle para que outro usuário altere o ângulo

de visualização, pode ser mais simples solicitar ao usuário atualmente com o controle que ele mesmo altere.

De maneira similar ao primeiro protótipo, não é possível afirmar a usabilidade dessas novas funcionalidades sem uma avaliação. Tal avaliação deve usar as funcionalidades da nova versão em um contexto mais apropriado, levando em consideração a possibilidade de uso da ferramenta por mais de um usuário em simultâneo. A realização de tal avaliação é abordada no próximo capítulo.

4 - Avaliação da Ferramenta

Há evidências de que é possível perceber e compreender melhor os sistemas de software cada vez mais complexos se eles são exibidos como objetos gráficos em um espaço tridimensional (WARE *et al.*, 1993). Entretanto, apenas exibir os elementos em uma visão tridimensional não garante uma melhora na compreensão. Cada aplicação necessita ser propriamente experimentada antes de ser considerada válida.

De acordo com JURISTO e MORENO (2010), a Engenharia de Software Experimental afirma que a validade de qualquer corpo de conhecimento deve ser avaliada para que esse conhecimento possa ser considerado científico. Tendo isso em mente, um estudo para avaliar o protótipo da ferramenta VMAG 3D foi planejado e conduzido nos meses de julho e agosto de 2017, a fim de atingir um nível adequado de evidência a respeito das tecnologias utilizadas no contexto desta dissertação. Este capítulo detalha esse estudo e está organizado da seguinte forma: A Seção 4.1 define os objetivos da avaliação; na Seção 4.2, é detalhado o planejamento do estudo e, na Seção 4.3, a execução da avaliação; os resultados são apresentados e discutidos na Seção 4.4, e o capítulo finaliza com a Seção 4.5, apresentando as considerações finais.

4.1 - Objetivo do estudo

O objetivo deste estudo é avaliar a validade do uso da ferramenta VMAG 3D para contribuir com a compreensão de modelos UML complexos, utilizando o sensor Kinect como ferramenta de apoio para permitir diferentes tipos de entrada de dados, bem como o trabalho cooperativo.

Pontos importantes a serem avaliados:

- A ferramenta permite explorar modelos complexos de forma satisfatória do ponto de vista do usuário, utilizando gestos ou o *mouse*?
- A ferramenta permite ao usuário trabalhar em simultâneo com outros usuários?
- A ferramenta favorece a comunicação entre usuários usando captura de áudio?

Seguindo a abordagem GQM – *Goal/Question/Metric* (BASILI *et al.*, 1994), o objetivo do estudo pode ser descrito como:

- Analisar: o uso do protótipo VMAG 3D
- Com o propósito de: Caracterizar

- Com respeito a: Usabilidade, satisfação e percepção do usuário no uso de controle por gestos ao operar uma ferramenta de visualização de modelos UML representados tridimensionalmente
- Do ponto de vista do: Pesquisador
- No contexto da: Execução de tarefas por alunos, semelhantes às aplicadas em uma disciplina de Modelagem de Sistemas, utilizando um sistema com muitos elementos de modelagem.

4.2 - Planejamento

Para este estudo, o tipo adotado para a condução da avaliação é definido na literatura como estudo observacional. Estudos observacionais são aqueles onde o participante realiza alguma tarefa enquanto é observado por um experimentador (SHULL, CARVER & TRAVASSOS, 2001). Esse tipo de estudo tem como finalidade coletar informações sobre como cada uma das tarefas foi realizada e, através dessas observações, obter uma compreensão de como a ferramenta é efetivamente utilizada (Figura 4.1), bem como detalhes da experiência do usuário ao operar a ferramenta.

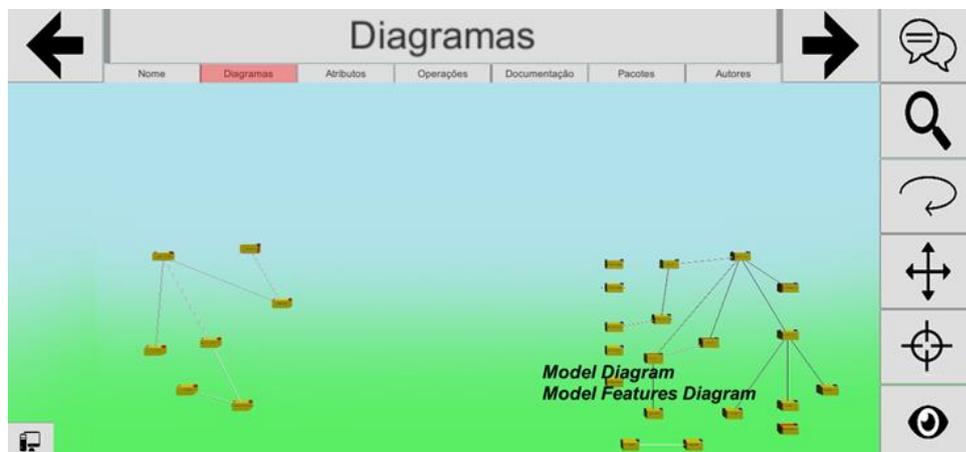


Figura 4.1 - Tela do VMAG 3D em uso, obtendo informação dos diagramas a que uma classe pertence

O estudo colocou os participantes como usuários da ferramenta, os quais deveriam utilizar a ferramenta para obter dados dentro de um modelo. Todos os participantes foram expostos ao mesmo modelo e as mesmas tarefas, a fim de manter uma padronização dos resultados obtidos. Esse modelo foi baseado em um modelo da ferramenta Odyssey (WERNER *et. al.*, 1999), apresentando quatro diagramas

pertencentes à ferramenta, modelados utilizando a ferramenta *Enterprise Architect*¹⁴, e contendo 91 classes. Esta é uma ferramenta para modelagem de diagramas, que permite a criação e edição de diversos diagramas UML, além de oferecer a funcionalidade de exportar os diagramas para um arquivo XMI, o qual pode ser lido pela ferramenta VMAG 3D.

Tendo em mente a natureza cooperativa da VMAG 3D, algumas das tarefas deveriam ser realizadas em dupla, com o pesquisador responsável pelo estudo servindo como ajudante do participante, estando atento para não influenciar o resultado. Optou-se por serem atribuídas oito tarefas, das quais cinco deveriam ser feitas pelo participante sozinho, e três em dupla. Essas tarefas explorariam todas as funcionalidades principais da ferramenta, como controle da visualização, escuta e captura de mensagens de áudio e cooperação entre usuários. Essas tarefas se encontram detalhadas no Apêndice C.

4.2.1 - Piloto

Inicialmente, um teste piloto foi realizado com um aluno de mestrado do curso de Engenharia de Software da UFRJ, a fim de identificar possíveis problemas na execução da avaliação. Esse teste piloto usou as mesmas condições que seriam esperadas durante o estudo.

O piloto mostrou a necessidade de mudanças no conteúdo de algumas questões, bem como a necessidade de refinar as instruções e o treinamento que antecederiam as tarefas.

4.3 - Execução da Avaliação

Foram utilizados 10 participantes, selecionados por conveniência através da indicação de terceiros e por anúncios espalhados pelo prédio do Centro de Tecnologia, UFRJ. Todos os participantes eram alunos, mas de níveis de formação acadêmica distintos, de áreas relacionadas à computação da COPPE/UFRJ e com algum nível de conhecimento sobre modelos UML. Esse requisito foi colocado para evitar desvios dos resultados por desconhecimento do participante sobre a natureza dos modelos utilizados durante a avaliação.

Cada sessão da avaliação utilizou um participante e durou cerca de 60 minutos. Em cada sessão, o participante foi inicialmente informado sobre o estudo através do

¹⁴ <http://sparxsystems.com/products/ea/>

Formulário de Consentimento (Anexo A). Após concordar com os termos presentes no formulário, o que tomou em média 3 minutos, o participante então preenchia o Questionário de Caracterização (Anexo B), o que levou em média 12 minutos, com o intuito de avaliar o nível de conhecimento e experiência do participante em diferentes temas relacionados ao estudo e, assim, melhor interpretar os dados obtidos.

Em seguida, cada participante recebeu um treinamento básico através de um apresentação em arquivo .ppt, mostrando as funcionalidades e controles da ferramenta VMAG 3D (Figura 7.3). Esse treinamento foi seguido de um breve intervalo para que o usuário interagisse com a ferramenta livremente, a fim de evitar a possibilidade de qualquer tipo de viés originado pela falta de familiaridade com os controles. Essas atividades duraram aproximadamente 10 minutos.

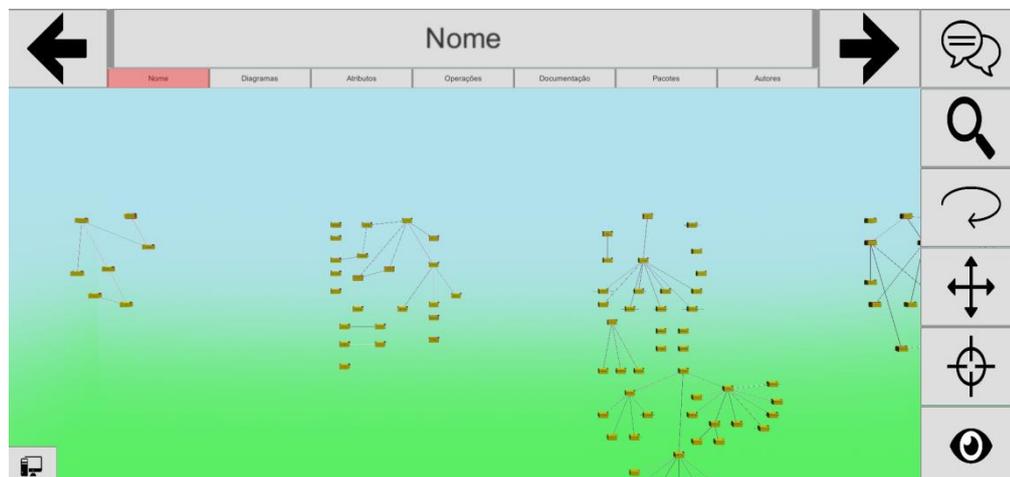


Figura 4.2 - Tela do VMAG 3D exibindo os diagramas utilizados no experimento

Após o treinamento, cada participante recebeu as Tarefas (Anexo C) com as instruções para sua execução, a sua contextualização e as questões a serem respondidas. Os participantes, então, utilizaram a ferramenta para responder as questões solicitadas no questionário - o que tomou em média 25 minutos. Com o preenchimento das Tarefas, cada participante recebeu, por fim, um Questionário de Avaliação (Anexo D), contendo questões sobre sua experiência com o uso do protótipo da ferramenta VMAG 3D. O preenchimento desse questionário levou cerca de 10 minutos.

4.4 - Resultados

4.4.1 - Caracterização dos Participantes

Conforme dito anteriormente, os participantes do estudo são alunos da COPPE/UFRJ, selecionados por conveniência. Não houve nenhum tipo de compensação para os mesmos. No total, 10 indivíduos participaram do estudo, entre eles, 3 doutorandos, 2 mestrandos e 5 graduandos, conforme ilustrado na tabela a seguir:

Tabela 4.1 - Composição dos participantes por formação acadêmica.

| | Doutorando | Mestrando | Graduando |
|-------|------------|-----------|-----------|
| Total | 3 | 2 | 5 |

Embora todos já tivessem algum conhecimento básico sobre modelagem UML, visto que era um requisito, o nível de familiaridade com o assunto variou de participante para participante. A Figura 4.3 mostra a distribuição da experiência dos participantes com modelos UML. Também perguntou-se quão complexos eram os sistemas que haviam modelado. As respostas estão agrupadas na Figura 4.4. Nesse gráficos, é possível constatar que os participantes tinham níveis de familiaridade bastante variados em relação à modelagem UML. É também possível observar que apenas 10% dos participantes tiveram experiência prévia com modelos contendo mais do que 50 elementos, o que implica numa menor experiência com modelos de sistemas complexos.

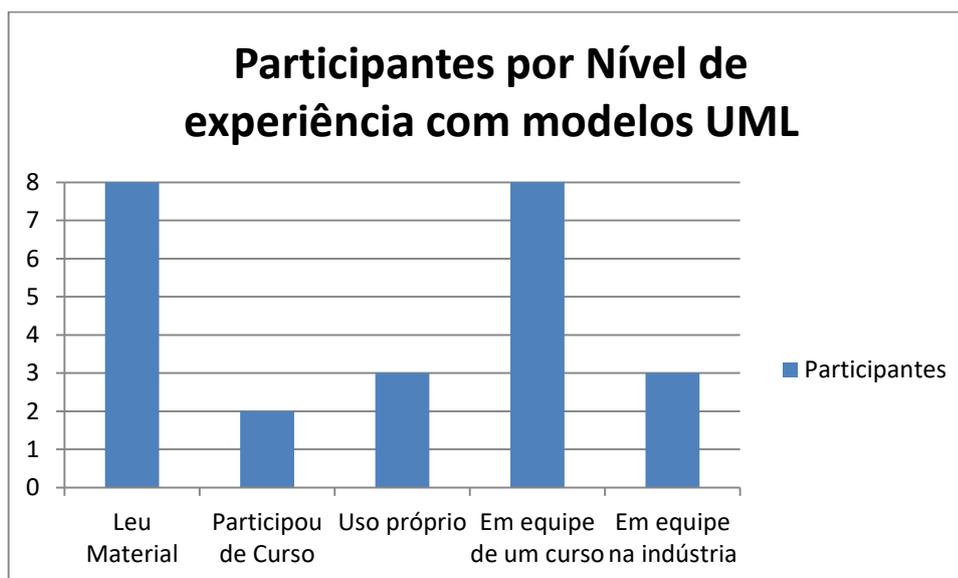


Figura 4.3 - Nível de experiência dos participantes com modelos UML por quantidade de participante

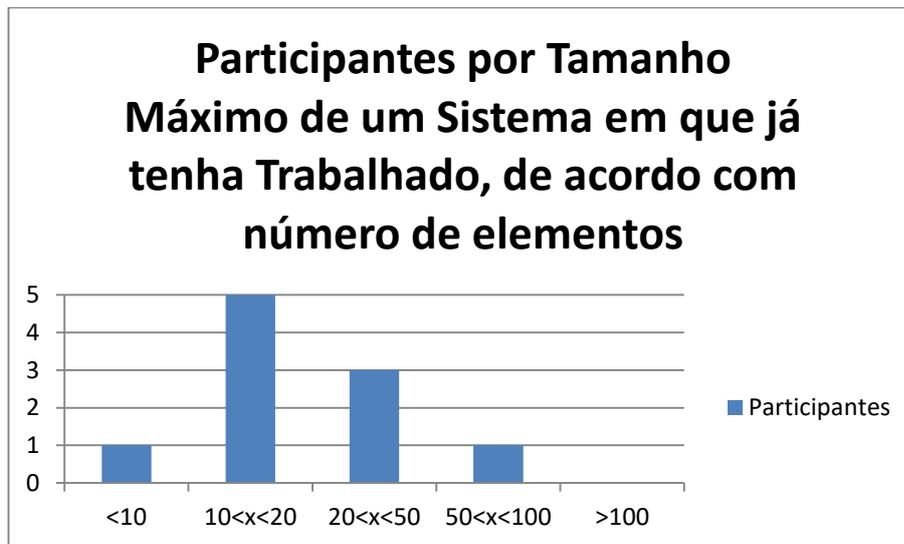


Figura 4.4 - Número de elementos dos modelos UML mais complexos por quantidade de participante

Também foi perguntando aos participantes qual o nível de familiaridade com conceitos relevantes à ferramenta: Modelagem de sistemas de informação, Orientação a Objetos, Interfaces Multimodais, Trabalho Cooperativo e Sistemas Complexos. Suas respostas foram compiladas na Figura 4.5. Nele pode-se ver que os participantes se mostraram relativamente familiarizados com os tópicos, com exceção de interfaces multimodais, com 50% dos participantes tendo respondido apenas ter um vago conhecimento sobre o assunto, e 30% afirmaram nunca terem ouvido falar do conceito anteriormente.

É importante notar que, apesar de que apenas 10% dos participantes afirmaram trabalhar com diagramas com mais de 50 elementos, conforme observado no Figura 4.4, mais da metade dos participantes afirmaram ter conhecimento prático sobre sistemas complexos (Figura 4.5). Isso implica em duas possibilidades: Ou os participantes possuíam uma métrica distinta para avaliar complexidade de sistemas, ou eles foram imprecisos em suas afirmações. Ainda sobre familiaridade, ao serem questionados sobre experiências anteriores com controles por gestos, todos os 10 participantes afirmaram já terem utilizado tais dispositivos como controle de jogos.

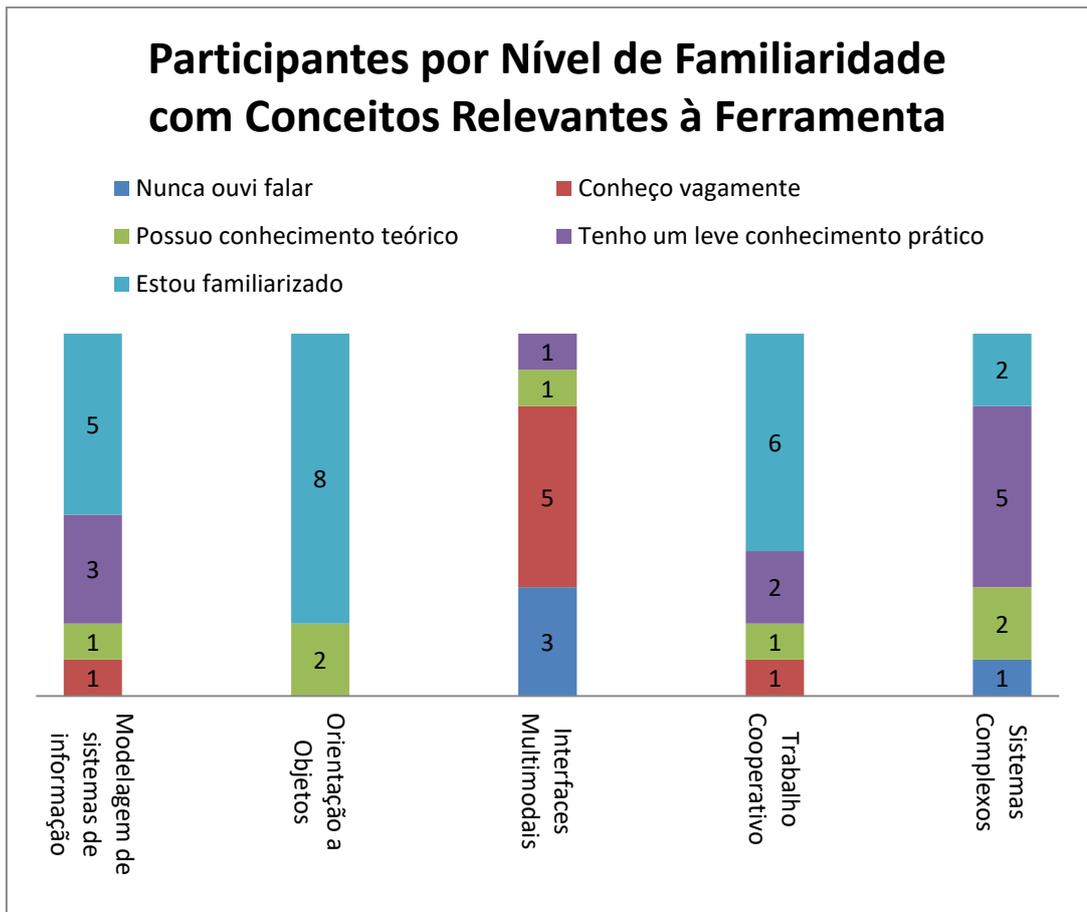


Figura 4.5 - Nível de familiaridade dos temas relacionados à ferramenta pela quantidade de participantes

Para finalizar a caracterização, foi perguntado aos participantes qual o tamanho máximo da equipe em que tinham trabalhado durante projetos cooperativos. Os resultados se encontram na Figura 4.6. O gráfico mostra que todos os participantes tiveram alguma experiência prévia com tarefas em simultâneo, em grupos. Esses resultados reforçam os resultados presentes na Figura 4.5, em relação à familiaridade com trabalho cooperativo, onde 80% dos participantes afirmaram possuir um conhecimento prático no assunto.

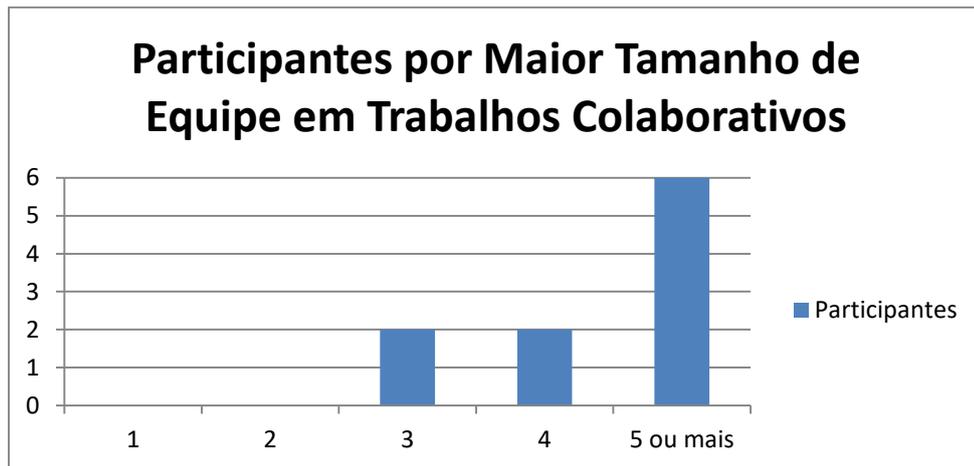


Figura 4.6 - Tamanho máximo de equipe em trabalhos colaborativos por participantes

4.4.2 - Tarefas

Todos os 10 participantes conseguiram realizar as 8 tarefas corretamente. É importante ressaltar que embora algumas questões pudessem resultar em mais de uma resposta válida, os participantes responderam de forma semelhante na maior parte dos casos.

As tarefas consistem essencialmente na coleta de informações presentes dentro do diagrama. Algumas dessas tarefas especificaram o tipo de entrada que deveria ser usada ("Usando gestos, identifique uma classe que se encontre em mais de um diagrama."), bem como se a tarefa deveria ser realizada em grupo ou individualmente (Usando o *mouse*, encontre a classe "No", pertencente ao 4º diagrama, e solicite ao outro usuário que identifique o quinto operador.").

O propósito dessas distinções foi para uma melhor avaliação da usabilidade de determinados aspectos da ferramenta, como por exemplo avaliar a usabilidade de gestos para explorar o ambiente tridimensional, ou a possibilidade de criar gravações de áudio contendo informações sobre o diagrama, ou comparar o uso de entradas distintas em simultâneo, com um usuário usando o *mouse* e o outro gestos.

4.4.3 - Questionário de Avaliação

Foi pedido aos participantes que avaliassem a dificuldade que sentiram durante o uso da ferramenta, em uma escala decrescente de dificuldade, de 0 à 5. Os resultados se encontram no Figura 4.7. Esses resultados mostram que 90% dos participantes perceberam um nível de dificuldade entre mediano e fácil ao realizar as tarefas. Isso

mostra que, apesar dos comentários negativos quanto à interação com os botões na interface, os participantes não sentiram dificuldade ao navegar pelo ambiente tridimensional e obter informações dentro do diagrama.

30% dos participantes ainda comentaram verbalmente que alguns dos gestos das mãos eram similares aos usados pelos dedos em uma *touchscreen*. Isso sugere um nível de familiaridade e intuitividade que favoreceu a operação da ferramenta.

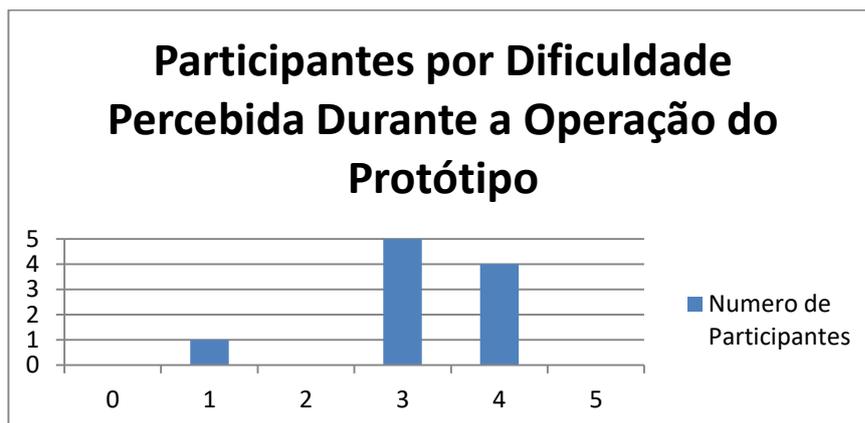


Figura 4.7 - Dificuldade percebida pelos participantes ao operar o protótipo durante o experimento (0 sendo muito difícil e 5 muito fácil) por participante

Ao serem questionados se conseguiram realizar as tarefas e se ficaram satisfeitos com os resultados, as respostas dos participantes foram positivas na maioria dos casos, conforme visto na Figura 4.8. Os 20% que afirmaram estar parcialmente satisfeitos também foram os que mais fizeram comentários verbais sobre a dificuldade na operação, o que sugere que a frustração ao operar a interface afetou negativamente a satisfação de uso do protótipo.

Na Figura 4.9, é possível observar a opinião dos participantes quanto à suficiência do treinamento fornecido antes da realização das tarefas. Os participantes que afirmaram não estar completamente satisfeitos com o treinamento sugeriram a possibilidade de revisar algumas das funcionalidades da ferramenta antes de encerrar a parte prática do treinamento. Os 20% que afirmaram estar parcialmente satisfeitos com o treinamento não foram os mesmos 20% presentes no gráfico anterior. Apesar disso, ambos os gráficos mostram que a opinião sobre esses aspectos da ferramenta foram, de modo geral, positivos.

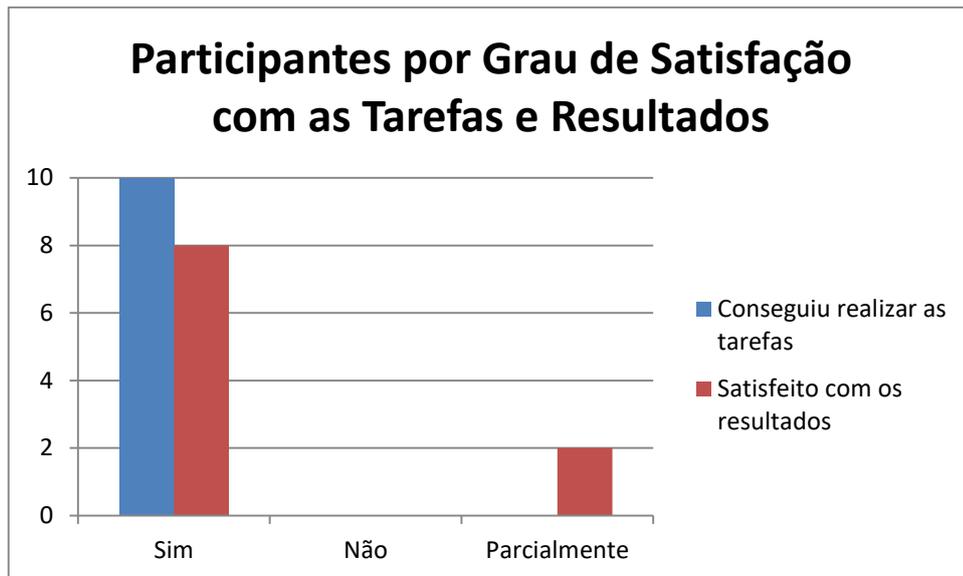


Figura 4.8 - Grau de satisfação dos participantes com os resultados das tarefas, sobreposto aos resultados da quantidade de participantes que realizaram as tarefas

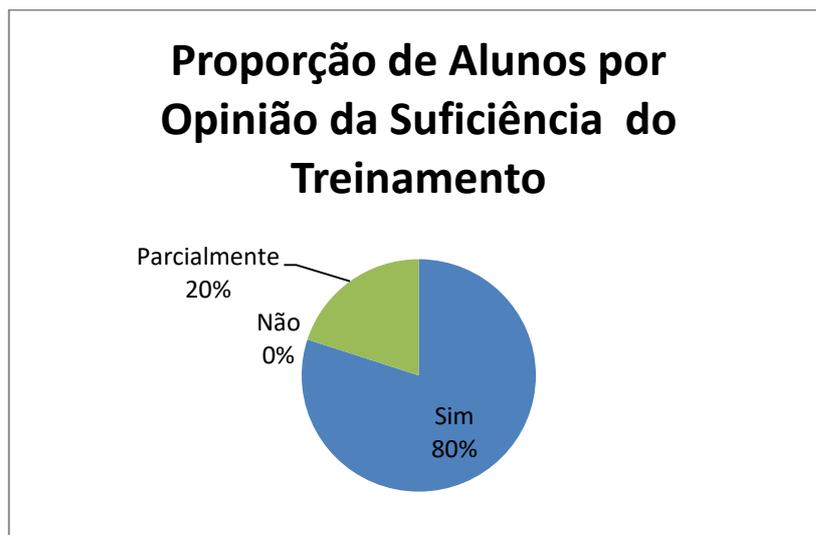


Figura 4.9 - Opinião dos participantes quanto à suficiência do treinamento para uso do protótipo

Perguntou-se aos participantes se acharam que a ferramenta se adequava ao uso em atividades em grupo, e se a funcionalidade de áudio favorecia a criação de comentários relacionados ao modelo. As respostas foram agrupadas nas Figuras 4.10 e 4.11 respectivamente, e mostram que os participantes se mostraram favoráveis quanto ao uso da ferramenta para situações em trabalho em grupo, e para o incentivo à comunicação. Isso por sua vez sugere que é possível responder positivamente à segunda

e terceira questões apresentadas na Seção 4.1: "A ferramenta permite ao usuário trabalhar em simultâneo com outros usuários?" e "A ferramenta a comunicação entre usuários usando captura de áudio?".

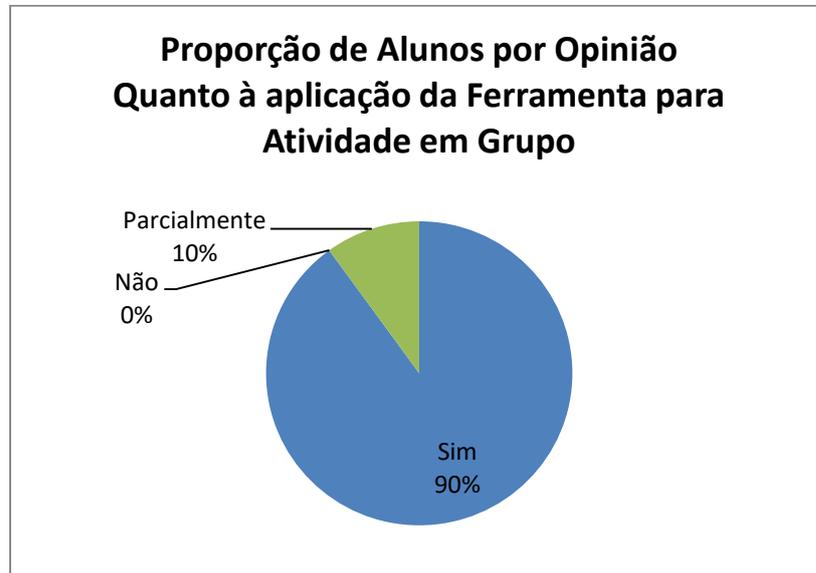


Figura 4.10 - Adequação da ferramenta para atividades em grupo de acordo com os participantes do estudo



Figura 4.11 - Opinião dos participantes quanto à importância da funcionalidade de áudio

Os resultados do Figura 4.10 foram refletidos nos comentários verbais de 60% dos participantes, que afirmaram que as tarefas em grupo foram mais simples de serem

realizadas, em comparação às tarefas individuais. É importante considerar que ambos os tipos de tarefa tiveram o mesmo tipo de formato, a fim de evitar algum tipo de viés em relação à dificuldade da pergunta, e assim permitir que o experimento melhor reflita o uso da ferramenta em uma situação de operação por vários usuários em simultâneo.

Foi apresentada aos participantes uma tabela contendo 11 funcionalidades principais do VMAG 3D, as quais eles deveriam marcar seu nível de satisfação, de "nada satisfeito" (0) até "muito satisfeito" (3). Além disso, as 8 primeiras funcionalidades requisitaram duas respostas, uma em relação à operação por gestos e a outra ao se usar o *mouse*, a fim de melhor avaliar as diferenças entre as formas de entrada da ferramenta. As Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 contêm os dados coletados.

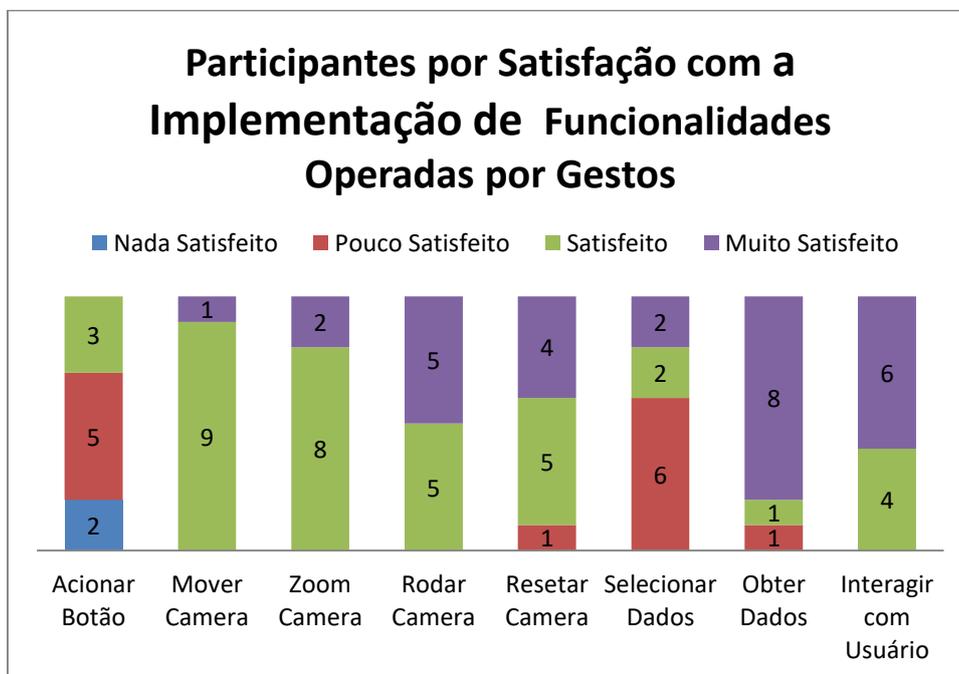


Figura 4.12 - Satisfação dos participantes com as funcionalidades da ferramenta operadas por gestos

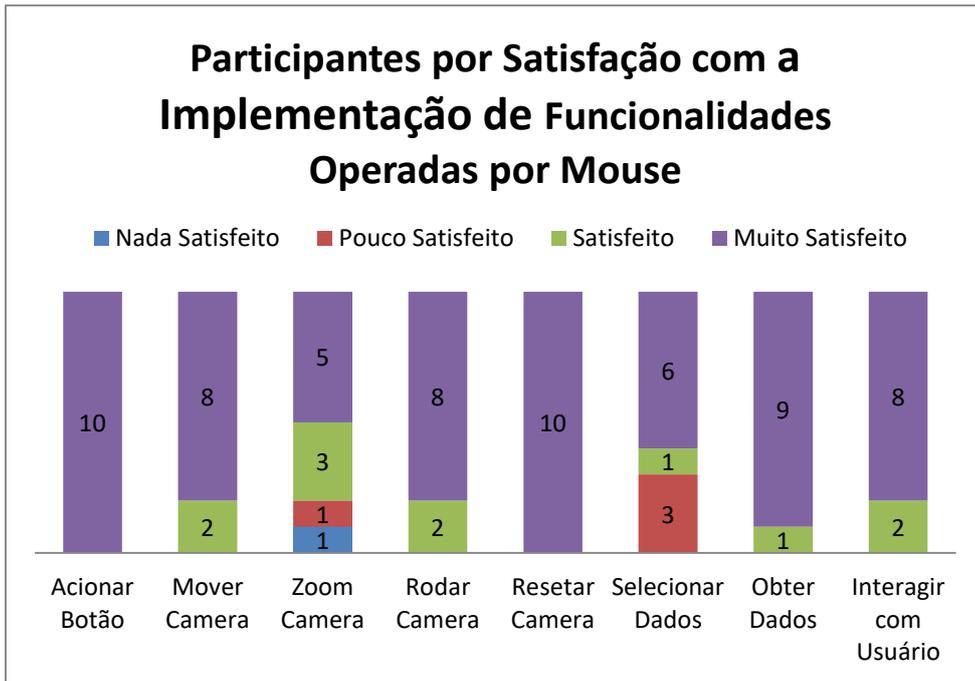


Figura 4.13 - Satisfação dos participantes com as funcionalidades da ferramenta operadas pelo mouse

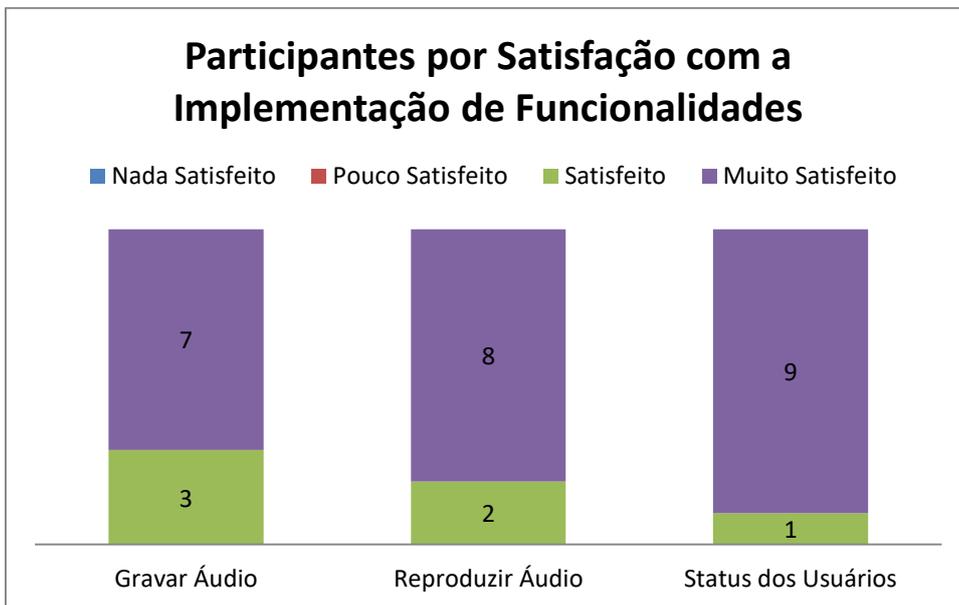


Figura 4.14 - Satisfação dos participantes com a implementação de funcionalidades independentes da forma de controle

Esses gráficos mostram que, embora haja uma certa preferência ao modo de controle tradicional, o controle por gesto foi relativamente satisfatório. A exceção foi quanto às operações de acionar botão e selecionar dado, operações relacionadas à interação com a interface. Isso sugere que alterações na interface que permitissem uma

melhor precisão ao interagir com os botões poderiam melhorar a experiência do usuário. A opinião geral positiva também sugere uma resposta positiva à primeira questão levantada na Seção 4.2: "A ferramenta permite explorar modelos complexos de forma satisfatória do ponto de vista do usuário, utilizando gestos ou o *mouse*?".

Quanto ao áudio, os participantes mostraram-se satisfeitos com a implementação. Durante o uso, os participantes demonstraram entusiasmo ao gravarem uma mensagem e ouvirem a própria voz saindo da ferramenta, embora 20% deles tenham comentado verbalmente que gostariam que houvesse alguma forma mais clara de indicação que a gravação havia começado. Isso reflete a opinião apresentada anteriormente na Figura 4.11.

Como a funcionalidade de Status dos Usuários é algo que serve para o *feedback* de como a ferramenta está operando, não houve nenhum comentário relevante sobre o seu uso.

Por fim, pediu-se aos participantes que comentassem sobre aspectos positivos e negativos da ferramenta. A seguir algumas das respostas.

Aspectos positivos:

- "A visualização tridimensional, em conjunto com a distribuição dos diagramas em uma área de trabalho unificada e compartilhada."
- "Parece ser uma ferramenta interessante para visualizar diagramas. O *zoom* e o movimento da câmera são bem úteis para isso"
- "Visualização dinâmica dos diagramas. Possibilidade de muitos usuários."

Aspectos negativos:

- "Kinect pode dificultar com pouco espaço."
- "O clique dos botões [utilizando as mãos], dificulta o uso."
- "Dificuldade em clicar nos botões [utilizando as mãos] e na leitura dos elementos do diagrama."

De um modo geral, os participantes mostraram-se satisfeitos com a ferramenta como um todo, em especial o uso de elementos tridimensionais, a possibilidade de operação com vários usuários em simultâneo, e a possibilidade de gravação de áudio. O principal fator que afetou negativamente a experiência foi a falta de precisão do sensor Kinect ao detectar os gestos para pressionar os botões. Esse fator, porém, é de origem

do próprio hardware, e enquanto alterações na programação podem ser feitas para mitigar essas limitações, uma solução ideal seria uma melhoria na precisão do sensor.

4.4.4 - Conclusões obtidas a partir dos resultados

Embora os participantes tivessem níveis de formação acadêmica distintos, não foi possível observar nenhum padrão por nível a partir dos resultados dos questionários. Isso se deve ao fato de que as amostras de cada nível eram relativamente pequenas, já que não era objetivo avaliar a influência da formação acadêmica no uso da ferramenta. É importante mencionar, porém, que os participantes que estavam no nível de graduação afirmaram verbalmente ter mais facilidade, enquanto que os do nível de doutorado fizeram mais comentários verbais sobre a dificuldade no uso do protótipo através de gestos.

Os participantes já tinham algum conhecimento prévio sobre a maioria dos aspectos principais relevantes à ferramenta, com exceção de Interfaces Multimodais. Alguns deles afirmaram já ter ouvido falar sobre o conceito, mas desconheciam sobre o nome. Quanto a Sistemas Complexos, 70% participantes afirmaram possuir conhecimento prático sobre o tema, mas apenas 1 participante afirmou ter trabalhado com modelos com uma quantidade de elementos entre 50 e 100.

Os resultados sobre o uso da ferramenta foram considerados positivos, com apenas 10% dos participantes afirmando ter achado operar a ferramenta difícil. Os participantes que afirmaram ter tido facilidade em operar a ferramenta (40% dos participantes) também foram os que afirmaram ter a maior familiaridade com os controles por gestos, o que implica que a origem dessa dificuldade não é a ferramenta em si, mas o nível de experiência do usuário com controles por gestos. Isso é reforçado pelos comentários de alguns participantes.

Enquanto que 70% dos participantes demonstrou ser favorável ao uso de gravações com mensagens de áudio como incentivo para comunicação, os outros 30%, que afirmaram que o uso seria parcial, justificaram dizendo que o uso dependeria do usuários, com um deles sugerindo que as mensagens fossem por escrito. Dada a dificuldade em interagir com os botões presentes na interface, a ideia de usar um teclado virtual parece ser contra-intuitiva, entretanto, isso também pode ser visto como uma oportunidade do VMAG 3D se beneficiar de suas Interfaces Multimodais, adicionando a funcionalidade de mensagens por escrita pelo teclado do computador.

Comparando a satisfação dos usuários em relação aos dois métodos de controle (Tabela 4.2), é possível ver que há uma maior afinidade pelo controle por *mouse*. Isso pode ser justificado pelo fato de que controlar com o *mouse* é algo visto mais comumente e, sendo mais familiar, apresenta uma menor dificuldade. No entanto, é importante notar que mais de 80% dos usuários afirmaram estar "Satisfeitos" ou "Muito Satisfeitos" com os controles por gestos.

Tabela 4.2 - Tabela comparando a satisfação entre os métodos de operação e as funcionalidades

| | Gestos | Mouse |
|------------------|--------|-------|
| Muito Satisfeito | 28 | 64 |
| Satisfeito | 37 | 11 |
| Pouco Satisfeito | 13 | 4 |
| Nada Satisfeito | 2 | 1 |

4.4.5 - Ameaças à validade

Algumas ameaças à validade (WOHLIN *et al.*, 2000), relacionadas a este estudo, podem ser resumidas da seguinte forma:

- Como mencionado anteriormente, o estudo propõe-se a utilizar indivíduos que possuem experiência prévia com modelagem UML para sistemas complexos. Assim, assume-se que eles são representativos para a população de engenheiros de software. Dado o formulário de Caracterização do Participante, não é possível afirmar que as informações fornecidas sejam absolutamente corretas;
- O estudo não foi executado em um único dia por todos os participantes, isto pode ter influenciado os resultados;
- Medida de tempo: não é possível informar que a medição de tempo seja precisa;
- Efeito do treinamento: tentou-se evitar este risco, utilizando a mesma apresentação para o treinamento de todos os participantes.
- Efeito de aprendizado: tentou-se minimizar o efeito de aprendizado fazendo com que os participantes resolvessem as mesmas tarefas (Apresentadas no Apêndice C);
- Embora os participantes tenham sido alertados e instruídos durante o estudo, não é possível garantir que os mesmos não tenham comunicado alguma informação ou resultado a outro participante antes do fim do estudo;

- Apesar do tamanho da amostra ser limitado do ponto de vista estatístico, este é considerado razoável em experimentos em Engenharia de Software. Além disso, NIELSEN (2000) aponta que para testes de usabilidade, uma amostra pequena é o suficiente, com cinco participantes podendo relatar cerca de 85% dos problemas e informações necessárias.

- A proximidade entre os participantes e o pesquisador. Todos os participantes pertenciam à mesma instituição do pesquisador.

- O pesquisador que aplicou o experimento é o mesmo que desenvolveu o protótipo.

- O pequeno número de tarefas utilizadas. Optou-se por utilizar oito tarefas com o objetivo de não cansar e desmotivar o participante durante a resolução das tarefas.

- Os participantes possuíam níveis distintos de familiaridade com controles por gestos. Tendo em mente que esse tipo de entrada requer um esforço físico maior que controles tradicionais, o nível de condicionamento físico pode afetar a experiência de uso negativamente.

- Não há garantia de que a informação dada pelos usuários durante as tarefas de gravação do áudio seja relevante.

4.5 - Considerações Finais

Este capítulo apresentou a avaliação da ferramenta VMAG 3D (através do protótipo de mesmo nome), visando analisar os resultados de sua utilização como auxílio à compreensão de modelos UML de sistemas complexos, enquanto favorecendo a comunicação, por meio de controle por gestos como interface multimodal.

Com a execução desse estudo, foi possível observar alguns pontos fracos da ferramenta, bem como identificar oportunidades de melhoria e trabalhos futuros. A avaliação também forneceu evidências positivas de que a ferramenta é capaz de apoiar na compreensão de modelos UML em sistemas com muitos elementos de modelagem. Mostrou, ainda, suportar a operação por vários usuários em simultâneo, bem como permitir o uso de captura de áudio como apoio a comunicação entre os usuários, criando comentários pertinentes aos modelos.

5 - Conclusões

Com o crescimento do número de sistemas computacionais, a Modelagem de Sistemas tem se tornado um assunto cada vez mais importante para o desenvolvimento e a compreensão de sistemas de software, e com isso, ferramentas e abordagens têm sido desenvolvidas para auxiliar na compreensão de seus modelos, que tem se tornado cada vez maiores e mais complexos. Tais abordagens devem oferecer meios para imergir os usuários no seu uso (FEI *et. al.*, 2017), incentivando a exploração dos modelos, ao mesmo tempo em que fornecem suporte às necessidades de um local de trabalho real, como suporte a modelos com vários elementos e a operação por vários usuários em simultâneo.

O propósito da abordagem VMAG 3D foi permitir que o usuário manipule a visualização 3D dos modelos de um sistema de software por gestos, facilitando a compreensão do modelo e o aprendizado do usuário, além de incentivar outras práticas importantes para a compreensão de modelos: a colaboração e a comunicação entre os usuários.

A avaliação realizada mostrou que os usuários puderam utilizar o protótipo para visualizar os dados e adquirir as informações nele contidas, permitindo identificar e compreender aspectos dos diagramas, e que sua operação ocorreu de forma confortável, com pouco treinamento necessário e pouca dificuldade no uso. Uma avaliação mais detalhada seria necessária para confirmar os méritos da ferramenta, mas o experimento realizado sugere aspectos positivos no uso de gestos como forma de controle da visualização de modelos de sistemas tridimensionais.

A abordagem proposta oferece uma possível resposta a questão Q1: “Como incentivar e auxiliar alunos de computação na compreensão e visualização de modelos de sistemas com muitos elementos?”. Já a avaliação de usabilidade ofereceu uma melhor visão de como os usuários podem agir em atividades com mais de um usuário em simultâneo. Entretanto, como o grupo de usuários em simultâneo operando a ferramenta foi pequeno, não se pode considerar a questão Q2 completamente respondida, embora o experimento ofereça uma maior compreensão nos detalhes e dificuldades da operação de aplicações com Interfaces Multimodais.

A seguir a Seção 5.1 descreve as contribuições deste trabalho; a Seção 5.2 apresenta suas limitações; e a Seção 5.3 destaca algumas sugestões de trabalhos futuros.

5.1 - Contribuições

Esta dissertação apresentou os resultados de um trabalho de pesquisa que visa apoiar a compreensão de modelos UML com muitos elementos de modelagem utilizando gestos como forma alternativa de controle, incentivando a colaboração e a comunicação. As principais contribuições do trabalho de pesquisa como um todo são:

- Inserção de interface multimodal na abordagem VisAr3D, permitindo explorar métodos não tradicionais de interação com a ferramenta, através do uso de gestos como controle da visualização de diagramas tridimensionais.
- Explorar a possibilidade do uso de gravações de áudio como forma de incentivar a comunicação entre os usuários, permitindo que mensagens sejam criadas, relatando aspectos da projeção tridimensional de diagramas UML, bem como particularidades dos diagramas, dúvidas e/ou conclusões feitas durante a exploração dos diagramas, entre outras.
- Avaliar a contribuição da visualização 3D por mais de um usuário, tanto por meios tradicionais como teclado e *mouse*, bem como usando gestos capturados por um sensor Kinect.

5.2 - Limitações

A partir de uma análise crítica sobre a abordagem proposta, bem como alguns comentários feitos durante a avaliação de sua implementação, puderam ser identificadas algumas limitações. Dentre elas, as que se relacionam com decisões tomadas durante o desenvolvimento da abordagem são:

- Embora a abordagem almeje assistir na compreensão de modelos de sistemas computacionais como um todo, ela se restringe atualmente à compreensão de modelos UML, em especial aos diagramas de classe.
- Apesar do tópico de colaboração ser abordado, não houve uma maior exploração nas suas ramificações, em parte pela dificuldade em adquirir voluntários para a avaliação, o que dificultaria testes colaborativos mais profundos.
- Limitações que pertencem ao protótipo desenvolvido são em relação à sua usabilidade, que foram identificadas pelos participantes durante a avaliação. Em específico, o sensor Kinect em sua forma atual tem

problemas de precisão para permitir uma interação natural com alguns dos botões na interface. Outras limitações seriam o número de gravações exibidas na tela de mensagens, que se limita a apenas 10 itens, e a falta de formas mais naturais de interagir com alguns dos elementos da interface, como interagir com a lista de visualizações, em vez de usar as setas para selecionar o tipo de informação vista, por exemplo.

- Existem limitações com relação a avaliação realizada, como o tamanho da amostra, que é considerado ainda pequeno do ponto de vista estatístico, embora aceitáveis para estudos em Engenharia de Software. Outras limitações seriam as ameaças à validade identificadas, apenas um modelo foi usado durante a avaliação, e a ausência de avaliar a capacidade máxima de usuários em simultâneo.

5.3 - Trabalhos Futuros

A realização desse trabalho de pesquisa levou à especificação de uma abordagem para o auxílio na compreensão de diagramas produzidos para a modelagem de sistemas computacionais. Essa abordagem abre novas perspectivas de pesquisa que podem ser exploradas em trabalhos futuros. Alguns desses trabalhos são sugeridos a seguir:

- Melhorar a interação entre o usuário e a interface, especialmente baseada nos comentários feitos pelos participantes da avaliação. Um dos problemas principais mencionados durante a avaliação foi à dificuldade do sensor em reconhecer quando um usuário apertava alguns dos botões. Melhorar essa interação, através de um refinamento da sensibilidade do Kinect, aumentaria consideravelmente a usabilidade.
- Promover uma maior interação entre os usuários, incentivando a colaboração, através de novas formas de interação que melhor se adaptem/dependam de vários usuários em simultâneo, como permitir a seleção individual do tipo de informação vista, permitindo que um usuário acesse informações de atributos, ao mesmo tempo em que outro acessa dados dos operadores, por exemplo.
- Inserir outras formas de controle da aplicação, explorando mais as vantagens de Interfaces Multimodais. O controle por voz poderia ser

explorado, visto que a abordagem já possui uma forma de captura de áudio.

- Realizar uma nova avaliação, utilizando uma amostra maior e com mais ênfase em grupos colaborando em simultâneo, simulando um ambiente mais próximo de situações reais de uso.
- Explorar o uso da abordagem com outros recursos de imersão, como a CAVE ou o uso de estereoscopia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. de S., de ARAUJO, J. O. A., MADEIRO, F., 2012, “AlfabetoKinect: Um aplicativo para auxiliar na alfabetização de crianças com o uso do Kinect”, Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pp. 1-5, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ANTUNES, S.H.M.B.B., RODRIGUES, C.S.C., WERNER, C.M.L., 2015, "VMAG – A Tool for Supporting System Modeling Learning using Gestures for Visualization Control", V Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, II Fórum de Educação em Engenharia de Computação, pp. 1-8, Novembro, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- ANTUNES, S.H.M.B.B., RODRIGUES, C.S.C., WERNER, C.M.L., 2016, "Supporting System Modeling Learning Using Gestures for Visualization Control as Method of Immersion", 18th Symposium on Virtual and Augmented Reality, pp. 54-58, Junho, Gramado, Brasil.
- AMIN, A.K., KERSTEN, B.T.A., KULYK, O.A., PELGRIM, P.H., WANG, C.M., MARKOPOULOS. P., 2005, “SenseMS: a user-centered approach to enrich the messaging experience for teens by non-verbal means”, Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction with mobile devices & services, pp. 161-166, Salzburg, Austria.
- ANDERSON, P., 2003, “Virtual reality exposure in the treatment of social anxiety”, Cognitive and Behavioral Practice, Volume 10, pp. 240–247.
- BAIENSON, J.N., YEE, N., BLASCOVICH, J., BEALL, A.C., LUNDBLAD, N., JIN, M., 2008, “The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context”, Journal of the Learning Sciences, Vol. 17, Ed. 1, pp. 102-141.
- BALISTA, V. G., 2013, “PhysioJoy - Sistema de Realidade Virtual para Avaliação e Reabilitação de Déficit Motor”, SBGames 2013, Workshop on Virtual, Augmented Reality and Games, São Paulo, SP.

- BAUDEL, T., BEAUDOIN – LAFON, M., 1993, "CHARADE: REMOTE CONTROL OF OBJECTS USING FREE-HAND GESTURES", Communications of the ACM - Special issue on computer augmented environments: back to the real world, Vol. 36, Ed. 7, Julho, pp. 28-35.
- BEGAULT, D.R., 2000, "3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia", NASA Technical Report, Acessado em 7 de dezembro, 2017, Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20010044352.pdf>
- BELL, J., FOGLERL, H. S., 1995, "The Investigation and Application of Virtual Reality as an Educational Tool", Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference, pp. 1718-1728, Anaheim, USA, Junho.
- BOWMAN, D. A., KRUIJFF, E., LaVIOLA Jr., J. J., POUPYREV, I., 2005, "3D Users Interfaces: Theory and practice", Addison-Wesley.
- BOWMAN, D.A., MCMAHAN, R.P., 2007, "Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?" IEEE Computer Society Digital Library, Julho, pp. 36-43.
- BOYER, S., 2009, "A Virtual Failure: Evaluating the Success of Nintendo's Virtual Boy", The Velvet Light Trap, Vol. 64, pp. 23-33.
- BREGLER, C., 2007, "Motion Capture Technology for Entertainment", IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 24, Ed. 6, pp.158-160.
- BRODLIE, K.W, DUCE, D.A., GALLOP, J.R., WALTON, J.P.R.B., WOOD, J.D., 2004, "Distributed and Collaborative Visualization", Computer Graphics Forum, Vol. 23, Ed. 2, pp. 223-251.
- BROOKS, F.P., 1999, "What's Real About Virtual Reality?", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 19, Ed. 6, Novembro de 1999, pp.16-27.
- BULGARELLI, D., HENNING, A., MOLINA, P., 2017, "Mental State Understanding: Individual Differences in Typical and Atypical Development", Frontiers in Psychology, Frontiers Media SA, 13 de setembro de 2017, pp. 1-205.
- CABRAL, M.C., MORIMOTO, C.H., ZUFFO, M.K., 2005, "On the usability of gesture interfaces in virtual reality environments", CLIHC'05, Latin American

conference on Human-computer interaction, Outubro, pp. 100-108, Cuernavaca, México.

CARLONE, H.B., WEBB, S.M., 2006, “On (not) overcoming our history of hierarchy: Complexities of university/school collaboration”, *Sci. Ed.*, Vol. 90, pp.544–568.

CHANG, C., LANGE, B., ZHANG, M., KOENIG, S., REQUEJO, P., SOMBOON, N., SAWCHUK, A.A., RIZZO, A.A., 2012, "Towards Pervasive Physical Rehabilitation Using Microsoft Kinect", Publicado em 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and Workshops, Maio, pp.1-4, San Diego, California, Estados Unidos.

CIAN, E., DASGUPTA, S., HOF, A.F., SLUISVELD, M.A.E., KOHLER, J., PFLUGER, B., VUUREN, D.P., 2017, “Actors, Decision-Making, and Institutions in Quantitative System Modelling”, FEEM Working Paper, Acessado em 7 de janeiro de 2018, Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3038695>

COHEN, P.R., KAISER, E.C., BUCHANAN, M.C., LIND, S., CORRIGAN, M.J., WESSON, R.M., 2015, “Sketch-Thru-Plan: a multimodal interface for command and control”, *Communications of the ACM CACM*, Vol. 58, Ed. 4, pp. 56-65.

COOK, S. W., MITCHELL, Z., GOLDIN-MEADOW, S., 2008, "Gesturing makes learning last", *Cognition*, vol. 106, pp. 1047–1058.

CRUZ-NEIRA, C., SANDIN, D.J., DEFANTI, T.A., 1993, “Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE”, *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 135-142, Anaheim, California, Estados Unidos.

DARLING, A.L., DANNELS, D.P., 2010, “Practicing Engineers Talk about the Importance of Talk: A Report on the Role of Oral Communication in the Workplace”, in *Communication Education*, Vol. 52, pp. 1-16.

DEDE, C. J., 1992, “The future of multimedia: bridging to virtual worlds”, *Educational Technology - A special issue on developing, applying, and evaluating the new Multimedia*, Volume 32, Maio, pp. 54-60.

- DEEK, F.P., MCHUGH, J.A.M., ELJABIRI, O.M., 2005, “Strategic Software Engineering: An Interdisciplinary Approach”, CRC Press, 26 de Maio, p. 121.
- DICK, P. K., 1978, “How to build a universe that doesn’t fall apart two days later”, I Hope I Shall Arrive Soon, Doubleday.
- DONALEK, C., DJORGOVSKI, S.G., CIOC, A., WANG, A., ZHANG, A., LAWLER, E., YEH, S., MAHABAL, A., GRAHAM, M., DRAKE, A., DAVIDOFF, S., NORRIS, J.S., 2014, "Immersive and Collaborative Data Visualization Using Virtual Reality Platforms", 2014 IEEE International Conference on Big Data, pp.609-615, Anchorage, Alaska, Estados Unidos.
- DOUGLAS, Y., HARGADON, A., 2000, “The pleasure principle: immersion, engagement, flow.” In Proceedings of the 11th ACM on Hypertext and hypermedia, pp.153–160, San Antonio, Texas, Estados Unidos.
- FUKS, H., RAPOSO, A.B., GEROSA, M.A., LUCENA, C.J.P., 2005, “APPLYING THE 3C MODEL TO GROUPWARE DEVELOPMENT”, International Journal of Cooperative Information Systems, Vol. 14, Junho, p. 299.
- ELLIS, C.A., GIBBS, S.J., REIN, G., 1991, “Groupware: some issues and experiences”, in Communications of the ACM CACM Homepage archive, Vol. 34, Janeiro, pp. 39-58.
- FEI, L., YUNPENG, G., YUKUN, L., 2017, “The Research of System Architecture of Dynamics Modeling System Based on Virtual Assembly for Integrated Transmission”, Procedia Engineering, Vol. 174, pp. 456-464.
- FRANCESE, R., PASSERO, I., TORTORA, G., 2012, “Wiimote and Kinect: Gestural User Interfaces add a Natural third dimension to HCI”, International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, pp.116-123, Capri, Itália.
- FUKS, H., RAPOSO, A.B., GEROSA, M.A., LUCENA, C.J.P., 2005, “APPLYING THE 3C MODEL TO GROUPWARE DEVELOPMENT”, International Journal of Cooperative Information Systems, Vol. 14, Junho, p. 299.
- GILLIAN, N., PARADISO, J.A., 2012, “Digito: A Fine-Grain Gesturally Controlled Virtual Musical Instrument”, Proceedings of the 2012 Conference on New

Interfaces for Musical Expression (NIME 2012), pp.1-4, Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos.

GOMES, F.J.L., LIMA, J.V., NEVADO, R.A., 2008, “Uma interface multimodal para objetos de aprendizagem visualizados na TV digital”, Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems, pp. 284-287, Porto Alegre, Brasil.

GOPAL, A., MUKHOPADHYAY, T., KRISHNAN, M.S., 2002, “The role of software processes and communication in offshore software development”, in Communications of the ACM - Supporting community and building social capital CACM, Vol. 45, Abril, pp. 193-200.

GREENWALD, S., KULIK, A., KUNERT, A., BECK, S., FROHLICH, B., COBB, S., PARSONS, S., NEWBUTT, N., GOUVEIA, C., COOK, C., SNYDER, A., PAYNE, S., HOLLAND, J., BUESSING, S., FIELDS, G., CORNING, W., LEE, V., XIA, L., MAES, P., 2017, “Technology and applications for collaborative learning in virtual reality”, 12th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL), pp. 1-8, Pennsylvania, Estados Unidos.

GRIFFIN, A., HAUSER, J.R., 1992, “Patterns of Communication Among Marketing, Engineering and Manufacturing—A Comparison Between Two New Product Teams”, Management Science, Vol. 38, pp. 360 – 373.

GRUDIN, J., 1994, “Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus”, Computer, Maio, Vol. 27, pp. 19-26.

GULATI, R., WOHLGEZOGENB, F., ZHELYAZKOVA, P., 2012, “The Two Facets of Collaboration: Cooperation and Coordination in Strategic Alliances”, The Academy of Management Annals, Vol. 6, pp. 531-583.

GUTTENTAG, D.A., 2010, “Virtual reality: Applications and implications for tourism”, Tourism Management, Vol. 31, Ed. 5, pp. 637-651.

HAMUNEN, J., 2016, "Challenges in Adopting a Devops Approach to Software Development and Operations", Tese de Mestrado, Aalto University School of Business, Finlândia.

- HASEGAWA, O., ITOU, K., KURITA, T., HAYAMIZU, S., TANAKA, K., YAMAMOTO, K., OTSU, N., 1995, "Active Agent Oriented Multimodal Interface System", Proceeding of IJCAI'95 Proceedings of the 14th international joint conference on Artificial intelligence, Vol.1, pp. 82-87.
- HASSELBRING, W., 2000, "Information system integration", in Communications of the ACM, Vol. 43, Junho, pp. 32-38.
- HILPERT, S., KALDEMEYER, C., WIESE, F., PLESSMAN, G., 2017, "A Qualitative Evaluation Approach for Energy System Modelling Software—Case Study Results for the Open Energy Modelling Framework (Oemof)", Preprints 2017, 2017080069 (doi: 10.20944/preprints201708.0069.v1)
- HINCKLEY, K., JACOB, R. J. K., WARE, C., WOBROCK, J. O., WIGDOR, D., 2004, "INPUT/OUTPUT DEVICES AND INTERACTION TECHNIQUES", Computing Handbook, Ed. 3, pp. 570-624.
- HOLTEN, D., WIJK, J. J. V., 2008, "Visual Comparison of Hierarchically Organized Data", Computer Graphics Forum, Vol. 27, Ed. 3, pp. 759–766.
- HOMER, B. D., KINZER, C. K., PLASS, J. L., LETOURNEAU, S. M., HOFFMAN, D., BROMLEY, M., HAYWARD, E. O., TURKAY, S., KORNAK, Y., 2014, "Moved to learn: The effects of interactivity in a Kinect-based literacy game for beginning readers", Computers & Education, Vol. 74, pp. 37–49.
- HSU, H. J., 2011, "The Potential of Kinect in Education", International Journal of Information and Education Technology, Volume 1, No. 5, Dezembro, pp. 365-370.
- HUANG, X., ACERO, A., CHELBA, C., DENG, L., DUCHENE, D., GOODMAN, J., HON, H., JACOBY, D., JIANG, L., LOYND, R., MAHAJAN, M., MAU, P., MEREDITH, S., MUGHAL, S., NETO, S., PLUMPE, M., WANG, K., WANG, Y., 2000, "MiPaD: A Next Generation PDA Prototype", Sixth International Conference on Spoken Language Processing, pp.33-36, Outubro Beijing, China.
- HUANG, H., RAUCH, U., LIAW, S., 2010, "Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach", Computers & Education, Vol.55, pp. 1171–1182.

- IMPERIAL, M.T., 2005, "USING COLLABORATION AS A GOVERNANCE STRATEGY: Lessons From Six Watershed Management Programs", *Administration & Society*, Vol. 37, Ed. 3, pp. 281 - 320.
- INACIO JÚNIOR, V. R., 2007, "Um framework para desenvolvimento de interfaces multimodais em aplicações de computação ubíqua", Tese de Mestrado, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, ICMC, São Paulo, Brasil.
- IWAMOTO, T., TATEZONO, M., HOSHI, T., SHINODA, H., 2008, "Airborne Ultrasound Tactile Display", Publicado em SIGGRAPH 2008, Agosto, Los Angeles, California, Estados Unidos.
- JAYARAM, S., CONNACHER, H. I., LYONS, K.W., 1997 "Virtual assembly using virtual reality techniques", *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No.8, pp.575-584.
- JOHNSON, A., ROUSSOS, M., LEIGH, J., VASILAKIS, C., BARNES, C., MOHER, T., 1998, "The NICE Project: Learning Together in a Virtual World", *Proceeding of VRAIS '98 Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*.
- JORDAN, M. L., MITCHELL, T. M., 2015, "Machine learning: Trends, perspectives, and prospects", *Science*, Vol. 349, Ed. 6425, pp. 255-260.
- JURISTO, N., MORENO, A. M., 2013, "Basics of software engineering experimentation", Springer Science & Business Media.
- KAGEYAMA, A., TAMURA, Y., SATO, T., 2000, "Visualization of Vector Field by Virtual Reality", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, No. 138, pp. 665-673.
- KAN, H.Y., DUFFY, V.G., SU, C.J., 2001, "An Internet virtual reality collaborative environment for effective product design", *Computers in Industry*, Vol. 45, Junho, pp. 197–213.
- KERKHOVE, T., 2014, "Visug: Say Hello to my little friend: a session on Kinect", High-level architecture, Slideshare, Acessado em 7 de dezembro, 2017, Disponível em: <https://www.slideshare.net/Visug/visug-say-hello-to-my-little-friend-a-session-on-kinect>

- KIRNER, C., SISCOOTTO, R., 2007, “Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações”, Livro do Pré-Simpósio IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis, RJ, pp. 2-21.
- KOLLER, D., LINDSTORM, P., RIBARSKY, HODGES, L.F., FAUST, N., TURNER, G., 1995, "Virtual GIS: A Real-Time 3D Geographic Information System", Proceeding of VIS '95 Proceedings of the 6th conference on Visualization '95, p.94, Washington, DC, Estados Unidos.
- KRUGER, R., CARPENDALE, S., SCOTT, S.D., GREENBERG, S., 2004, “Roles of Orientation in Tabletop Collaboration: Comprehension, Coordination and Communication”, Computer Supported Cooperative Work (CSCW), Dezembro, Vol. 13, pp. 501-537.
- LAPUT, G. P., DONTCHEVA, M., WILENSKY, G., CHANG, W., AGARWALA, A., LINDER, J., ADAR, E., 2013, "PixelTone: a multimodal interface for image editing", Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2185-2194, Paris, França.
- LAU, H., CHAN, L., WONG, R., 2007, " A virtual container terminal simulator for the design of terminal operation", International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), Vol. 1, Ed. 2, pp.107–113
- LAYZELL, P., BRERETON, O.P., FRENCH, A., 2000, “Supporting Collaboration in Distributed Software Engineering Teams”, Proceedings of Seventh Asia-Pacific Software Engineering Conference, APSEC 2000, pp. 38-45, Singapura.
- LEE, H., TATEYAMA, Y., OGI, T., 2010, "Realistic Visual Environment for Immersive Projection Display System", Publicado em Virtual Systems and Multimedia (VSMM), pp.1-5, Outubro, Seul, Coréia do Sul.
- LEE, E., LIU, X., ZHANG, X., 2012, " Xdigit: An Arithmetic Kinect Game to Enhance Math Learning Experiences", Em Fun and Games 2012 Conference, Toulouse, França, Acessado em 5 de dezembro, 2017, Disponível em:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.384.2496&rep=rep1&type=pdf>

- LERONTTI, L., CHITTARO, L., 2007, "Employing virtual humans for education and training in X3D/VRML worlds", *Computers & Education*, Volume 49, Agosto, pp. 93–109.
- LI, S., LV, J., XU, Y., JIA, Y., 2006, "EyeScreen: A Gesture Interface for Manipulating On-Screen Objects", *Proceedings of HCI 2007: Human-Computer Interaction. HCI Intelligent Multimodal Interaction Environments*, pp. 710-717, Beijing, China.
- LIANG, R., OUHYOUNG, M., 1998, "A Real-time Continuous Gesture Recognition System for Sign Language", *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp.1-6, Abril, Nara, Japão.
- MAGGIONI, C., 1993, "A Novel Gestural Input Device for Virtual Reality", *Publicado em Virtual Reality Annual International Symposium*, pp.1-7, Setembro, Seattle, Washington, Estados Unidos.
- MAHONEY, M., 2017, "Collaborative Software Development Through Reflection and Storytelling", *Proceedings of CSCW '17 Companion Companion of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, pp. 13-16, Portland, Oregon, Estados Unidos.
- MARJANOVIC, O., 1999, "Learning and teaching in a synchronous collaborative environment", *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 15, pp. 129–138.
- MATSUSAKA, Y., TOJO, T., KUBOTA, S., FURUKAWA, K., TAMIYA, D., HAYATA, K., NAKANO, Y., KOBAYASHI, T., 1999, " Multi-person Conversation via Multi-modal Interface: A Robot who Communicate with Multi-user", *Proceedings of Eurospeech*, pp. 1723-1726.
- MERCHANT, Z., GOETZ, E.T., CIFUENTES, L., KEENEY-KENNICUTT, W., DAVIS, T.J., 2014, "Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis", *Computers & Education*, Vol. 70, pp. 29–40.

- MONAHAN, T., MCARDLE, G., BERTOLOTTI, M., 2004, "CLEV-R: A Collaborative Learning Environment with Virtual-Reality", ACM SIGGRAPH 2004, página 36, Los Angeles, California, Estados Unidos.
- MOORE, P., 1995, "Learning and teaching in virtual worlds: Implications of virtual reality for education", Australian Journal of Educational Technology, Vol. 11, Ed. 2, pp. 91-102.
- MORENO, R., MAYER, R.E., 2002, "Learning Science in Virtual Reality Multimedia Environments: Role of Methods and Media", Journal of Educational Psychology, Vol. 94, No. 3, pp. 598–610.
- NARAYAN, N., 2017, "MiNT: MULTIMODAL iNTERACTION FOR MODELING AND MODEL REFACTORING", Dissertação, Technische Universität München, München, Alemanha.
- NG, K., WEYDE, T., LARKIN, O., NEUBARTH, K., KOERSELMAN, T., ONG, B., 2007, "3D Augmented Mirror: A Multimodal Interface for String Instrument Learning and Teaching with Gesture Support", Proceedings of the 9th International Conference on Multimodal Interfaces, ICMI 2007, pp. 339-345, Nagoya, Aichi, Japão, Novembro.
- NGUYEN, L.A., BUALAT, M., EDWARDS, L.J., FLUECKIGER, L., NEVEU, C., SCHWEHR, K., WAGNER, M.D., ZBINDEN, E., 2001, "Virtual Reality Interfaces for Visualization and Control of Remote Vehicles", Autonomous Robots, Vol. 11, pp.59–68.
- NI, T., SCHMIDT, G. S., STAADT, O. G., LIVINGSTON, M. A., BALL, R., MAY, R., 2006, "A Survey of Large High-Resolution Display Technologies, Techniques, and Applications", IEEE Virtual Reality Conference, pp. 1-12, Alexandria, VIRGINIA, Estados Unidos.
- NIELSEN, J., 2000, "Why You Only Need to Test With 5 Users", Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>. Acessado em: 13/03/2018.

- NUSEIBEH, B., EASTERBROOK, S., 2000, "Requirements engineering: a roadmap", in ICSE '00 Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering, pp. 35-46, Limerick, Irlanda.
- OBRENOVIC, Z., ABASCAL, J., STARCEVIC, D., 2007, "UNIVERSAL ACCESSIBILITY AS A MULTIMODAL DESIGN ISSUE", COMMUNICATIONS OF THE ACM, Maio, Vol. 50, Ed. 5, pp. 83-88.
- O'BRIEN, M. G., LEVY, R., ORICH, A., 2009, "Virtual Immersion: The Role of CAVE and PC Technology", CALICO JOURNAL, Vol. 26, Ed. 2, pp. 324-336.
- OVIATT, S., COHEN, P., 2000, "MULTIMODAL INTERFACES THAT PROCESS WHAT COMES NATURALLY", COMMUNICATIONS OF THE ACM, Março, Vol. 43, Ed. 3, pp. 45-53.
- PAN, Z., CHEOK, A.D., YANG, H., ZHU, J., SHI, J., 2006, "Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments", Computers & Graphics, Vol. 30, pp. 20–28.
- PARSONS, T. D., RIZZO, A. A., 2008, "Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis", Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, Volume 39, Setembro, pp. 250–261.
- PAULA, B. C., 2011, "Adaptando e desenvolvendo jogos para uso com o Microsoft Kinect", SBGames 2011, Tutorials Track - Computing, pp. 1-13, Salvador, Bahia.
- PINAUD, B., ANDREI, O., FERNÁNDEZ, M., KIRCHNER, H., MELANÇON, G., VALLET, J., 2017, "PORGY: a Visual Analytics Platform for System Modelling and Analysis Based on Graph Rewriting", Extraction et Gestion de Connaissances, Grenoble, França. Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, pp.473–476.
- POWERS, J.J., 2008, "Using motion capture to determine marksmanship shooting profiles: teaching soldiers to shoot better faster", Dissertação de pós-graduação, NPS, Monterey, Califórnia, Estados Unidos.

- RAUTARAY, S. R., AGRAWAL, A., 2012, "Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey", *Artificial Intelligence Review*, Vol. 43, Ed. 1, pp. 1-54.
- REEVES, L.M., LAI, J., LARSON, J.A., OVIATT, S., BALAJI, T.S., BUISINE, S., COLLINGS, P., COHEN, P., KRAAL, B., MARTIN, J., MCTEAR, M., RAMAN, T., STANNEY, K.M., SU, H., WANG, Q., 2004, "GUIDELINES FOR MULTIMODAL User Interface Design", *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, Janeiro, Vol. 47, Ed. 1, pp. 57-59.
- RICKEL, J., MARSELLA, S., GRATCH, J., HILL, R., TRAUM, D., SWARTOUT, W., 2002, "Toward a New Generation of Virtual Humans for Interactive Experiences", *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 17, Ed. 4, pp. 32-38.
- RODRIGUES, C. S. C., 2012, "VisAr3D - Uma Abordagem Baseada em Tecnologias Emergentes 3D para o Apoio à Compreensão de Modelos UML", Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.
- RODRIGUES, C. S. C., WERNER, C. M. L., LANDAU, L., 2016, "VisAr3D: an innovative 3D visualization of UML models", *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering*, pp. 451-460, Austin, Texas, Estados Unidos.
- RODRIGUEZ, B. H., WIECHNO, P., DAHL, D. A., ASHIMURA, K., TUMULURI, R., 2012, "Registration & Discovery of Multimodal Modality Components in Multimodal Systems: Use Cases and Requirements", *World Wide Web Consortium*, Acessado em 7 de janeiro de 2018, Acessado por <https://www.w3.org/TR/mmi-discovery/>.
- RODRIGUEZ, N., 2017, "Teaching virtual reality with affordable technologies", *HCI: Human-Computer Interaction*, 18th International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 89-97, Toronto, Canada.
- RYAN, M., 2001, "Narrative as Virtual Reality: Immersion and Interactivity in Literature and Electronic Media", Johns Hopkins University Press, 2001.
- SATAVA, R. M., 1993, "Virtual reality surgical simulator", *Surgical Endoscopy*, Vol. 7, pp. 203-205.

- SCHWIENHORST, K., 2002, "Why virtual, why environments? Implementing virtual reality concepts in computer-assisted language learning", *SIMULATION & GAMING*, Vol. 33, Ed. 2, pp. 196-209.
- SGRÒ, F., NICOLOSI, S., PAVONE, R. S. M., LIPOMA, 2015, "Assessing Vertical Jump Developmental Levels in Childhood Using a Low-Cost Motion Capture Approach", *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 120, Ed. 2, pp. 642-658.
- SHARMA, R., PAVLOVIC, V.I., HUANG, T.S., 1998, "Toward Multimodal Human-Computer Interface", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, Ed. 5, pp. 853 - 869.
- SHAW, M., 2000, "Software Engineering Education: A Roadmap". In: *Proceedings of the 22nd Conference on the Future of Software Engineering (ICSE)*, pp. 371-380, Limerick, Ireland, Jun.
- SHERMAN, W. R., CRAIG, A. B., 2002, "Understanding virtual reality: Interface, application, and design", Elsevier.
- SHULL, F., CARVER, J., TRAVASSOS, G. H., 2001, "An empirical methodology for introducing software processes", *Proceedings of the 8th European software engineering conference held jointly with 9th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering*, pp. 288-296, Helsinki Finlândia.
- SLATER, M., LINAKIS, V., USOH, M., KOOPER, R., 1996, "Immersion, Presence, and Performance in Virtual Environments: An Experiment with Tri-Dimensional Chess" *ACM Virtual Reality Software and Technology*, Acessado em 7 de janeiro de 2018, Disponível online em:
www.cs.ucl.ac.uk/staff/m.slater/Papers/Chess/index.html
- SLATER, M., SANCHEZ-VIVES, M.V., 2016, "Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality", *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 3, pp. 1-74.
- SONNERWALD, D.H., 1996, "Communication roles that support collaboration during the design process", *Design Studies*, Vol. 17, pp. 277-301.
- STEINMACHER, I., CHAVES, A.P., GEROSA, M.A., 2010, "Awareness Support in Global Software Development: A Systematic Review Based on the 3C

- Collaboration Model”, in Collaboration and Technology, Vol. 6257, pp. 185-201.
- STOAKLEY, R., CONWAY, M.J., PAUSCH, R., 2007, "Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature", C H I ' 9 5 MOSAIC OF CREATIVITY, pp. 265-272, Maio, Denver, Colorado, Estados Unidos.
- STRACKE, S., GOEDJE, O., 2002, "Virtual Reality and 3D Visualisations in Heart Surgery Education", The Heart Surgery Forum, Vol. 5, pp. 17-21.
- SUK, H., SIN, B., LEE, S., 2010, "Hand gesture recognition based on dynamic Bayesian network framework", Pattern Recognition, Vol. 43, Ed. 9, pp. 3059-3072.
- SYLAIU, S., LIAROKAPIS, F., SECHIDIS, L. A., PATIAS, P., OLGA, G., 2005, “Virtual museums: First results of a survey on methods and tools”, XXth International Symposium ICOMOS & ISPRS Committee on Documentation of Cultural Heritage, pp. 1138-1143, Turim, Itália.
- THAKKAR, V., SHAH, A., THAKKAR, M., JOSHI, A., MENDJOGE, N., 2012, "Learning Math Using Gesture", International Conference on Education and e-Learning Innovations, pp.1-3, Sousse, Tunisia.
- TOUTAIN, F., BOUABDALLAH, A., ZEMEK, R., DALOZ, C., 2011, “Interpersonal context-aware communication services”, in Communications Magazine, IEEE, Vol. 49, pp. 68-74.
- VARONA, J., MANRESA-YEE, C., PERALES, F.J., 2008, "Hands-free vision-based interface for computer accessibility", Journal of Network and Computer Applications, Vol. 31, pp. 357–374.
- WAGNER, D., PINTARIC, T., LEDERMANN, F., SCHMALSTIEG, D., 2005, “Towards Massively Multi-user Augmented Reality on Handheld Devices”, Pervasive Computing, Lecture Notes in Computer Science, Volume 3468, pp. 208-219.

- WALKER, J., 1988, "Through the Looking Glass: Beyond 'User Interfaces'", White Paper, Acessado em 25 de novembro, 2017, Disponível em:
https://www.fourmilab.ch/autofile/www/chapter2_69.html
- WARE, C., ARTHUR, K., BOOTH, K.S., 1993, "FISH TANK VIRTUAL REALITY", Proceedings of CHI '93 Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.37-42.
- WEISSMANN, J., SALOMON, R., 1999, "Gesture Recognition for Virtual Reality Applications Using Data Gloves and Neural Networks", IJCNN '99, International Joint Conference on Neural Networks, pp.1-4, Julho, Washington, DC, Estados Unidos.
- WERNER, C., MATTOSO, M., BRAGA, R. et al., 1999, "Odyssey: Infraestrutura de Reutilização baseada em Modelos de Domínio", Caderno de Ferramentas do XIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (XIII SBES), pp.17-20, Florianópolis, Brasil, Out.
- WEST, M.A., ALTINK, W.M.M., 1996, "Innovation at work: Individual, group, organizational, and socio-historical perspectives", European Journal of Work and Organizational Psychology, Vol. 5, pp. 3-11.
- YU, W., KUBER, R., MURPHY, E., STRAIN, P., MCALLISTER, G., 2006, " A novel multimodal interface for improving visually impaired people's web accessibility", Virtual Reality, Vol. 9, Ed. 2-3, pp. 133-148.
- ZYDA, M., 2005, "From Visual Simulation to Virtual Reality to Games", Computer, Vol.38, Ed. 9, pp. 25-32.

APÊNDICE A

Formulário de Consentimento

- **VMAG 3D**

Este estudo tem como objetivo avaliar a ferramenta VMAG 3D, considerando seu apoio à visualização de um diagrama de classes UML, utilizando controles de captura de movimento com múltiplos usuários. Para isso, será utilizado um protótipo, que já implementa parte das características da ferramenta.

- **IDADE**

Eu declaro ter mais de 18 anos de idade e concordar em participar de um estudo experimental conduzido por Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes na COPPE/UFRJ.

- **PROCEDIMENTO**

Este estudo ocorrerá em uma única sessão, que incluirá um treinamento sobre a ferramenta VMAG 3D. Eu entendo que, uma vez o experimento tenha terminado, os trabalhos que desenvolvi serão estudados visando entender a eficiência dos procedimentos e as técnicas que me foram ensinadas.

- **CONFIDENCIALIDADE**

Toda informação coletada neste estudo é confidencial, e meu nome não será divulgado. Da mesma forma, me comprometo a não comunicar os meus resultados enquanto não terminar o estudo, bem como manter sigilo das técnicas e documentos apresentados e que fazem parte do experimento.

- **BENEFÍCIOS, LIBERDADE DE DESISTÊNCIA.**

Eu entendo que os benefícios que receberei deste estudo são limitados ao aprendizado do material que é distribuído e ensinado. Eu entendo que sou livre para realizar perguntas a qualquer momento ou solicitar que qualquer informação relacionada a minha pessoa não seja incluída no estudo. Eu entendo que participo de livre e espontânea vontade com o único intuito de contribuir para o avanço e desenvolvimento de técnicas e processos para a Engenharia de Software.

- **PESQUISADOR RESPONSÁVEL**

Sergio Henriques Martins Barreto Bento Antunes

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - COPPE/UFRJ

- **PROFESSORES RESPONSÁVEIS**

Prof^a. Cláudia M.L. Werner

Prof^a. Claudia Susie C. Rodrigues

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - COPPE/UFRJ

Nome (em letra de forma): _____

Assinatura: _____ Data: _____

APÊNDICE B

Caracterização do Participante

Código do Participante: _____ Data: _____

Esta fase da pesquisa tem como objetivo obter informações sobre a sua experiência acadêmica e profissional.

Por favor, NÃO inclua nenhum detalhe que poderá identificá-lo.

Perfil do participante

1) Formação Acadêmica:

Doutorado

Doutorado em Andamento

Mestrado

Mestrado em Andamento

Graduação

Graduação em Andamento

Outro: _____

Ano de ingresso: _____ Ano de conclusão (de previsão): _____

2) Qual é sua experiência com modelos UML? (se necessário, marque mais de um item)

Nunca fiz / nunca conheci modelos UML.

Já li material sobre modelos UML.

Já participei de um curso sobre modelagem UML.

Já fiz modelagem UML para uso próprio.

Já fiz modelagem UML como parte de uma equipe, relacionada a um curso.

Já fiz modelagem UML como parte de uma equipe, na indústria.

Outro: _____

3) Inclua o número de semestres ou número de anos de experiência relevante em modelagem UML. Por favor, explique sua resposta. (Caso **não** tenha marcado a **primeira** opção na questão anterior)

(Ex: “Eu trabalhei por 3 anos fazendo modelagem UML na indústria”)

4) Caso **tenha** tido experiência com diagramas UML, o quão complexos eles eram? (Escolha a opção baseada no diagrama mais complexo com que você trabalhou)

- < 10 Elementos
- Entre 10 e 20 elementos
- Entre 20 e 50 elementos
- Entre 50 e 100 elementos
- > 100 elementos

5) Por favor, explique sua resposta. Inclua qualquer tipo de dificuldade que tenha sentido ao trabalhar com diagramas mais complexos.

6) Na escala dos 5 pontos abaixo:

0 = Nunca ouvi falar

1 = Conheço vagamente

2 = Possuo conhecimento teórico sobre o assunto, mas não prático

3 = Tenho um leve conhecimento prático do assunto

4 = Estou familiarizado com os aspectos teóricos e práticos

Marque uma opção, indicando o grau de sua experiência em:

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|
| Modelagem de sistemas de informação | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Orientação a Objetos | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Interfaces Multimodais | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Trabalho Cooperativo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Sistemas Complexos | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |

7) Você possui experiência com controles de captura de movimento, como o sensor Kinect da Microsoft, por exemplo? (se necessário, marque mais de um item)

Não

Sim, como controle de jogo

Sim, como instrumento de pesquisa

Sim, como _____

8) Por favor, explique sua resposta. (Caso **não** tenha marcado a **primeira** opção na questão anterior). Inclua o tipo de controle de captura de movimento com que teve contato.

9) Você já participou de alguma atividade de pesquisa ou desenvolvimento envolvendo participantes trabalhando em simultâneo no mesmo componente?

- Não
- Sim, como parte de um curso
- Sim, como parte de um trabalho
- Sim, como _____

10) Por favor, explique sua resposta. (Caso **não** tenha marcado a **primeira** opção na questão anterior). Inclua qualquer tipo de dificuldade que tenha sentido ao trabalhar em simultâneo no mesmo componente.

11) Em relação a trabalhos em grupo, qual o maior tamanho do grupo de que já participou (Incluindo você)?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5 ou mais

APÊNDICE C

Tarefas

Código do Participante: _____ Data: _____

Instruções

Este estudo será acompanhado por meio de anotações feitas pelo pesquisador. Sempre que possível, verbalize seus pensamentos, para que o experimentador possa melhor avaliar os resultados obtidos. Pergunte e comente tudo que achar necessário.

Contextualização

Você está participando deste estudo como um aluno da disciplina de Modelagem de Sistemas, e utilizará a VMAG 3D para responder algumas questões relacionadas à visualização de um diagrama de classes.

Atividades Individuais

As seguintes atividades devem ser realizadas individualmente, usando gestos ou o mouse, conforme explicitado.

- 1) Usando gestos, ouça a primeira mensagem de áudio, chamada “OdysseyTeste.xmi – 1”, através da função de mensagens, e identificar a informação nela descrita.

- 2) Usando gestos, identifique uma classe que se encontre em mais de um diagrama.

3) Usando gestos, encontre qual diagrama possui o maior número de elementos.

4) Usando gestos, grave uma mensagem de áudio relatando se existem classes sem documentação.

5) Usando o mouse, encontre os atributos da classe "NoProcesso", pertencente ao pacote "Pacote1".

Atividades em grupo

As seguintes tarefas serão realizadas em conjunto com o pesquisador. Você deverá coordenar as ações de ambos os usuários, determinando como prosseguir a fim de obter as informações requisitadas.

6) Usando gestos, ouça a segunda mensagem de áudio, chamada "OdysseyTeste.xmi – 2", através da função de mensagens, e orientar o outro usuário como identificar a informação descrita nela.

7) Usando gestos, encontre uma classe que possua operadores, mas não possua atributos. Oriente o pesquisador como controlar a câmera para explorar os diversos diagramas.

8) Usando o mouse, encontre a classe "No", pertencente ao 4º diagrama, e solicite ao outro usuário que identifique o quinto operador.

APÊNDICE D

Questionário de Avaliação

Código do Participante: _____ Data: _____

1) De 0 a 5, sendo 0 muito difícil e 5 muito fácil, avalie a dificuldade em utilizar o controle por gestos. Justifique.

0 1 2 3 4 5

2) Você conseguiu realizar todas as tarefas propostas? Se possível, comente.

Sim Não Parcialmente

3) Você ficou satisfeito com o resultado final das tarefas? Se possível, comente.

Sim Não Parcialmente

4) O treinamento aplicado para o uso da ferramenta e para a realização das tarefas foi suficiente? O que poderia ser acrescentado/modificado? Se possível, comente.

Sim Não Parcialmente

5) A ferramenta adequou-se apropriadamente às atividades em grupo? A possibilidade de mais de uma pessoa interagir com o diagrama em simultâneo se mostrou vantajosa? Se possível, comente.

Sim Não Parcialmente

6) A possibilidade de gravar mensagens de áudio associadas ao diagrama favoreceram a criação de documentação e a compreensão do diagrama? Se possível, comente.

Sim Não Parcialmente

7) A seguir serão listados alguns componentes presentes na ferramenta VMAG 3D.

Numa escala de 0 a 3, sendo:

0 - **Nada satisfeito**, e

3 - **Muito satisfeito**,

escolha sua opinião em relação à implementação desse componente, do ponto de vista de uso do gestos e do mouse. Em seguida, faça um comentário a respeito, se possível.

| Componente | | 0 | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---|---|---|---|
| Acionar um botão | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Controlar o câmera através do botão  | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Controlar o câmera através do botão  | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Controlar o câmera através do botão  | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Controlar o câmera através do botão  | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Escolher tipo de informação a ser exibida | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Obter informação sobre o diagrama | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Interagir simultaneamente com outro usuário | Gestos | | | | |
| | Mouse | | | | |
| Gravar áudio | | | | | |
| Reproduzir áudio | | | | | |
| Identificar os usuários participantes | | | | | |

8) Liste os aspectos positivos do protótipo VMAG 3D.

9) Liste os aspectos negativos do protótipo VMAG 3D.

10) Por favor, adicione qualquer outro comentário desejado aqui.

Obrigado por sua colaboração!