



Pós-Graduação em Ciência da Computação

**“HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA SISTEMAS
COLABORATIVOS REMOTOS DE REALIDADE
AUMENTADA”**

FERNANDA FREIRE FRANKLIN

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE
2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FERNANDA FREIRE FRANKLIN

“HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA SISTEMAS COLABORATIVOS REMOTOS
DE REALIDADE AUMENTADA”

*ESTE TRABALHO FOI APRESENTADO À PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DO CENTRO DE INFORMÁTICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO*

ORIENTADORA: PROFA DRA JUDITH KELNER

RECIFE
2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária Joana D'Arc L. Salvador, CRB 4-572

Franklin, Fernanda Freire.

Heurísticas de usabilidade para sistemas colaborativos remotos de realidade aumentada / Fernanda Freire Franklin. – Recife: O Autor, 2014.
105 f.: fig.

Orientadora: Judith Kelner.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CIN. Ciência da Computação, 2014.
Inclui referências.

1. Ciência da computação. 2. Interação homem-máquina. 3. Realidade aumentada. I. Kelner, Judith (orientadora). II. Título.

004

(22. ed.)

MEI 2014-82

Dissertação de Mestrado apresentada por **Fernanda Freire Franklin** à Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título “**Heurísticas de Usabilidade para Sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada**” orientada pela **Profa. Judith Kelner** e aprovada pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Silvio de Barros Melo
Centro de Informática / UFPE

Prof. Alexandre Cardoso
Faculdade de Engenharia Elétrica / UFU

Profa. Judith Kelner
Centro de Informática / UFPE

Visto e permitida a impressão.
Recife, 10 de março de 2014.

Profa. Edna Natividade da Silva Barros
Coordenadora da Pós-Graduação em Ciência da Computação do
Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

Aos meus pais Josué e Rosilda,
Aos meus irmãos e cunhada, Jonatas, Fabricio e Valdirene,
Às minhas grandes amigas Ellen e Rafaela,
À minha orientadora Judith

AGRADECIMENTOS

“É um negócio perigoso, Frodo, sair da sua porta. Você pisa na estrada e, se não controlar os seus pés, nunca saberá até onde será levado”.

BILBO BOLSEIRO — O SENHOR DOS ANÉIS: A SOCIEDADE DO ANEL

Estar neste mestrado foi um constante desafio e, chegar ao fim só foi possível porque tive a honra de ter em meu caminho grandes pessoas, e por isso não poderia deixar de expressar minha gratidão.

Aqueles que me deram a vida, e que, muitas vezes sem entender o porquê, nunca deixaram de estar comigo e me apoiar em minhas decisões, agradeço por tê-los sempre ao meu lado. Pai, Mãe, vocês são meus pilares, e tudo que sou, devo ao amor incondicional de vocês.

Aos meus irmãos, cunhada e primos obrigada pelo carinho e por simplesmente estarem comigo e sempre expressarem apoio independente de qualquer circunstância.

À minha grande amiga Ellen, não há palavras suficientes para expressar minha gratidão, obrigada pela amizade e por todo apoio dado: por me encorajar a seguir em frente, por me ouvir, me aconselhar nos momentos difíceis, e também por compartilhar de bons momentos durante todo este tempo que estou em Recife.

A todos os meus amigos, seria impossível citar a importância de cada um aqui, mas não poderia deixar de agradecer em especial às minhas amigas Rafaela, Dilma, Luma, Bel e Carla, com vocês meus dias em Recife não poderiam ser melhores.

À minha orientadora Judith, agradeço pela oportunidade, este mestrado me fez crescer muito, e grande parte foi graças ao seu apoio e também por cada puxão de orelha. Sou admiradora de sua garra e profissionalismo, saiba que ao seguir em frente, ei de lhe ter como inspiração.

Aos meus colegas do GRVM, agradeço a todos aqueles que me ajudaram, e em especial ao Felipe, seu apoio foi fundamental para que esta dissertação se concretizasse.

Enfim, peço desculpas se esqueci de citar alguém, mas gostaria de agradecer à todos que de alguma forma contribuíram e/ou estiveram comigo durante esta empreitada, que se chama mestrado.

*“Não convém levantar escândalos de começo,
só aos poucos é que o escuro é claro.”*

GUIMARÃES ROSA — GRANDE SERTÃO: VEREDAS

RESUMO

Atualmente, aliada ao presente progresso tecnológico, a Realidade Aumentada enfrenta uma fase de significativo crescimento, com uma gama de aplicações cada vez mais presentes na vida cotidiana das pessoas. Na medida em que o desenvolvimento da área vai se acentuando, e as tecnologias de base tornam-se mais maduras e robustas, as prioridades de pesquisa começam a ser redirecionadas e questões relativas à usabilidade da aplicação tornam-se mais ou tão importantes quanto às demais preocupações para a evolução da área. Nesse sentido, tendo em vista que pesquisas reportam que avaliação de usabilidade para sistemas de Realidade Aumentada ainda são incipientes e a área demanda por contribuições, esta dissertação propõe a adaptação e formação de uma lista de heurísticas de usabilidade para sistemas colaborativos remotos de realidade aumentada.

Para validar a lista de heurísticas foi desenvolvido um estudo de caso para um sistema de manutenção industrial, com uma aplicação voltada para realidade aumentada de baixo custo, considerando que os dispositivos móveis serão cada vez mais usados nas empresas e indústrias para atividades de rotina.

As principais contribuições desta dissertação são: a formalização do processo de elaboração da lista de heurísticas, a proposta de lista de heurísticas focada em sistemas colaborativos remotos de Realidade Aumentada, além do refinamento das heurísticas através de um experimento com um protótipo funcional concebido a partir de um modelo de baixo custo para sistemas colaborativos remotos de Realidade Aumentada.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Avaliação de Usabilidade; Interação Humano-Computador; Colaboração Remota; Manutenção e Inspeção de Equipamentos.

ABSTRACT

Recent advances in computer device design led to new research breakthroughs in the area of augmented reality (AR). A wide range of new applications emerged for use in daily tasks. Due to the AR achieved maturity and robustness, more research efforts are devoted to open challenges including application usability. As such, this dissertation presents and adopts a number of usability heuristics for use in the particular case of collaborative distributed augmented reality systems.

In order to validate the proposed heuristics, a case study for an industrial maintenance system is considered. The resulting testbed is seen as a low cost AR application scenario due to its use of off-the-shelf user mobile devices.

The main contributions of the present research are: the formal process to conceive a heuristics' list, the proposed heuristics' list for collaborative remote AR systems, and a first refinement of the heuristics through an experiment with a functional prototype based on a low cost collaborative remote AR model.

Keywords: Augmented Reality; Usability Evaluation; Human Computer-Interaction; Remote Collaboration; Equipment Maintenance and Inspection

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: As disciplinas que cercam o Design de Interação (SAFFER, 2010)	20
Figura 3.1: Transição entre realidade e virtualidade (MILGRAN; KISHINO, 1994).	34
Figura 3.2: Ambiente de Realidade Aumentada: à esquerda o ambiente real sem inserção de objetos virtuais e à direita, esse mesmo ambiente com objetos virtuais.	34
Figura 3.3: Taxonomia das técnicas de rastreamento de RA Monocular sem Marcadores (LIMA et al., 2010).	36
Figura 3.4: Exemplo de Interface Tangível: uso de uma pá para manipular objetos virtuais da aplicação VOMAR de Kato et al. 2000.	39
Figura 3.5: Interface do <i>Studierstube</i> , projeto de Schmalsteig (1996).	41
Figura 3.6: Interface da conferência baseada em RA colaborativa de Billinghurst e Kato (2002).	41
Figura 3.7: Exemplo do cenário 1 proposto pela plataforma ARIMA (BENBELKACEM et al., 2011).	43
Figura 3.8: Exemplo do cenário 2 proposto pela plataforma ARIMA (BENBELKACEM et al., 2011).	44
Figura 3.9: Exemplo de algumas funções do T.A.C. Da esquerda para a direita: Picking (a), Outlining (b) e Adding (c) (Bottecchia; Cieutat; Jessel, 2010).	45
Figura 3.10: Estrutura do ReMoTe. À esquerda, a interface do especialista e à direita os componentes do técnico (Alem; Tecchia; Huang, 2011).	47
Figura 5.1: Metodologia criada para adaptar as heurísticas.	59
Figura 5.2: Resultado da Fase 2 – Eliminação, Heurísticas de Nielsen (1994a).	62
Figura 5.3: Resultado da Fase 2 – Eliminação, <i>Guidelines</i> de design de Dünser et al. (2007).	63
Figura 5.4: Resultado da Fase 2 – Eliminação, <i>Guidelines</i> de Ganapathy (2013).	64
Figura 5.5: Resultado da Fase 2 – Eliminação, Heurísticas de Baker, Greenberg e Gutwin (2002).	65
Figura 5.6: Resultado da Fase 2 – Eliminação, Heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004).	66
Figura 5.7: Resultado da Fase 3 - Alinhamento de Similares.	67

Figura 5.8: Resultado da Fase 4 - Fusão de Similares.....	68
Figura 5.9: “Base” 1 – suporte para formar a heurística ‘Dispositivos de interação’.	70
Figura 5.10: “Base” 2 – suporte para a formar a heurística ‘Design intuitivo de interação’. .	71
Figura 5.11: “Base” 3 – suporte para a formar a heurística ‘Harmonia entre real e virtual’. .	71
Figura 5.12: “Base” 4 – suporte para formar a heurística ‘Informação virtual clara e concisa’.	72
Figura 5.13: “Base” 5 – suporte para a formar a heurística ‘Visibilidade, contraste e distância’.	72
Figura 5.14: “Base” 6 – suporte para a formar a heurística ‘Suporte à comunicação verbal’.	73
Figura 5.15: “Base” 7 – suporte para a formar a heurística ‘Autonomia e proteção’.	73
Figura 5.16: “Base” 8 – suporte para a formar a heurística ‘Conexão entre colaboradores’.74	
Figura 5.17: “Base” 9 – suporte para a formar a heurística ‘Mecanismos de interação para colaboração’.	74
Figura 6.1: Cenário do Modelo de Realidade Aumentada Colaborativa Remota proposto. .	85
Figura 6.2: Interação de apontamento do protótipo desenvolvido.	89
Figura 6.3: Exemplo de interface do protótipo com destaque para suas funcionalidades....	90
Figura 6.4: Arquitetura do Protótipo desenvolvido.....	91

SUMÁRIO

I APRESENTAÇÃO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Estrutura da Dissertação	17

II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2	DESIGN DE INTERAÇÃO E USABILIDADE	19
2.1	Usabilidade	21
2.2	<i>Guidelines</i> e Princípios de Design	22
2.3	Princípios de Usabilidade e Heurísticas	23
2.4	Métodos de Inspeção para Avaliação de Usabilidade	25
2.4.1	Avaliação de Heurística.....	26
2.4.2	Percurso Cognitivo	27
2.5	Métodos de Avaliação de Usabilidade Empíricos.....	28
2.5.1	Teste de Usabilidade	29
2.5.2	Pensando em Voz Alta	31
2.6	Considerações sobre o capítulo.....	32
3	REALIDADE AUMENTADA	33
3.1	Rastreamento e Registro	35
3.1.1	Rastreamento Baseado em Modelo	37
3.1.2	Rastreamento sem Modelo.....	38
3.2	Interfaces de Interação	38
3.3	Realidade Aumentada Colaborativa.....	39
3.3.1	Estado da Arte: Sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada para Manutenção e Inspeção Assistida	42
3.4	Considerações sobre o capítulo.....	48

4	ESTADO DA ARTE: AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA	49
4.1	Princípios de Design da IHC para o Design de Sistemas de RA.....	51
4.2	<i>Guidelines</i> de design para RA em Dispositivos Móveis.....	52
4.3	Heurísticas de usabilidade para avaliação de Sistemas Colaborativos	53
4.4	Heurísticas de Usabilidade para avaliação de sistemas de Realidade Virtual	54
4.5	Considerações sobre o Estado da Arte	56
III	PROPOSTA	
5	HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA SISTEMAS COLABORATIVOS REMOTOS DE REALIDADE AUMENTADA	58
5.1	FASE 1 – Levantamento	59
5.2	FASE 2 – Eliminação	60
5.3	FASE 3 – Alinhamento de Similares	66
5.4	FASE 4 – Fusão de Similares	67
5.5	FASE 5 – Agrupamento e Adaptação	70
5.6	FASE 6 – Remanejamento e Adaptação Preliminar	74
5.7	FASE 7 – <i>Focus Group</i> : Refinamento da lista Proposta.....	77
5.8	FASE 8 – Resultado Final: Heurísticas de Usabilidade para Sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada	79
5.9	Considerações sobre o Capítulo	81
6	UM MODELO DE REALIDADE AUMENTADA COLABORATIVA REMOTO DE BAIXO CUSTO	82
6.1	Requisitos da Proposta do Modelo	83
6.2	Cenário do Modelo Proposto	84
6.3	Estudo de caso	88
6.4	Avaliação do Protótipo	92
6.5	Considerações sobre o capítulo.....	93
7	CONCLUSÕES	95

7.1 Dificuldades	96
7.2 Contribuições.....	96
7.3 Trabalhos Futuros.....	97
REFERÊNCIAS	98

PARTE I

APRESENTAÇÃO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO



Vivemos numa era de acentuado progresso tecnológico em que previsões futurísticas de filmes de ficção científica “saltam” da ficção para a realidade e pessoas usufruem de experiências tecnológicas multissensoriais: o Kinect tornou realidade o controle de uma tela por gestos do filme *Minority Report* (2002) e a Realidade Aumentada (RA) possibilitou a coexistência entre mundo real e virtual do filme *Star Wars* (1977). A ideia de ampliar a percepção do usuário pela inserção de objetos virtuais no ambiente real da RA, a torna aplicável e promissora em diversas áreas (AZUMA, 1997) e o presente progresso tecnológico tem colaborado para que a mesma cumpra com maior fidelidade seu propósito, permitindo maior mobilidade e experiências sensoriais cada vez mais apuradas; bem como tem contribuído para sua ascensão e popularidade.

Os avanços também auxiliaram para que recursos de colaboração fossem agregados às interfaces de RA, o que possibilitou uma convergência de recursos multimídia que permite que usuários compartilhem seu espaço físico, com *streaming* de vídeo em tempo real, adicionado de informações virtuais, proporcionando que pessoas remotamente localizadas desfrutem de vantagens do trabalho presencial (face-a-face).

Nesse contexto, na medida em que as tecnologias de base tornam-se mais maduras e robustas, e cada vez mais aplicações são desenvolvidas, as prioridades de pesquisa começam a ser redirecionadas e questões relativas à usabilidade da aplicação tornam-se mais ou tão importantes quanto às demais preocupações para a evolução da área. Porém, o

número de projetos que formalmente fizeram avaliação de usabilidade em sistemas de RA ainda é reduzido. Nesse sentido, em virtude do atual estágio das pesquisas relacionadas à avaliação de usabilidade em sistemas de RA e, conseqüentemente, pela atual demanda de pesquisas para a evolução desta área, como também por não ter sido encontrado outro trabalho reportando o que se deseja propor aqui, nesta dissertação será apresentada a adaptação de uma lista de heurísticas de usabilidade específica para interfaces de sistemas colaborativos remotos de RA. A escolha pelas heurísticas foi devido à sua natureza informal, sucinta e rápida e por ser um método considerado um dos mais populares dentre os utilizados pelos profissionais da usabilidade em um *survey*, sobre práticas de design centradas em usuário, realizado por Vredenburg et al. (2002) e apontado por Nielsen (2009) como o segundo método mais popular entre os métodos de avaliação de usabilidade.

Atualmente, uma área bastante beneficiada pela colaboração remota baseada em RA é o campo industrial, mais especificamente em tarefas de treinamento e/ou suporte à inspeção e manutenção de equipamentos industriais (BOTTECCHIA; CIEUTAT; JESSEL, 2010). Dessa maneira, indústrias possuem maquinários sofisticados que demandam alto nível de conhecimento para realizar tais tarefas de inspeção e manutenção e, conseqüentemente, envolve altos custos para formar especialistas. Uma alternativa para reduzir esses custos com formação é centrar o conhecimento específico em um único tutor, que será responsável por apoiar técnicos de campo em tarefas mais complexas que demandam maior conhecimento sobre o equipamento. No entanto, não será sempre que este especialista poderá estar junto ao técnico para auxiliá-lo na tarefa, e é nesse ponto que o sistema colaborativo de RA poderá contribuir para tornar esta tarefa exequível. Todavia um fator crucial para o técnico é a mobilidade, logo, é necessário que ele utilize plataformas móveis de RA para se comunicar com o especialista.

Recentemente, dispositivos móveis têm se tornado plataformas ideais para a Realidade Aumentada Móvel: tablets e smartphones já possuem câmeras acopladas com resolução em HD, processadores potentes, e até mesmo suporte gráfico para exibir imagens 3D's. Também são equipados com acelerômetro, suportam comunicação via rede *wireless* que contribui para as aplicações colaborativas (ADHANI, RAMBLI, 2012). Além disso, podem ser relativamente mais baratos se comparados às outras plataformas móveis utilizadas para RA, como é o caso dos computadores vestíveis.

Levando em consideração o contexto da assistência remota em atividades de inspeção e manutenção de equipamentos e alinhando ao escopo de redução de gastos, esta dissertação também traz uma proposta secundária: um modelo de arquitetura para um

sistema de Realidade Aumentada Colaborativa Remota de Baixo Custo. A partir deste modelo, foi desenvolvido um protótipo simples, mas que exercerá dois papéis fundamentais: prova de conceito do modelo proposto e alicerce para uma validação piloto da lista de heurísticas proposta.

1.1 OBJETIVOS

Sabe-se que em razão da fase embrionária em que se encontram os estudos com avaliação de RA, é um pouco desafiador partir para a proposta de uma lista de heurísticas de usabilidade para sistemas de RA. No entanto, há demanda em contribuições para este foco e uma forma de contribuir é tentar quebrar as barreiras do desafio buscando amparo em áreas similares e/ou complementares. Nesse sentido, a partir de um estudo geral realizado dentro da área de avaliação de usabilidade, e do levantamento de listas de heurísticas, *guidelines* e princípios de design similares e complementares à Realidade Aumentada Colaborativa, o principal objetivo desta dissertação é propor a adaptação e formação de uma lista de heurísticas de usabilidade para sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada.

Esta proposta tem como alicerce que o uso de sistemas colaborativos remotos de RA para auxiliar nas tarefas de inspeção e manutenção de equipamentos é relativamente novo e demanda por contribuições, principalmente no campo industrial. Além disso, considerando também que dispositivos de baixo custo podem auxiliar na popularidade desses sistemas, esta dissertação possui um objetivo secundário: apresentar um modelo de arquitetura para um sistema Colaborativo Remoto de Realidade Aumentada, em tempo real de baixo custo, para auxiliar nas operações de treinamento e supervisão realizadas por um especialista a um ou mais técnico(s) de campo(s), em tarefas de inspeção e manutenção de equipamentos industriais. A partir deste modelo, foi desenvolvido um protótipo tanto para estudo de caso quanto para que a lista de heurísticas proposta pudesse ser validada.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação engloba sete capítulos divididos em 3 partes: Apresentação, Fundamentação Teórica e Proposta. A primeira parte, Apresentação, corresponde a este capítulo, o qual faz uma introdução e expõe os objetivos desta dissertação.

A segunda parte, Fundamentação Teórica, compreende os capítulos dois, três e quatro. O capítulo 2 faz uma generalização sobre design de interação e usabilidade em que conceitua e diferencia alguns termos comuns e apresenta métodos consolidados e centrais que são utilizados para conduzir avaliação de usabilidade em design de interfaces. O capítulo 3 inicia com uma apresentação breve sobre tecnologias interativas 3D, para então conceituar a RA e no decorrer do capítulo abranger algumas de suas características essenciais e finalizar explicando sobre a RA no contexto da colaboração. Ao fim, no capítulo 4 é apresentado um estado da arte sobre avaliação de usabilidade para sistemas de Realidade Aumentada.

A terceira e última parte, Proposta, engloba os capítulos finais cinco, seis e sete. No capítulo 5 é apresentada a metodologia criada para adaptar e propor a lista de heurísticas para avaliar sistemas colaborativos remotos de Realidade Aumentada, objetivo principal desta dissertação. O capítulo 6 é dedicado a apresentar o objetivo secundário: a proposta do modelo de arquitetura de um sistema colaborativo remoto de RA voltado para inspeção e manutenção de equipamentos industriais. Por último, o capítulo 7 faz a conclusão geral de todo o trabalho realizado nesta dissertação somada às contribuições, dificuldades encontradas e trabalhos futuros.

PARTE II

FUNDAMENTAÇÃO

TEÓRICA

CAPÍTULO 2

DESIGN DE INTERAÇÃO E USABILIDADE

No princípio, o termo “interface de usuário” não era necessário. As manipulações de computador eram realizadas diretamente via *hardware* e os usuários eram os próprios engenheiros e programadores que projetavam esses sistemas em *hardware*. Na década de 70, com o advento das interfaces de usuário das primeiras estações de trabalho pessoais, o *design* de interação teve o seu início (GRUDIN, 1990). Naquele momento, um dos maiores desafios era desenvolver computadores que pudessem ser acessíveis e utilizáveis por outras pessoas, além dos engenheiros. Percebeu-se que era necessário compreender o comportamento dos usuários, como se comunicam e interagem. A partir da década de 80 em diante as pesquisas envolvendo o design de interação cresceram e se tornaram um passo importante no desenvolvimento e aperfeiçoamento de interfaces interativas (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002).

Nesse contexto, Preece, Rogers e Sharp (2002) definem o design de interação (DI) como o “design de produtos interativos que fornecem suporte às atividades cotidianas das pessoas, seja no lar ou no trabalho o que significa criar experiências que melhorem e estendam como as pessoas trabalham, se comunicam e interagem”. Segundo as autoras, o objetivo do design de interação consiste em redirecionar o projeto de interfaces interativas com o usuário em mente, ou seja, trazer a usabilidade para o processo de design. Essencialmente, isso significa que os designers de interação fazem a tecnologia, em particular a tecnologia digital, útil, utilizável, e prazerosa do ponto de vista do usuário (SAFFER, 2010).

Como uma disciplina formal, o design de interação existe há menos de duas décadas. É um campo ainda em processo de evolução, em fase de descoberta de seus limites e/ou em processo de mudança para acomodar novos paradigmas de projetos (SAFFER, 2010). A Figura 2.1 é uma tentativa de esclarecer as relações entre o DI e outras disciplinas que estão à sua volta.

A maioria das disciplinas abrange pelo menos uma parte do design de experiência do usuário — a disciplina que visa considerar os aspectos do projeto (design visual, design de interação, design de som, etc) de encontro com a necessidade e conforto do usuário. Com relação às demais disciplinas, a arquitetura da informação está ligada à estrutura do conteúdo, e foca na maneira de organizá-lo para que o usuário encontre as informações que precisa. O design visual, como o próprio nome diz, objetiva criar uma linguagem visual para apresentar o conteúdo. O design industrial está relacionado com a forma dos objetos, ou seja, se preocupa em moldá-los de maneira que enquanto comunica seu uso, também seja funcional. Os fatores humanos asseguram que os produtos estejam em conformidade com as limitações do corpo humano, tanto física quanto psicologicamente. A interação humano-computador está intimamente ligada ao DI, mas seus métodos são mais quantitativos, e são mais da ciência da computação do que do design. A arquitetura se envolve com espaços físicos: sua forma e uso. O design de som define um conjunto de sons, palavras faladas ou músicas para criar sonoridade no design (SAFFER, 2010).



Figura 2.1: As disciplinas que cercam o Design de Interação (SAFFER, 2010)

Entretanto, como ilustra a Figura 2.1, estas disciplinas são separadas, embora haja bastante envolvimento entre elas. Na verdade, onde elas se interceptam podem estar grandes áreas de atuação, como o design de interface que está na interseção entre o design visual e de interação ou a navegação, na interseção entre design visual e de interação com a arquitetura da informação. O fato é que os melhores produtos são resultados de várias disciplinas trabalhando em harmonia (SAFFER, 2010).

Nesse escopo, uma forma de garantir que o design de interação do produto está em conformidade com seu usuário final é utilizar métodos de avaliação de usabilidade que irão medir o quão útil, utilizável e satisfatório é o seu design. Baseado nesse contexto, o objetivo deste capítulo é apresentar conceitos gerais de usabilidade e os principais métodos utilizados durante o processo de avaliação de usabilidade.

2.1 USABILIDADE

Nielsen (2012a) define usabilidade como um atributo de qualidade que avalia o quão fácil é o uso de uma interface de usuário. Além disso, também se refere a métodos para facilitar o uso durante o processo de design. O autor ainda associa a usabilidade a cinco componentes de qualidade:

- **Capacidade de aprendizado:** Quão fácil é para o usuário realizar tarefas básicas na primeira vez que interage com o design?
- **Eficiência:** Uma vez que os usuários aprenderam o design, quão rápido eles podem realizar as tarefas?
- **Capacidade de memorização:** Quando usuários retornam ao design depois de um período sem utilizá-lo, quão fácil eles podem restabelecer a proficiência?
- **Erros:** Quantos erros os usuários cometem, quão severos são esses erros, e quão fácil eles podem recuperar os erros?
- **Satisfação:** Quão agradável é usar o design?

No entanto, pode-se ir além desses cinco atributos e outros de igual importância também poderiam ser associados. A chave de entrada é utilidade, que se refere à funcionalidade do design: se o design faz o que o usuário precisa (NIELSEN, 2012a). Outra definição é dada pela norma NBR 9241-11 (2002) que faz uma espécie de condensação de alguns dos cinco atributos de maneira precisa, sucinta e completa para conceituar a

usabilidade como “medida na qual um produto pode ser usado por vários usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso”.

Tomando as características dos atributos de qualidade associados à usabilidade anteriormente, é possível observar que elas são quantificáveis, ou seja, cada uma delas pode ser medida. Esta premissa implica que a usabilidade não é meramente subjetiva, mas quantificável. Nesse contexto, ao medi-la em um sistema, significa que se está realizando sua avaliação de usabilidade, que por sua vez engloba uma diversidade de métodos que podem ser utilizados (GABBARD et al., 2002). Esses métodos, comumente são divididos em duas categorias básicas: analíticas e empíricas (NIELSEN, 1993).

Os métodos analíticos, de acordo com Kostaras e Xenos (2012) são modelos teóricos, regras e padrões que simulam o comportamento do usuário. Neles, os usuários finais não são envolvidos, ou seja, as avaliações são baseadas em especialistas que inspecionam ou examinam aspectos de uma interface de usuário relacionados à usabilidade (NIELSEN; MACK, 1994). Eles incluem dois tipos de métodos de avaliação: inspeção e baseados em modelo. Os métodos de inspeção visam encontrar problemas de usabilidade em um design (NIELSEN; MACK, 1994). Já os métodos baseados em modelo realiza várias medições de performance de usuário sem testar com os usuários propriamente ditos (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002).

Em contrapartida aos analíticos, estão os métodos empíricos, os quais constituem medidas de performance realizadas com um grupo de pessoas que representam o nicho de usuário final daquela interface. Normalmente, a coleta de dados é feita em ambiente controlado e, após os testes, os especialistas vão contabilizar os resultados obtidos que dirão o quão utilizável é aquela interface para o usuário final. Os métodos empíricos também se enquadram em dois tipos de avaliação: experimental e investigativa (KOSTARAS; XENOS, 2012).

2.2 GUIDELINES E PRINCÍPIOS DE DESIGN

Quando se fala em *guidelines* (ou orientações) de design, está se referenciando a uma listagem de princípios bem conhecidos para o design de interface que devem ser seguidos no projeto em desenvolvimento. Eles podem ser gerais — aplicáveis a diferentes interfaces de

usuários; específicos — para o tipo de sistema em desenvolvimento; ou orientados a produto — para um produto individual (NIELSEN, 1993).

Já os princípios de design são orientações gerais que se baseiam em saberes teóricos, experimentação e senso comum. São abstrações generalizadas que visam orientar os designers a pensar sobre os diferentes aspectos de seu projeto, como o que utilizar e o que evitar tendo em vista a perspectiva de experiência de usuário. Entretanto, estes princípios não têm intenção de especificar como projetar uma interface real, eles apenas funcionam como indicadores para os designers, garantindo que eles aderiram certas características em uma interface. Vários princípios de design já foram desenvolvidos, os mais comuns para interfaces 2D são: visibilidade, *feedback*, restrições, consistência e *affordance* (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002).

2.3 PRINCÍPIOS DE USABILIDADE E HEURÍSTICAS

Os princípios de usabilidade são bastante parecidos com os de design, mas tendem a ser mais específicos. Conhecidos pelo termo heurísticas, eles são tidos como base para a avaliação de protótipos e sistemas existentes, ou seja, são usados como guia para os especialistas conduzirem a avaliação heurística de uma interface. No entanto, por serem relativamente semelhantes, *guidelines* e princípios de design, quando usados para avaliação também são chamados de heurísticas (PREECE; ROGERS; SHARP, 2002). Na literatura é possível encontrar várias listas de heurísticas gerais (BASTIEN; SCAPIN, 1995; SHNEIDERMAN; PLAISANT, 2005), mas um exemplo fundamental que está entre as mais reconhecidas e populares é a composta por 10 heurísticas, desenvolvida originalmente por Molich e Nielsen (1990) e refinada por Nielsen (1994a):

1. **Visibilidade do status do sistema** – o sistema mantém os usuários sempre informados sobre o que está acontecendo, fornecendo um *feedback* adequado, dentro de um tempo razoável.
2. **Compatibilidade do sistema com o mundo real** – o sistema fala a linguagem do usuário utilizando palavras, frases e conceitos familiares a ele, em vez de termos orientados ao sistema.
3. **Controle do usuário e liberdade** – fornece maneiras de permitir que os usuários saiam facilmente dos lugares inesperados em que se encontram, utilizando “saídas de emergência” claramente identificadas para sair do estado indesejado sem ter

que passar por um diálogo prolongado. Deve oferecer suporte para desfazer e refazer ações.

4. **Consistência e padrões** – evita fazer com que os usuários tenham que pensar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa. Devem seguir as convenções da plataforma.
5. **Prevenção de erros** – melhor do que boas mensagens de erro é um design cuidadoso que impeça que um problema ocorra em primeiro lugar. Ou eliminar condições sujeitas a erros ou verificá-los e apresentar aos usuários uma opção de confirmação antes de se comprometer com a ação.
6. **Reconhecimento em vez de memorização** – Minimizar a carga de memória do utilizador. Tornar objetos, ações e opções visíveis. O usuário não deve ter que lembrar informações de uma parte do diálogo para outra. Instruções para uso do sistema devem estar visíveis.
7. **Flexibilidade e eficiência de uso** – fornece aceleradores invisíveis aos usuários inexperientes, os quais, no entanto, permitem aos mais experientes realizar tarefas com mais rapidez.
8. **Estética e design minimalista** – Os diálogos não devem conter informações irrelevantes ou raramente necessárias. Cada unidade extra de informação em um diálogo compete com as unidades relevantes de informação e diminui sua visibilidade relativa. O layout visual deve respeitar os princípios de contraste, repetição, alinhamento e proximidade.
9. **Ajuda os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar os erros** – as mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos), indicar com precisão o problema e construtivamente sugerir uma solução.
10. **Ajuda e documentação** – Mesmo que seja melhor o usuário ser capaz de utilizar o sistema sem uma documentação, ela pode ser necessária. Qualquer informação deve ser fácil de pesquisar, focada na tarefa do usuário, com uma lista concreta de passos a serem realizados, e não deve ser muito grande.

2.4 MÉTODOS DE INSPEÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

Há quatro meios básicos de avaliar uma interface de usuário: **automaticamente**, em que medidas de usabilidade são computadas através da execução de um software de avaliação que recebe como entrada uma especificação formal da interface; **empiricamente**, através de testes de interface com usuários reais; **formalmente**, com a utilização de modelos exatos e fórmulas para calcular as medidas de usabilidade; e **informalmente**, com o uso da habilidade e experiência dos avaliadores (NIELSEN, 1994b). Os métodos de inspeção se enquadram na categoria dos informais.

Segundo Nielsen (1994b), no estado da arte daquela época, o qual ainda é válido para os dias atuais, os métodos automáticos não funcionam e os formais são muito difíceis de serem aplicados e não funcionam bem em interfaces complexas e altamente interativas. Já os métodos empíricos, são o principal meio de avaliar interfaces de usuários e provavelmente os mais tradicionais. Mas no geral, usuários reais podem ser difíceis e caros para recrutar número suficiente para testar todas as fases do desenvolvimento evolutivo de uma interface. Muitos estudos demonstraram que os métodos de inspeção encontram muitos problemas que os empíricos não detectam, e vice-versa. O ideal, para que se tenha melhores resultados, seria a combinação de avaliação por inspeção com empírica.

Logo, os métodos de inspeção são informais e visam encontrar problemas de usabilidade no design de uma interface de usuário e com base neles fazer recomendações no sentido de eliminá-los e melhorar a usabilidade do sistema (NIELSEN; MACK, 1994). Isso significa, que as inspeções de usabilidade são feitas em um estágio em que a interface está sendo gerada e sua usabilidade precisa ser avaliada (ROCHA; BARANAUSKAS, 2003).

Rocha e Baranauskas (2003) definem os problemas de usabilidade como “aspectos da interface do usuário que podem causar uma usabilidade reduzida ao usuário final do sistema”. Com relação aos métodos de inspeção, elas levantam que eles “geralmente são melhores na detecção de problemas do que na direção de como melhorar a interface, mas tipicamente relatórios gerados a partir deles contêm sugestões para redesign”.

Dentre os diversos métodos de inspeção existentes os mais comuns são Avaliação de Heurística e Percurso Cognitivo. Eles serão vistos com mais detalhes nas seções seguintes.

2.4.1 Avaliação de Heurística

Para um efeito significativo, a maioria dos métodos de inspeção deve ser usada durante o ciclo de vida do projeto. Todavia, isso ainda não é uma realidade. Muitos desenvolvedores consideram os métodos intimidadores, muito caros, difíceis e que necessitam muito tempo para serem aplicados (NIELSEN, 1994a, ROCHA; BARANAUSKAS, 2003). Com o intuito de inverter essa tendência Nielsen (1989) propôs a chamada engenharia econômica de usabilidade (do inglês *discount usability engineering*) com métodos baratos, rápidos e fáceis de serem usados.

A engenharia econômica de usabilidade de Nielsen (1989) ainda é válida para os dias de hoje, embora, muitos profissionais ainda insistam em ir para o caminho oposto (NIELSEN, 2009). Dentre os métodos econômicos apontados pelo autor, a avaliação heurística foi o principal deles, pois é fácil — pode ser ensinada em 4h; é rápida — cerca de 1 dia para a maioria das avaliações; e tão barata quanto se deseje.

Assim, como um método de inspeção, a avaliação heurística visa encontrar problemas de usabilidade em uma interface de usuário. Ela envolve um pequeno grupo de avaliadores especialistas que examinam e julgam a interface conforme uma pequena lista de heurísticas bem definidas (NIELSEN, 1995), como por exemplo, a lista de Nielsen (1994) citada anteriormente.

Sabe-se que é difícil para um único avaliador encontrar todos os problemas de usabilidade em uma interface. Experiências em inúmeros projetos mostraram que diferentes pessoas encontram diferentes problemas. Desse modo, é possível melhorar significativamente os resultados da avaliação heurística utilizando múltiplos avaliadores. A recomendação dada é que se envolva entre três e cinco avaliadores (NIELSEN, 1995).

Em uma primeira etapa, a avaliação heurística é conduzida individualmente, tipicamente essa etapa dura cerca de duas horas. Sessões mais extensas podem ser necessárias em caso de interfaces muito grandes e/ou complexas, nesse caso, é recomendável que a avaliação seja dividida em pequenas sessões. Nesse momento o avaliador percorre a interface diversas vezes (pelo menos duas), inspecionando os diferentes componentes e ao detectar problemas, relata associando-os claramente com as heurísticas de usabilidade que foram violadas. Embora, não impeça que ele considere outro princípio adicional ou resultado que possa ser específico para aquele elemento. Na etapa seguinte, os

avaliadores que participaram das sessões de avaliação são autorizados a comunicarem entre si a fim de agregar seus resultados (NIELSEN, 1995).

Cabe ressaltar que, uma vez que os avaliadores não estão utilizando o sistema como tal (para realizar a tarefa verdadeira), é possível fazer a avaliação heurística da interface de usuário que existe apenas no papel e ainda não foi implementada (NIELSEN, 1990). Isto a torna adequada para ser usada no início do ciclo de vida da engenharia de usabilidade (NIELSEN, 1995).

2.4.2 Percurso Cognitivo

O método de inspeção Percurso Cognitivo (LEWIS et al., 1990; POLSON, 1992) tem por finalidade principal avaliar o design quanto à sua facilidade de aprendizagem, particularmente por exploração. O foco na aprendizagem foi motivado pela observação de que muitos usuários preferem aprender a usar o sistema por exploração (CARROL; ROSSON, 1987, FISHER, 1991). Ao invés de investir em treinamento formal ou em leitura de material extensivo de apoio, usuários preferem aprender a funcionalidade do sistema enquanto estão trabalhando em suas tarefas usuais, adquirindo conhecimento das características desse sistema por demanda. Esse meio de aprendizado incremental assegura que o custo da aprendizagem de uma interface nova é em parte determinado pelo benefício imediato do usuário (WHARTON et al., 1994).

Segundo Wharton (1994), nesse método, os avaliadores avaliam a interface no contexto de uma ou mais tarefas de usuário em específico. A entrada para a sessão do percurso inclui uma interface com a descrição do design detalhada, o cenário da tarefa, hipóteses explícitas sobre a população de usuários e o contexto de uso, e uma sequência de ações que um usuário deve realizar para completar a tarefa solicitada. Em resumo, os autores estabelecem o processo de percurso cognitivo nos seguintes passos:

- 1. Definição das entradas para o percurso**
 - a. Quem são os usuários do sistema;
 - b. Amostra de tarefas para avaliação;
 - c. Sequência de ações para completar as tarefas;
 - d. Descrição ou implementação da interface;
- 2. Convocar os analistas;**

3. Percorrer as sequências de ações para cada tarefa

- a. Contar uma história verossímil considerando:
 - i. O usuário fará a ação correta para atingir o resultado desejado?
 - ii. O usuário irá perceber se a ação correta está disponível?
 - iii. O usuário irá associar a ação correta com o efeito desejado?
 - iv. Se a ação correta for executada, o usuário irá perceber se está havendo progresso para a solução da tarefa?

4. Registrar informações críticas:

- a. Requerimentos de conhecimentos do usuário;
- b. Hipóteses sobre a população de usuários;
- c. Notas sobre questões correlatas e mudanças de design
- d. O sucesso da história confiável;

5. Revisar a interface para solucionar os problemas.

Wharton et al. (1994) pontua, ainda, que durante o processo do percurso cognitivo, o grupo deve considerar, em sequência, cada uma das ações necessárias para cumprir a tarefa. Para cada ação, os avaliadores tentam reportar uma história sobre as interações típicas do usuário na interface. Eles questionam o que o usuário estaria tentando fazer nesse ponto e quais ações a interface disponibiliza. Se o design da interface é bom, a intenção do usuário deve pender para selecionar a ação apropriada. Seguindo a ação, a interface deve apresentar *feedback* claro ao passo que indica o progresso que está sendo realizado para completar a tarefa.

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE EMPÍRICOS

O objetivo dos métodos de avaliação de usabilidade empíricos é testar a interface com usuários finais propriamente ditos. Estes testes normalmente se passam em ambientes controlados e após seu término os especialistas contabilizam os dados e geram os resultados da avaliação. Eles estão divididos em: métodos experimentais e métodos de investigação.

Na categoria de métodos experimentais, os mais comuns são Teste de Usabilidade e o Pensando em voz alta (do inglês *Thinking aloud Protocol*). O teste de usabilidade é um dos mais populares e mais utilizados atualmente, bem como o método de avaliação de que os especialistas apontam como mais impactante sobre a melhoria do produto (ROSENBAUM;

ROHN; HUMBURG, 2000). Sua popularidade levou às pessoas a usarem o termo para se referirem aos métodos da engenharia da usabilidade em geral. No entanto, não se deve confundir, teste de usabilidade é apenas um entre os muitos outros métodos de avaliação de usabilidade disponíveis.

Os métodos de investigação visam examinar a qualidade das características do sistema através da medição da opinião dos usuários. Dentre os populares desta categoria estão os baseados em questionários e entrevistas.

As seções seguintes estão dedicadas a descreverem um pouco mais sobre os métodos: teste de usabilidade e pensando em voz alta.

2.5.1 Teste de Usabilidade

Segundo Dumas e Fox (2008), testes de usabilidade válidos possuem seis características:

- **O Foco é em usabilidade:** parece óbvio que o teste de usabilidade deve ser sobre usabilidade, mas, às vezes, as pessoas tentam aplicar o teste para outros propósitos. O erro mais comum é entre usabilidade e a promoção do produto, como por exemplo, a adição de questões sobre a intenção do usuário em comprar tal produto.
- **Os participantes são usuários finais ou potenciais usuários finais:** os **participantes** precisam ser parte do nicho de mercado para aquele produto. Embora, testar com outros nichos também seja útil para encontrar problemas de usabilidade. Porém, os resultados não podem ser generalizados para o tipo de população que se deseja atingir.
- **Existe um produto ou sistema para avaliar:** teste de usabilidade pode ser aplicado para quase todo tipo de produto ou tecnologia, que inclui:
 - Produtos com interfaces de usuários que estão todas em *software* como sistemas de administração de banco de dados; todas em *hardware*, como canetas de alta qualidade; ou em ambos, *hardware* e *software*, como os celulares.
 - Produtos destinados para diferentes tipos de usuários: médicos, engenheiros, estudantes, administradores, etc.

- Produtos que são usados em grupo, como os sistemas colaborativos.
- Produtos que estão em diversos estágios de desenvolvimento, como os primeiros protótipos, produtos em teste beta e produtos completos.
- Componentes que são incorporados ou acompanham o produto, como manuais impressos, folhas de instruções que são embaladas juntas com o produto, tutoriais, ajuda *online*.
- **Os participantes realizam tarefas, geralmente enquanto pensam alto:** essa é a fase de execução do teste, quando os dados são coletados e o participante interage com o administrador do teste. Antes do início da sessão o administrador passa todas as instruções sobre o teste para o participante e, em muitos testes de usabilidade, é requisitado que eles pensem alto, método que será discutido posteriormente.
- **Os dados são registrados e analisados:** nesta etapa os dados registrados são analisados através da triangulação das medidas para confirmar o que foi encontrado; da identificação dos problemas de usabilidade; da associação de graus de severidade para cada problema; e da identificação das questões positivas.
- **Os resultados do teste são comunicados para um público apropriado:** No início dos testes com usuários, a comunicação sobre o resultados eram, geralmente, realizados de maneira formal — os avaliadores tinham de repassar o que eles fizeram e o que foi encontrado. Atualmente, essa situação se reverteu, é comum os resultados serem apresentados informalmente, como em reuniões feitas logo após as sessões de teste.

Os testes de usabilidade podem ser valiosos durante o ciclo de desenvolvimento do produto. Começar a aplicá-los desde o início é de grande valia, uma vez que auxilia os times a identificar e corrigir problemas de usabilidade que possam vir a surgir, antes que eles se tornem demasiado custosos para ser consertado (DUMAS; FOX, 2008). Nesse contexto, tendo como base métodos provenientes das ciências sociais, Rubin (1994) divide os testes de usabilidade nos seguintes tipos:

- **Testes exploratórios:** conduzidos no início do processo de desenvolvimento para tratar de questões de alto nível, sem detalhes específicos.

- **Testes de avaliação:** conduzidos no início ou no meio do desenvolvimento. Eles são chamados por Rubin (1994) de testes de usabilidade “mais típicos”.
- **Testes de validação ou verificação:** realizados no final do desenvolvimento, para assegurar que o produto cumpre os requisitos mínimos de usabilidade.
- **Testes de comparação:** conduzidos em qualquer ponto do desenvolvimento, para comparar dois ou mais produtos. Estes testes visam identificar forças e fraquezas de produtos que podem ser concorrentes ou projetos de design que competem entre si.

2.5.2 Pensando em Voz Alta

O pensando em voz alta é um método empírico com origens na psicologia e definido por Nielsen (1993) como uma solicitação para que os participantes, enquanto usam o sistema, pensem alto de maneira contínua, ou seja, simplesmente verbalizando seus pensamentos enquanto exploram a interface de usuário. O autor ainda o aponta como o método de engenharia de usabilidade mais valioso e reforça que esta afirmação ainda é válida para os dias atuais (NIELSEN, 2012b).

Para executar um estudo básico de usabilidade com o pensando alto é necessário apenas três passos: recrutar os usuários representativos; dar a eles tarefas representativas para realizar; e silenciar e deixar que eles falem. Embora simples, não é à toa que este método é tido como bastante valioso, ele possui uma série de vantagens. A mais importante, é que ele age como se fosse a “janela da alma”, pois permite que se descubra o que os usuários realmente pensam sobre o design que estão usando (NIELSEN, 2012b). Outros benefícios levantados por Nielsen (2012b) são:

- **Barato:** nenhum equipamento especial é necessário, pode-se simplesmente tomar nota sobre o que está sendo falado.
- **Robusto:** mesmo que muitas pessoas não contribuam satisfatoriamente com a metodologia proposta ainda é possível obter resultados provenientes de um estudo incipiente.
- **Flexível:** pode ser usado em qualquer estágio do ciclo de vida de desenvolvimento.

- **Convincente:** desenvolvedores e designer arrogantes, executivos “mão-fechada” podem, geralmente, amolecer quando são expostos diretamente ao modo como os clientes pensam sobre seu trabalho.
- **Fácil de aprender:** é fácil aprender o funcionamento do método e como aplicá-lo.

Barato e robusto são grandes vantagens dos métodos qualitativos, e o pensar alto não é exceção. O lado negativo é que o método não se presa às estatísticas detalhadas, para isso seria interessante recorrer à outras formas de avaliação. Há alguns outros pontos negativos como por exemplo, situações anormais, como quando os usuários estão interagindo em grupo, são estranhos entre si, e tendem a não falar; ou quando as falas são filtradas, ou seja, muitas pessoas querem parecer inteligentes e não falam o que estão pensando em detalhes. Ter desvantagens não é exclusividade do pensando alto e não desmerece sua importância numa avaliação de usabilidade (NIELSEN, 2012b).

2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados alguns conceitos e métodos que estão envolvidos no processo de avaliação de usabilidade de uma interface. Com a visão geral apresentada é possível levantar os principais benefícios e desvantagens de cada método para, então, em conjunto com o escopo do atual estágio da pesquisa em avaliação de usabilidade em sistemas de Realidade Aumentada, justificar a escolha pelo método de avaliação heurística como foco desta dissertação.

CAPÍTULO 3

REALIDADE AUMENTADA

Em um momento inicial, as interfaces computacionais se restringiam ao espaço bidimensional (2D) da tela do monitor. Como quebra de barreira desse espaço, surgiram as tecnologias interativas 3D, as quais permitem aos usuários manipular informações em um espaço semelhante ao real, vendo, ouvindo e interagindo em três dimensões.

O primeiro tipo de interface 3D a surgir foi a Realidade Virtual (RV): um espaço tridimensional gerado por computador que permite ao usuário interagir em tempo real, usando seus sentidos através de dispositivos especiais. A percepção do mundo virtual pode ser através de uma janela constituída pela tela do monitor ou pela tela de projeção, ou pela sensação de inserção, através de capacete específicos (HMDs – do inglês *Head Mounted Displays*) ou de salas com multiprojeção (cavernas) e dispositivos de interação (KIRNER; KIRNER, 2011).

Da Realidade Virtual, outras variações e evoluções apareceram, dentre elas está a Realidade Aumentada (RA), que por sua vez constitui uma modalidade de um termo pouco difundido, e caindo em desuso, denominado Realidade Misturada (RM), que segundo Kirner e Kirner (2011) é definida como “uma interface baseada na sobreposição de informações virtuais geradas por computador (imagens dinâmicas, sons espaciais e sensações hápticas) com o ambiente físico do usuário, percebida através de dispositivos tecnológicos”.

A outra variação da RM é denominada Virtualidade Aumentada (VA). Em contraposição à RA, em que as informações virtuais são trazidas para o espaço físico do usuário, a VA leva as informações reais para o mundo virtual, através de representações realistas em que prevalecem as interações virtuais (KIRNER; KIRNER, 2011). A Figura 3.1, uma adaptação do diagrama de Milgram (1994), denominada *Reality-Virtuality Continuum*, descreve a transição da realidade para a virtualidade. Nos extremos o ambiente real e o Virtual (RV), e no meio a RM constituída pela RA e pela VA.



Figura 3.1: Transição entre realidade e virtualidade (MILGRAN; KISHINO, 1994).

Ao contrário da RV, que transfere o usuário totalmente para um mundo virtual, a RA tem por característica predominante completar o mundo real ao invés de substituí-lo. Ela permite que o usuário veja objetos virtuais sobrepostos e/ou compondo seu espaço real. Nesse caso, um ponto ideal para a RA seria que virtual e real coexistam em um mesmo espaço (AZUMA, 1997), similar aos efeitos alcançados em filmes como “Alvin e os esquilos” e “Os Smurfs”. A Figura 3.2 traz um exemplo de um ambiente de RA.

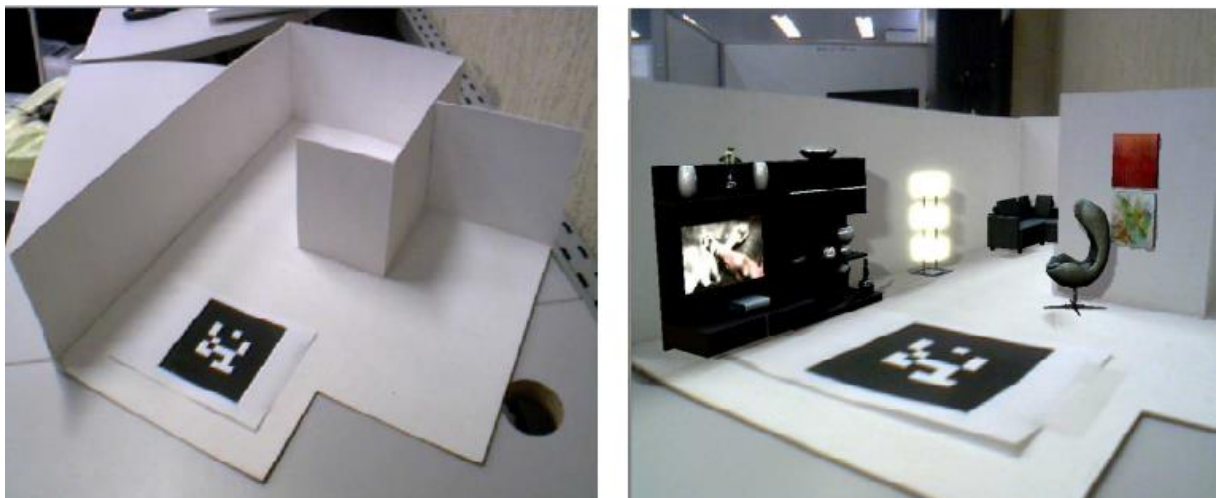


Figura 3.2: Ambiente de Realidade Aumentada: à esquerda o ambiente real sem inserção de objetos virtuais e à direita, esse mesmo ambiente com objetos virtuais.

Nesse contexto, Azuma (1997) define a RA como um sistema que complementa o mundo real com objetos virtuais, e apresenta três características: combina objetos reais com virtuais em um ambiente real; é interativa e em tempo real; e ajusta os objetos virtuais em

ambiente 3D. As seções subsequentes apresentam algumas particularidades no processo de rastreamento e registro em sistemas de RA e algumas formas de interação. Também há uma seção dedicada a descrever algumas características fundamentais dos sistemas colaborativos de RA, bem como um breve estado da arte sobre aplicações colaborativas de RA desenvolvidas para atividades industriais de manutenção e inspeção de equipamentos.

3.1 RASTREAMENTO E REGISTRO

Rastreamento e registro são processos cruciais da Realidade Aumentada. O registro é responsável pelo correto posicionamento de elementos virtuais ao ambiente real. Já o rastreamento, é o processo que irá continuamente localizar a posição e orientação na cena para manter os objetos virtuais em sua devida localização. Para que o registro e o rastreamento ocorram, é preciso usar sensores na captura das informações do ambiente real, alguns exemplos são os GPS's, os sensores de movimento, termográficos, e ópticos, dentre outros (TEICHRIEB et al., 2007).

Os sensores capturam características estratégicas do ambiente real, conhecidas como *features*, e baseados nessas informações o sistema de RA determina quando, onde e como os objetos virtuais serão exibidos na cena. O uso de sensores ópticos para este propósito é bastante popular, pois, além de serem precisos e robustos, também são de baixo custo. Aplicações que usam apenas uma única câmera como fonte de captura da informação do mundo real, fazem o uso de técnicas monoculares de visão computacional.

No geral, as técnicas de rastreamento óptico estão divididas em dois grupos: baseadas em marcadores e sem marcadores. Estas técnicas se diferem entre si basicamente pela forma em que os objetos virtuais são inseridos no mundo real: como o próprio nome sugere. As técnicas baseadas em marcadores se caracterizam pela inserção de objetos artificiais na cena para que o processo de rastreamento e registro seja simplificado; em contrapartida, as técnicas sem marcadores, contam apenas com o auxílio do próprio ambiente real, ou seja, o sistema explora *features* naturais presentes na cena real para realizar o processo de rastreamento (TEICHRIEB et al., 2007).

Embora os processos de rastreamento e registro sejam mais complexos, pesquisadores têm direcionado sua atenção aos sistemas de RA sem marcadores para superar desafios importantes para a área. Há diversos cenários de aplicação de RA que demandam ou pelo menos desejam rastreamento sem marcadores, é o caso da aplicação de

sistemas de RA para manutenção de equipamentos (PLATONOV et al., 2006). O uso de marcadores para rastrear os equipamentos possui desvantagens como falhas de rastreamento em caso da oclusão de marcadores, seja pelo corpo do usuário ou por ferramentas; o marcador pode esconder partes importantes do equipamento; a pose do equipamento deve ser calibrada para cada marcador na cena. Logo, o uso de técnicas de RA sem marcadores é fortemente recomendado para cenários de manutenção (LIMA et al., 2010).

Ao adentrar no contexto das técnicas de rastreamento para RA sem marcadores (MAR – do inglês *Markerless Augmented Reality*), elas se caracterizam pela integração dos objetos virtuais em um ambiente real 3D em tempo real e estão divididas em duas categorias fundamentais: técnicas baseadas em modelo e sem modelo. Nas técnicas baseadas em modelo, o conhecimento sobre o mundo real é obtido antes que o rastreamento ocorra e é armazenado em modelos 3D que serão usados para estimar a pose da câmera. Na abordagem sem modelo, o movimento da câmera ao longo dos quadros é estimado sem nenhum conhecimento prévio sobre a cena, o qual será adquirido durante o processo de rastreamento (NETO et al., 2008). A taxonomia das técnicas de rastreamento baseadas em RA sem marcadores é apresentada na Figura 3.3.

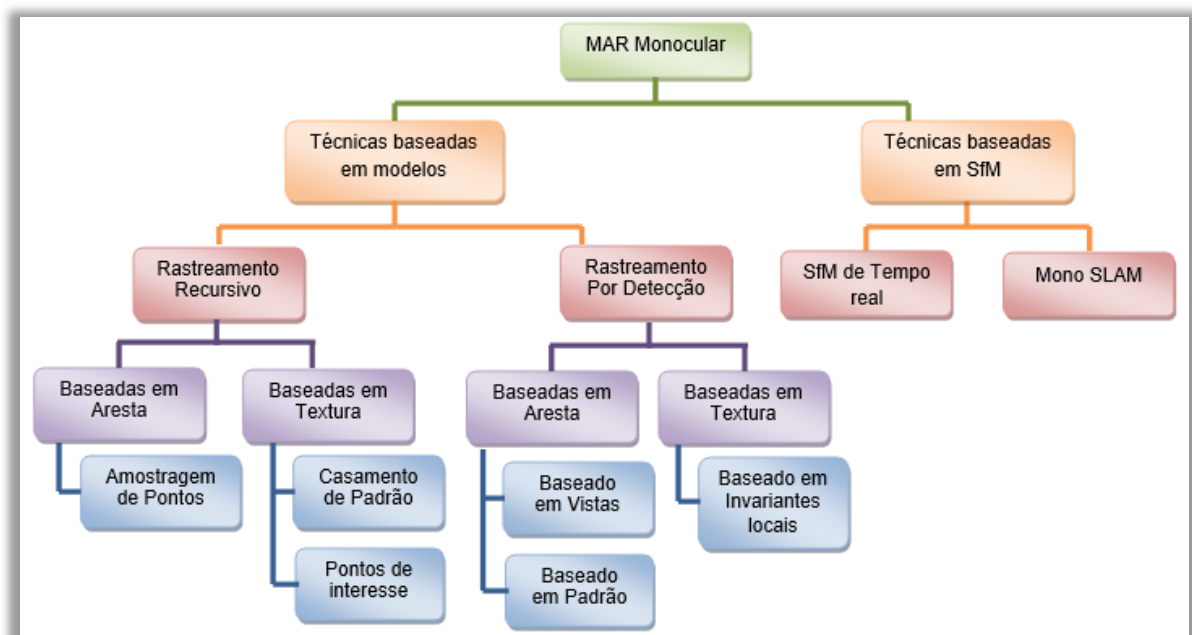


Figura 3.3: Taxonomia das técnicas de rastreamento de RA Monocular sem Marcadores (LIMA et al., 2010).

3.1.1 Rastreamento Baseado em Modelo

Considerando a natureza do rastreamento, as técnicas baseadas em modelo podem ser classificadas em duas categorias: rastreamento recursivo, em que a pose anterior da câmera é utilizada como estimativa para calcular a pose atual da mesma (BASU; ESSA; PENTLAND, 1996; JURIE; DHOME, 2001; VACCHETTI; LEPETIT; FUA, 2004; WUEST; VIAL; STRICKER, 2005); e rastreamento por detecção, em que é possível calcular a pose atual da câmera sem nenhuma estimativa prévia, o que permite inicialização automática e recuperação a partir de falhas (SKRYPNYK; LOWE, 2004; WIEDEMANN; ULRICH; STEGER, 2008; HOLZER et al., 2009).

Quanto ao tipo de *feature* usada no rastreamento, as técnicas baseadas em modelo podem ser classificadas em três outras categorias: baseadas em aresta, em que a pose da câmera é estimada através do casamento de um modelo 3D aramado de um objeto com a informação de aresta da imagem do mundo real (JURIE; DHOME, 2001; WIEDEMANN; ULRICH; STEGER, 2008); baseadas em fluxo óptico, que exploram a informação temporal extraída do movimento relativo à projeção do objeto na imagem, para poder rastreá-lo (ESSA; PENTLAND, 1996); e baseadas em textura, que leva em consideração a informação de textura presente nas imagens para o rastreamento (JURIE; DHOME, 2001; VACCHETTI; LEPETIT; FUA, 2004; SKRYPNYK; LOWE, 2004).

A categoria de rastreamento recursivo baseado em aresta compreende as técnicas de amostragem de pontos, em que alguns pontos de controle são amostrados ao longo das arestas do modelo 3D aramado e suas projeções são comparadas com gradientes fortes presentes na imagem (WUEST; VIAL; STRICKER, 2005). Já as técnicas recursivas baseadas em textura possuem duas subcategorias: casamento de padrão, em um modelo de distorção é aplicado a uma imagem de referência para que o movimento de objetos rígidos seja recuperado (JURIE; DHOME, 2001); e métodos baseados em pontos de interesse, que consideram *features* localizadas na estimação da pose da câmera (VACCHETTI; LEPETIT; FUA, 2004).

Por outro lado, as técnicas de rastreamento por detecção baseadas em arestas são também classificadas em duas categorias: baseadas em vistas, em que o quadro atual é casado com visões 2D do objeto, previamente obtidas de diferentes posições orientações (WIEDEMANN; ULRICH; STEGER, 2008); e baseadas em padrão, em é feito o uso de representações de padrão específicas para detectar objetos baseando-se em arestas (HOLZER et al., 2009). Já o rastreamento por detecção baseado em textura é conhecido como

invariantes locais (SKRYPNYK; LOWE, 2004). Invariantes locais são insensíveis a mudanças de escala, ponto de vista e iluminação e são extraídos da imagem do objeto a cada quadro, provendo as correspondências 2D-3D necessárias para a estimativa de pose.

3.1.2 Rastreamento sem Modelo

Ao invés de utilizar informação prévia obtida sobre a cena a ser rastreada, técnicas de rastreamento sem modelo estimam a movimentação da câmera sem a necessidade do conhecimento preliminar sobre o ambiente. Estas técnicas são capazes de reconstruir a cena em tempo real, com diferentes níveis de detalhes que irá depender da abordagem utilizada. Como exemplo tem-se as técnicas de SfM (*Structure from Motion*) e SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) (KLEIN; MURRAY, 2007; NEWCOMBE; ANDREW, 2010). A desvantagem destas abordagens está no nível de complexidade envolvido e à presença de algumas restrições relacionadas à execução em tempo real (TEICHRIEB et al., 2007).

3.2 INTERFACES DE INTERAÇÃO

Um dos aspectos mais importantes da Realidade Aumentada é a capacidade de criar técnicas apropriadas para interação intuitiva entre usuário e o conteúdo virtual das aplicações de RA. Nesse contexto, há quatro principais formas de interação em interfaces de RA: interfaces tangíveis, colaborativas, híbridas e multimodais (CARMIGNIANI; FURHT, 2011).

Interfaces tangíveis são aquelas que suportam interação direta com o mundo real através do uso de objetos reais. Um exemplo clássico de interface tangível é a aplicação VOMAR de Kato et al. (2000), nela o usuário manipula os objetos virtuais com o uso de uma pá real como pode ser visto na Figura 3.4. Já as interfaces colaborativas de RA, que serão discutidas com mais detalhes na próxima seção, são aquelas que incluem o uso de múltiplos *displays* para suportar atividades remotas ou colocalizadas.

Interfaces híbridas combinam uma variedade de interfaces diferentes, mas complementares, bem como oferecem a possibilidade de interagir com um vasto conjunto de dispositivos de interação (ZHOU; DUH; BILLINGHURST, 2008). Um exemplo é a interface híbrida de Sandor et al. (2005) que usa diferentes HMD's para que o usuário possa visualizar a RA e fornece *feedback* tanto visual como auditivo. As interfaces multimodais ainda são

consideradas emergentes, e se caracterizam por permitir a combinação de diferentes entradas de usuário como o uso da fala, do toque, e gestos naturais de mão.

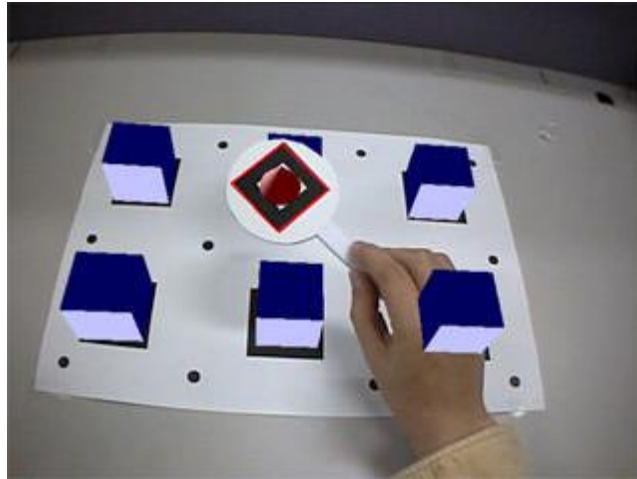


Figura 3.4: Exemplo de Interface Tangível: uso de uma pá para manipular objetos virtuais da aplicação VOMAR de Kato et al. 2000.

3.3 REALIDADE AUMENTADA COLABORATIVA

Desde o advento dos computadores, mesmo antes do surgimento da *web*, computadores conectados já eram usados para prover colaboração. Entretanto, entre os anos de 1960 e 1970, a prevalência de uso era de monousuários. Gradualmente, as pessoas foram reconhecendo a necessidade e importância do trabalho em grupo e do papel fundamental que a tecnologia poderia exercer (KIYOKAWA, 2007).

No final da década de 70, começaram a surgir as definições para o trabalho em grupo suportado pelos computadores. O primeiro termo foi o *groupware*, cunhado pela primeira vez em notas de pesquisa de Peter e Trudy Johnson-Lenz em 1978 e publicado informalmente em 1979. Contudo, uma definição propriamente dita só veio a ser feita em 1981 designando o termo como sendo “processos intencionalmente de grupo mais software para dar suporte” (JOHNSON-LENZ; JOHNSON-LENZ, 1998). Dez anos depois, em 1991, Ellis, Gibbs e Reinn (1991) apresentaram uma caracterização mais ampla de *Groupware* e o conceituaram como um “sistema baseado em computador para dar suporte a grupos de pessoas engajadas numa tarefa comum (ou objetivo) que provê uma interface para um ambiente compartilhado”.

Além do *Groupware*, outro termo também foi cunhado para referenciar os sistemas colaborativos, o CSCW (do inglês *Computer Supported Cooperative Work*), que foi criado em 1984 por Irene Greif e Paul Cashman em um *workshop* para discutir o papel da tecnologia no

ambiente de trabalho (GRUDIN, 1994). Assim, desde aquela época já se identificava o quanto é necessário compreender melhor como as pessoas trabalham em grupo para desenvolver tecnologias adequadas à colaboração. A área de CSCW surgiu como um esforço dos tecnólogos para aprender com a Psicologia, Sociologia, Antropologia, Economia, Educação e outras que investigam a atividade em grupo. No Brasil, o termo Sistemas Colaborativos foi adotado com tradução para designar tanto *Groupware* quanto CSCW (COSTA; PIMENTEL, 2011).

Rodden (1991) classifica os sistemas colaborativos em quatro tipos divididos em duas dimensões. A primeira dimensão é quanto à forma de interação que pode ser síncrona ou assíncrona. Algumas tarefas, como *brainstorming* requerem que os membros do grupo cooperem de maneira síncrona, outras, requerem atividades independentes que são discutidas de forma assíncrona. A segunda dimensão diz respeito à localização geográfica dos usuários, que podem estar distribuídos pela rede, colaborando remotamente ou colocalizados em um mesmo ambiente, colaborando face-a-face.

Ao mergulhar no contexto dos sistemas de Realidade Aumentada, que já se mostraram bastante promissores sendo desenvolvidos e aplicados em diversas áreas como medicina, manufatura, entretenimento, educação e área militar (AZUMA, 1997; AZUMA et al, 2001), talvez seu grande potencial esteja na capacidade de agregar seus recursos para desenvolvimento de novos tipos de interfaces colaborativas (BILLINGHURST; KATO, 2002). Dessa forma, ao ser utilizada em conjunto com o suporte de comunicação existente atualmente, a RA promove uma convergência de recursos multimídia que possibilitam, às pessoas remotamente localizadas, usufruírem das vantagens do trabalho presencial (face-a-face), incluindo os vários tipos de interação, mesmo estando em ambientes remotos (KIRNER; ZORZAL, 2005).

Os sistemas de Realidade Aumentada Colaborativa (CAR – do inglês *Collaborative Augmented Reality*) são comumente divididos em face-a-face ou remotos, obedecendo a vertente geográfica da classificação dos CSCW de Rodden (1991). Na colaboração face-a-face, os usuários compartilham o mesmo ambiente físico, misturado com elementos virtuais que podem ser visto através do uso de HMD's ou pelo monitor do computador. Já a colaboração remota é baseada em interfaces computacionais que compartilham informações e sobrepõem espaços físicos dos vários usuários, utilizando uma rede de computadores (KIRNER; ZORZAL, 2005).

Embora a RA seja uma tecnologia emergente, os estudos para integrar colaboração em suas aplicações não são novos. Há quase duas décadas, em 1996, foi publicado por

Schmalsteig et al. (1996) um dos projetos pioneiros e também um dos primeiros a apresentar uma interface colaborativa com RA, vide Figura 3.5.



Figura 3.5: Interface do *Studierstube*, projeto de Schmalsteig (1996).

Um exemplo de colaboração remota foi desenvolvido por Billinghurst e Kato (2002). Eles exploraram o uso da RA colaborativa para uma conferência, o que permitiu maior interação entre os participantes. Na interface desenvolvida por eles, o colaborador remoto é projetado no espaço real do usuário local. Para tal foi usado um HMD com uma câmera integrada e marcador para projetar o participante remoto. Com esta interface foi concluído que ela permite maior comunicação não verbal quando comparada às tradicionais conferências baseadas em áudio e vídeo. A Figura 3.6 mostra um exemplo desta interface em que avatares virtuais são sobrepostos sobre o marcador em tempo real durante a conferência.



Figura 3.6: Interface da conferência baseada em RA colaborativa de Billinghurst e Kato (2002).

3.3.1 Estado da Arte: Sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada para Manutenção e Inspeção Assistida

Na literatura, é possível observar que os sistemas colaborativos remotos de Realidade Aumentada vêm sendo explorados de diferentes maneiras. Alguns trabalhos se focaram na obtenção de resultados da avaliação de desempenho dos dispositivos de hardware envolvidos no ambiente de colaborativo de RA (BAUSET; ORDUNA; MORILLO, 2011, FERNANDEZ; ORDUNA; MORILLO, 2012). Outros procuraram demonstrar plataformas mais sofisticadas, desenvolvidas a fim de inovar e melhorar algumas formas de comunicação, transferindo conhecimentos de maneira diferenciada, como é o caso das aplicações voltadas à manutenção de equipamentos. Sendo assim, pode-se concluir que os sistemas colaborativos remotos de RA, embora possuam suas particularidades, não fogem da característica multidisciplinar, apresentada por Azuma (1997), das aplicações monousuárias de RA.

No campo da manutenção industrial, o surgimento de sistemas que suportam trabalho colaborativo remoto é recente e de grande importância nesta área, pois, nem sempre um especialista está presente para auxiliar um técnico na execução de tarefas mais específicas (BOTTECCHIA; CIEUTAT; JESSEL, 2010). Assim, os sistemas de CAR permitem que o especialista envie informações e/ou treine o técnico por meio de interações em um ambiente remoto aumentado. Alguns trabalhos recentes que utilizam sistemas remotos de RA em aplicações voltadas à manutenção foram a plataforma ARIMA de Benbelkacem et al. (2011), o T.A.C de Bottecchia, Cieutat e Jessel (2010), um protocolo de comunicação para RA colaborativa desenvolvido por Emerenciano et. al. (2012), o sistema ReMoTe de Alem, Tecchia e Huang (2011).

Na plataforma ARIMA (*Augmented Reality and Image in Maintenance Application*) de Benbelkacem et al. (2011), a colaboração remota é realizada de forma síncrona e envolve manutenção e reparação de motores de carros. Nessa plataforma, o técnico, portando um Pocket PC ou um tablet, além da comunicação via chat, pode enviar imagens ou vídeos do motor para que o especialista possa inserir informações virtuais 2D ou 3D, permitindo que as tarefas sejam designadas e apresentadas ao técnico de forma mais compreensível e intuitiva. O especialista envia os dados por meio de um laptop.

Para garantir a comunicação heterogênea entre diferentes hardwares e plataformas de software, a colaboração remota da ARIMA é essencialmente baseada em *Web Services*. Desta forma, foi adotada arquitetura “SOA” (*Service Oriented Architecture*) para desenvolver toda esta infraestrutura de troca de dados via *services* (BENBELKACEM et al., 2011).

Na ARIMA, foram implementados dois cenários de manutenção: um provendo colaboração baseado em vídeo e outra em imagem. No primeiro cenário (Figura 3.7), o técnico usa seu Tablet ou Pocket PC para capturar um vídeo da cena e enviar ao especialista. O especialista, por sua vez, visualiza o vídeo e propõe os procedimentos de manutenção usando um editor aumentado para inserir indicadores virtuais 3D como setas e textos na cena recebida e, só então, retransmitir o vídeo alterado para o técnico. Tal cena precisa estar com marcadores inseridos, pois os objetos virtuais 3D só poderão ser projetados com os devidos marcadores reconhecidos na cena durante a captura do vídeo. (BENBELKACEM et al., 2011).

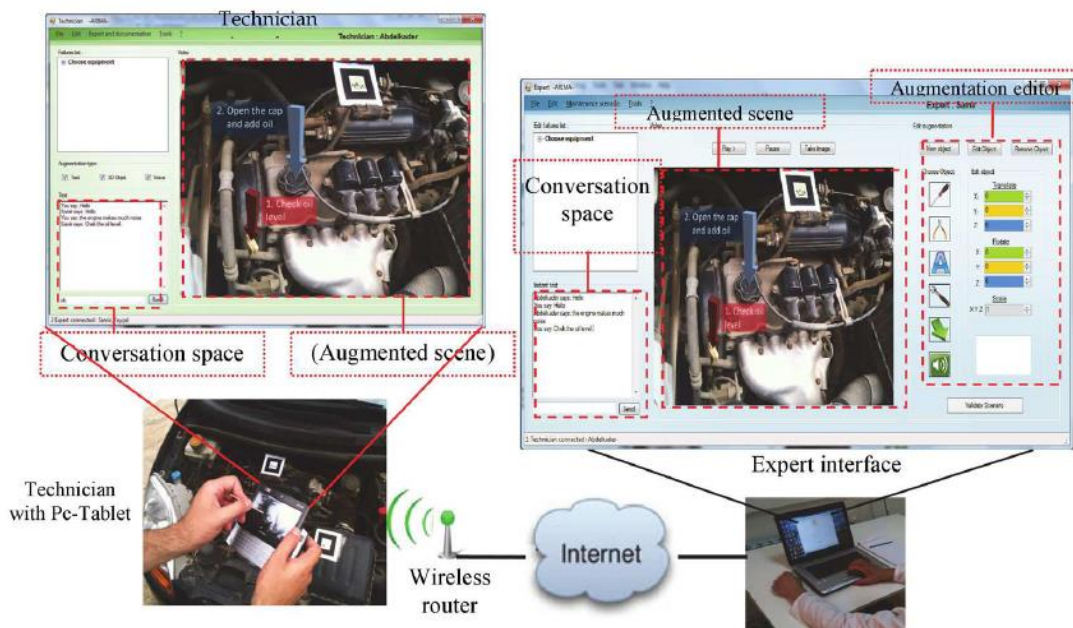


Figura 3.7: Exemplo do cenário 1 proposto pela plataforma ARIMA (BENBELKACEM et al., 2011).

O segundo cenário se diferencia do primeiro pelo envio de fotos da cena (local em que o motor está com problemas) pelo técnico ao invés de vídeos. Neste caso, o especialista por meio de um editor simples insere indicadores 2D para apontar o procedimento de manutenção e não 3D como é possível nos vídeos. Esta etapa não necessita de marcadores nas fotos como pode ser visto na Figura 3.8 (BENBELKACEM et al., 2011).

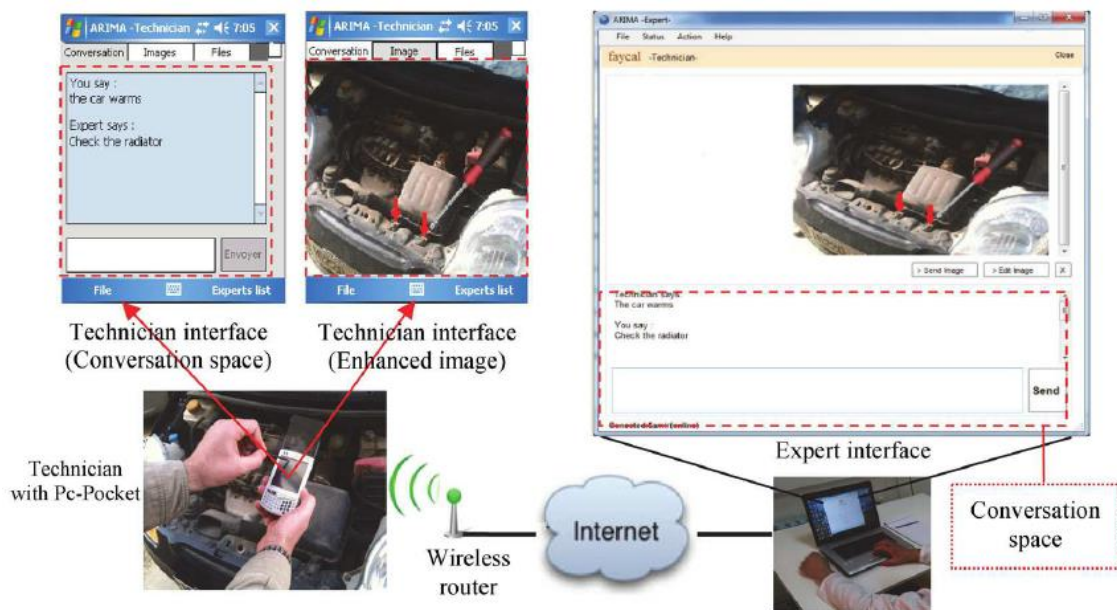


Figura 3.8: Exemplo do cenário 2 proposto pela plataforma ARIMA (BENBELKACEM et al., 2011).

É interessante ressaltar alguns pontos sobre a plataforma ARIMA. Primeiramente, no caso da colaboração via vídeo, são necessários marcadores sobre o motor para que o especialista possa inserir os elementos virtuais na cena. Estes marcadores deveriam estar devidamente posicionados para que os indicadores sejam projetados de maneira apropriada. Outra questão é que não foi detalhado nenhum estudo de caso com testes de usabilidade do protótipo, embora os autores afirmem que os resultados mostraram os benefícios da colaboração remota e a Realidade Aumentada para a assistência na manutenção. Outro ponto é que embora permita a visualização com objetos 3D inseridos na cena, não é possível interação entre os envolvidos, ou seja, o técnico pode apenas visualizar o ambiente aumentado que o especialista envia a ele. Finalmente, cabe salientar ainda que não há o suporte para comunicação via áudio, apenas via chat.

O sistema T.A.C (*Télé-Assistance Collaborative*) de Bottecchia, Cieutat e Jessel (2010) provém a colaboração remota utilizando-se das técnicas de Realidade Aumentada somadas ao uso de áudio e vídeo para que em uma situação de copresença, a interação seja natural e eficiente entre os envolvidos. A colaboração é dada de forma síncrona e em tempo real. O T.A.C leva em consideração que o especialista possa simular sua presença entre os operadores. Além disso, o espaço de visualização é compartilhado entre os usuários, ou seja, o especialista é apto a visualizar o ambiente do operador enquanto o operador também pode ver as informações do especialista.

As funcionalidades do sistema foram baseadas num novo paradigma de interação, no qual uma pessoa é capaz de assistir outra em uma tarefa. Este paradigma foi proposto anteriormente pelos próprios autores em Bottechia et al. (2008) e denominado P.O.A (*Picking Outlining Adding*). O P.O.A considera três pontos: selecionar (*Picking*), delinear (*Outlining*), adicionar (*Adding*):

- **Picking**: um simples modo de nomear um objeto (BOTTECHIA et al., 2008). Neste modo o sistema permite que um elemento pertencente à cena seja rapidamente nomeado. O especialista, por meio de um simples clique do mouse em um elemento de interesse no vídeo, permite ao operador uma visão aumentada (BOTTECCHIA; CIEUTAT; JESSEL, 2010).
- **Outlining**: um modo para direcionar a atenção em um objeto em discussão (BOTTECHIA et al., 2008). No sistema, a ideia se volta em esboçar o elemento da cena usando as mãos para destacá-lo, ou seja, o especialista seleciona a parte de interesse cujo modelo 3D é conhecido pelo sistema (BOTTECCHIA; CIEUTAT; JESSEL, 2010).
- **Adding**: um modo de demonstrar ações usando gestos (BOTTECHIA et al., 2008). Neste modo, a representação de uma ação é substituída por animações 3D adequadas. O especialista possui um catálogo com as animações 3D relacionadas à manutenção do equipamento podendo selecioná-las caso seja necessário, para melhor ilustrar a tarefa ao operador (BOTTECCHIA; CIEUTAT; JESSEL, 2010).

A Figura 3.9 ilustra exemplos de cada vertente do paradigma P.O.A aplicados ao T.A.C:



Figura 3.9: Exemplo de algumas funções do T.A.C. Da esquerda para a direita: Picking (a), Outlining (b) e Adding (c) (Bottecchia; Cieutat; Jessel, 2010).

Os dispositivos usados no T.A.C foram um HMD específico chamado MOVST (*Monocular Orthoscopic Video See-Through*) para os operadores e um computador para os especialistas (BOTTECHIA et al., 2008). Os testes foram realizados em casos simples, mas

que representavam tarefas reais de manutenção e os resultados mostraram que ele permite interação mais simples e natural quando comparado a sistemas tradicionais baseados em áudio e vídeo (BOTTECCHIA; CIEUTAT; JESSEL, 2010).

As funcionalidades e o modo como o T.A.C permite que o especialista interaja com o técnico mostra que ele é um exemplo interessante de sistema colaborativo de RA para manutenção de equipamentos. Nele, o especialista tem uma gama de possibilidades para interagir e enviar parâmetros ao técnico, que torna o escopo desta comunicação bastante natural e intuitiva.

Emerenciano et. al (2012) propõe um protocolo de comunicação específico para sistemas colaborativos de RA em que indicações de ações visuais são transmitidas através de estações remotas. Tal protocolo leva em conta a colaboração remota em um único ambiente aumentado, ou seja, apenas o técnico está imerso no ambiente virtual, enquanto o especialista tem o papel de prover as informações complementares neste ambiente.

Este protocolo é baseado na arquitetura cliente-servidor. O servidor é representado pelo técnico de campo que é o responsável por enviar um fluxo de vídeo de visão atual para os especialistas remotos (os clientes), os quais serão os responsáveis pela inserção de elementos visuais que acharem mais adequados para assessorar na execução de determinada tarefa. A fim de prover a simplicidade do processo, foram adotadas coordenadas para o envio dos elementos visuais inseridos pelos especialistas (EMERENCIANO et al., 2012).

A ideia fundamental do protocolo é transmitir cada elemento visual de RA com um conjunto de pontos bidimensionais e permitir à aplicação decidir quantos pontos serão necessários para compor cada elemento. Assim, pode ser possível obter flexibilidade e conferir à aplicação o ajuste da relação entre desempenho da transmissão e a precisão dos auxílios visuais (EMERENCIANO et al., 2012).

A avaliação do protocolo se passou por meio do desenvolvimento de um protótipo que simula a situação descrita em suas definições: um técnico envia um fluxo de vídeo para um ou mais especialistas remotos, e destes, recebe elementos visuais que foram definidos em quatro tipos: dados por apontamentos, realce de regiões, instruções e orientações. Os resultados obtidos mostraram que os pacotes foram enviados corretamente e o tráfego de dados gerados pelos pontos de interesse não comprometeu a recepção do vídeo, com a transmissão do vídeo ocupando a maior parte da banda (EMERENCIANO et al., 2012).

O protocolo de Emerenciano et al. (2012) é mais um exemplo típico em casos de manutenção assistida por especialista remoto. No entanto, o suporte dado por ele aborda apenas a comunicação do ambiente de RA colaborativa, ou seja, não suporta a opção de comunicação via áudio ou chat.

Baseados na complexidade de manutenção e operação dos equipamentos utilizados na indústria de mineração, Alem, Tecchia e Huang (2011) propuseram o sistema ReMoTe (*Remote Mobile Tele-assistance*). Neste sistema, Realidade Aumentada é aplicada para que o especialista possa guiar o técnico, remotamente, por meio de gestos com as mãos através de apontamentos e demonstrações de como agir em procedimentos manuais específicos.

O ReMoTe captura os gestos de mãos do especialista e os projeta em um *display* localizado frente aos olhos do operador remoto. Desta forma, sua estrutura de hardware é composta por uma interface *touch screen* e um dispositivo de áudio para o especialista. Para o técnico, um computador vestível conectado em uma câmera montada em um capacete de segurança e um pequeno *display* acoplado em um par de óculos que ficará frente aos olhos (Alem; Tecchia; Huang, 2011). A Figura 3.10 demonstra a estrutura do ReMoTe.



Figura 3.10: Estrutura do ReMoTe. À esquerda, a interface do especialista e à direita os componentes do técnico (Alem; Tecchia; Huang, 2011).

Para testar as iterações do ReMoTe, foram realizados testes representativos com 12 usuários realizando três tipos de manutenção/reparação, a saber: reparação de uma máquina de fotocópias, a tarefa de remoção de um *card* de uma placa-mãe de um computador e a montagem de um brinquedo de lego. No geral, o *feedback* obtido pelos usuários que testaram foi positivo: consideraram o sistema intuitivo e fácil de usar. Além disso, contribuíram para a detecção de possíveis correções e otimizações (Alem; Tecchia; Huang, 2011).

Embora o ReMoTe seja voltado para manutenção de equipamentos da indústria de mineração, em seu trabalho, Alem, Tecchia e Huang (2011) o apresenta em fase inicial de desenvolvimento. Os autores deixaram como trabalho futuro o que ainda tem que ser feito e/ou otimizado para, só então, focar nos testes e aplicação propriamente dita do ReMoTe no ambiente para que foi projetado.

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo introduziu os conceitos gerais da Realidade Aumentada e algumas de suas peculiaridades como o processo de rastreamento e registro e interfaces de interação. Como o cerne desta dissertação é a vertente colaborativa da RA, também foi apresentada uma generalização sobre sistemas colaborativos de RA bem como o estado da arte sobre a aplicação desses sistemas no campo industrial, mais especificamente para a área de manutenção e inspeção de equipamentos. Esta conceituação generalizada apresentada neste capítulo irá contribuir diretamente para que o objetivo desta dissertação seja alcançado.

CAPÍTULO 4

ESTADO DA ARTE: AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA

Como ocorre com a maioria das tecnologias emergentes, os estágios iniciais das pesquisas em Realidade Aumentada estavam focados em fatores técnicos: os pesquisadores tinham que resolver muitos problemas tecnológicos para criar aplicações de RA que fossem usáveis. Dentre os fatores técnicos mais relevantes estavam os relacionados a rastreamento, visualização, calibração, renderização, reconstrução 3D, dispositivos de entrada, desenvolvimento de ferramentas de autoria, dentre outros. Estes fatores vêm sendo bastante estudados e em muitos casos resolvidos pelo constante esforço dos avanços da visão computacional e da computação gráfica, bem como pelo aumento das capacidades de *hardware*, como *displays* de alta resolução e placas gráficas mais robustas e o aparecimento de novas tecnologias como o Microsoft Kinect e dispositivos móveis cada vez mais sofisticados (BAI; BLACKWELL, 2012).

Na medida em que as tecnologias de base tornam-se mais maduras e robustas, e cada vez mais aplicações são desenvolvidas, as prioridades de pesquisa começam a ser redirecionadas e questões relativas à usabilidade da aplicação tornam-se mais ou tão importantes quanto às demais preocupações para a evolução da área. Porém, o número de projetos que formalmente fizeram avaliação de usabilidade em sistemas de RA ainda é reduzido. Em um *survey* realizado por Swan e Gabbard (2005), foram levantados artigos entre 1992 e 2004 de quatro grandes conferências: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, *International Symposium on Wearable Computers (ISWC)* e *IEEE Virtual Reality (IEEE VR)*. Os autores chegaram a um total de 266 artigos que apresentavam alguma pesquisa relacionada à RA e, deste total, apenas 21 realizavam algum tipo de estudo formal com usuários, ou seja, menos que 8%.

Dünser, Grasset e Billinghurst (2008) dando continuidade ao trabalho de Swan e Gabbard (2005), realizaram um novo *survey* acrescentando várias outras bases de dados em um período de tempo entre 1993 e 2007. De um total de 3309, eles chegaram a um total de 165 artigos de RA que faziam algum estudo com usuários, os quais foram classificados em

quatro tipos de avaliação: **percepção**, que estuda tarefas de baixo nível para identificar como a cognição humana e percepção reagem no contexto da RA; **performance de usuário**, que examina o desempenho da tarefa do usuário; **colaboração**, que são os experimentos que examinam interações genéricas de usuários e comunicação entre múltiplos usuários em colaboração; e **usabilidade**. Os estudos sobre desempenho do usuário foram os mais numerosos, com 75 publicações, seguidos de avaliação de usabilidade de sistemas, com 41, e percepção com 35. Em colaboração em RA foram encontrados apenas 10 publicações, sendo 8 com avaliações formais e 2 informais.

Bai e Blackweell (2012) partiram para uma revisão analítica de trabalhos publicados na conferência ISMAR entre 2001 e 2010 e chegaram a um total de 71 publicações relacionando estudos com usuários em RA. Os autores também classificaram os trabalhos em quatro categorias: avaliação de desempenho dos usuários, percepção, colaboração e experiência de usuário. Percepção foi a categoria mais numerosa com 26 publicações, seguida por desempenho com 19, experiência de usuário com 17 e colaboração com apenas 9.

Os *surveys* de Swan e Gabbard (2005) e Dünser, Grasset e Billinghamurst (2008) e a revisão analítica de Bai e Blackwell (2012) revelam que a grande maioria dos estudos formais com usuários em sistemas de RA é baseada em estudos empíricos. Esse resultado talvez seja pelo fato de que ainda há inúmeros desafios envolvidos na aplicação de métodos analíticos de avaliação de usabilidade em sistemas de RA: as experiências ainda são limitadas e há uma variedade de fatores de design para avaliar. Isso torna difícil definir listas de heurísticas e *guidelines* específicas para o design e avaliação dos sistemas de RA (DÜNSER; BILLINGHURST, 2011).

Uma alternativa ao déficit de estudos analíticos em sistemas de Realidade Aumentada é, além de levantar potenciais estudos já propostos, buscar em áreas similares à RA e/ou complementares e adequar aos requisitos de aplicações específicas de RA (DÜNSER; BILLINGHURST, 2011). Um exemplo é recorrer à área de CSCW para estudar a colaboração em sistemas colaborativos de RA. Nesse escopo, no decorrer deste capítulo, serão apresentados quatro estudos analíticos: dois voltados à RA; um voltado à área complementar de CSCW, pois o foco dessa dissertação é RA colaborativa e não foi encontrado nenhum estudo analítico com sistemas colaborativos de RA; e um último à área similar, no caso Realidade Virtual.

4.1 PRINCÍPIOS DE DESIGN DA IHC PARA O DESIGN DE SISTEMAS DE RA

Dünser et al. (2007) apresentam uma seleção de princípios de design importantes que se adequam ao contexto do design de sistemas de RA. Eles não se basearam em uma lista de *guidelines* em específico, mas buscaram entre os vários princípios de design e heurísticas de usabilidade presentes na literatura de Interação Humano-Computador – IHC (ISAACS; WALENDOWSKI, 2002; NIELSEN, 1994; QUESENBERRY, 2003; SHNEIDERMAN; PLAISANT, 2005). A intenção dos autores nesse trabalho, foi proporcionar bons exemplos de como princípios da IHC podem ser aplicados para o design de sistemas de Realidade Aumentada. Esses princípios foram os seguintes:

1. **Affordance:** O conceito de *affordance* sugere que há uma conexão intrínseca entre a interface de usuário e suas propriedades físicas e funcionais. Ele promove um modelo conceitual que descreve a relação sujeito-objeto. Os sistemas de RA incorporaram novos meios de interação com a mídia digital, assim, os designers usam metáforas de interação derivadas a partir de exemplos do mundo real. O uso fundamental dessas metáforas de interação no mundo real pode facilitar o fato de o designer cumprir com esse *guideline*, pois proporciona uma baixa curva de aprendizado para o usuário. Metáforas de interação apropriadas podem facilmente comunicar ao usuário a funcionalidade do dispositivo, como por exemplo, a pá real usada para organizar objetos virtuais na aplicação VOMAR (KATO et al., 2000).
2. **Reduzir a sobrecarga cognitiva:** Interfaces de usuário se esforçam para permitir que o usuário tenha foco em sua tarefa atual para, dessa forma, reduzir a sobrecarga cognitiva necessária para interagir com a aplicação. Em ambientes virtuais de aprendizagem, por exemplo, pesquisadores sugerem que a sobrecarga cognitiva pode reduzir os efeitos de aprendizagem nestes ambientes (DEDE; SALZMAN; LOFTIN, 1996).
3. **Baixo esforço físico:** O sistema não deve envolver intervenções desnecessárias de usuário, ou seja, os usuários devem ser capazes de realizar a tarefa com o mínimo de passos para a interação. Deve-se também atentar ao desconforto que alguns dispositivos geram depois de certo tempo de uso, como por exemplo o uso prolongado de HMD's.
4. **Aprendizado:** Deve ser fácil para o usuário aprender como utilizar o sistema. O aprendizado de uma interface de usuário 3D pode impactar na sua aceitação e uso

por potenciais usuários comuns, os quais não possuem formação prévia com esta tecnologia (RIZZO et al., 2005). Consistência também é um fator relevante para o aprendizado — é importante que a interface de usuário seja consistente em aparência e comportamento.

5. **Satisfação de usuário:** A usabilidade de uma interface não depende apenas de medidas objetivas. A percepção subjetiva do usuário ao interagir com o sistema deve também desempenhar um papel importante durante o desenvolvimento de uma interface de RA (NORMAN, 2003). No entanto, para proporcionar uma experiência de usuário satisfatória, medidas objetivas e subjetivas devem ser consideradas.
6. **Flexibilidade de uso:** No processo de design de uma interface de RA, pesquisadores precisam estar cientes das preferências e habilidades distintas dos usuários. Uma característica interessante da tecnologia de RA é a possibilidade de integrar diferentes tipos de dispositivos de entrada e saída. Assim, há um potencial em integrar diferentes modalidades para suprir preferências individuais de usuários. Se de um lado, certas modalidades de entrada são mais úteis para completar tarefas específicas, do outro, suportar diferentes modos de interação proporciona mais opções de escolha ao usuário.
7. **Capacidade de resposta e *feedback*:** Usuários toleram atrasos de um sistema até certo ponto. Usar *feedback* para mantê-los informados pode minimizar problemas induzidos por respostas incipientes. Todavia, *feedback* não deve ser usado apenas para suprir os problemas de resposta. Quando uma interface estiver em uso, deve ser óbvio para o usuário quando um controle estiver sendo usado e qual o status atual do sistema.
8. **Tolerância a erros:** No cenário de RA, identificar e resolver erros pode melhorar a robustez do sistema e, assim, reduzir a frustração do usuário.

4.2 GUIDELINES DE DESIGN PARA RA EM DISPOSITIVOS MÓVEIS

No processo de design para aplicações de Realidade Aumentada para dispositivos móveis (do inglês *Mobile Augmented Reality* – MAR) é importante entender o contexto em que a informação será apresentada. Baseado nisso, Ganapathy (2013) traz uma lista de

guidelines para auxiliar o designer a projetar como a informação deve ser exibida no cenário de um sistema de RA *mobile*, como segue:

1. **Informação Textual Clara:** É preciso ter certeza que a informação textual apresentada é clara. O tipo de fonte usada deve ser fácil de ler.
2. **Contraste:** A informação sobreposta deve ter contraste suficiente para que possa ser visível em diferentes *backgrounds*.
3. **Agrupamento:** A organização da informação é muito importante ao apresentá-la de forma sobreposta;
4. **Colocação:** É importante que a informação apresentada não torne obscuro o item de interesse.
5. **Alerta / Atenção Sensibilidade:** A informação sobreposta deve ser capaz de identificar as áreas que são importantes e precisam de atenção imediata.
6. **Métodos de Interação:** Baseado no contexto, o usuário deve ser capaz de trocar entre diferentes métodos de interação. Exemplo: dar uma pausa na visualização atual do ambiente de RA.
7. **Ícones Distintos:** Informações usando ícones devem se certificar que estes são de fácil entendimento e o usuário não precisará ficar recorrendo aos rótulos para identificá-los.
8. **Visibilidade e Distância:** Em informações aumentadas, especialmente em cenário exterior, é importante proporcionar filtros baseados em distância e visibilidade.

4.3 HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS COLABORATIVOS

Baker, Greenberg e Gutwin (2002) se baseiam nas heurísticas de Nielsen (1994a) para desenvolver uma lista de heurísticas específica para avaliar sistemas colaborativos. Esta lista irá auxiliar na avaliação de como um *workspace* compartilhado suporta a habilidade das pessoas separadas pela distância colaborar através de um meio visual. A lista proposta pelos autores é composta de oito heurísticas, a saber:

1. **Oferecer aos usuários os meios necessários para estabelecer comunicação verbal intencional e apropriada:** As pessoas devem ser capazes de conversar e ouvir a conversa de outros membros do grupo.
2. **Oferecer aos usuários os meios necessários para estabelecer comunicação gestual intencional e apropriada:** Permitir o uso de gestos para apoiar a conversa como apontar a um objeto ao dizer “aquele”.
3. **Oferecer comunicação não intencional resultante da interação do indivíduo com o ambiente:** Permitir que outros percebam informações passadas de forma não intencional, como onde a pessoa está ou qual seu foco de atenção.
4. **Oferecer comunicação não intencional através do uso de artefatos compartilhados (*feedthrough*):** *Feedback* é a informação relativa ao uso de um elemento pelo usuário, *feedthrough* é a informação relativa ao uso do elemento por outro usuário. Por exemplo, saber que o outro membro clicou em um botão.
5. **Oferecer segurança:** Impedir que usuários atuem ao mesmo tempo sobre um elemento quando isso for gerar conflito ou interferir com a ação do outro.
6. **Gerenciar transição entre colaboração mais flexíveis e mais estreitas:** Permitir que membros alternem nas formas de trabalhos com outros membros.
7. **Apoiar os usuários na coordenação de suas ações:** Permitir aos membros se comunicarem direta ou indiretamente e oferecer informações sobre as atividades dos demais membros.
8. **Facilitar a identificação de colaboradores e ao contato entre eles:** Permitir aos membros saberem quem está presente no ambiente virtual e sua disponibilidade para comunicação.

4.4 HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE REALIDADE VIRTUAL

Sutcliffe e Gault (2004) apresentam uma lista concisa de 12 heurísticas para avaliação de interfaces de usuário de ambientes virtuais (VE — do inglês *Virtual Environment*). Eles se basearam nas heurísticas de Nielsen (1994a) e em um trabalho deles baseado em princípios de design para Realidade Virtual (SUTCLIFFE; KAUR, 2000). As 12 heurísticas propostas por eles são as seguintes:

1. **Engajamento Natural:** A interação deve se aproximar da expectativa do usuário de interação com o mundo real o máximo possível. O ideal é que não haja percepção de que a realidade é virtual. A interpretação desta heurística dependerá da exigência de naturalidade e a sensação de presença e engajamento do usuário.
2. **Compatibilidade com tarefas de usuário e domínio:** O ambiente virtual e o comportamento dos objetos devem corresponder o máximo possível às expectativas do usuário quanto aos objetos do mundo real; seus comportamentos; e *affordances* para realizar tarefas.
3. **Expressão natural da ação:** A representação da presença em um ambiente de RV deve permitir que o usuário atue e explore de maneira natural e não restringir ações físicas normais. Se não há *feedback* tátil, a expressão natural, inevitavelmente, sofre.
4. **Coordenação estreita de ações e representação:** A representação do senso de presença e comportamentos manifestados no VE deve ser fiel às ações do usuário. Tempo de resposta entre o movimento do usuário e atualização do *display* de VE deve ser menor que 200 milissegundos para evitar problemas de cansaço físico (ou motivação) pelo tempo de espera longo.
5. **Feedback realista:** O efeito das ações de usuário com os objetos do mundo virtual deve ser imediatamente visível e em conformidade com as leis da física e as expectativas de percepção do usuário.
6. **Pontos de vista fiéis:** A representação visual do mundo virtual deve mapear a percepção do usuário, e a mudança de ponto de vista com o movimento de cabeça deve ser renderizada sem atraso.
7. **Suporte à navegação e orientação:** Os usuários devem ser capazes de se localizarem no ambiente de RV e retornar para posições conhecidas e pré-ajustadas.
8. **Entradas e pontos de saída claros:** os meios de entrada e saída do mundo virtual devem ser claramente comunicados.
9. **Mudanças consistentes:** quando ajustes de design são realizados, eles devem ser consistentes e claramente marcados.
10. **Suporte para aprendizado:** objetos ativados devem ser sinalizados e se necessário explicados para promover o aprendizado dos ambientes virtuais.
11. **Tomada de vez claros:** onde o Sistema é usado, deve ser claramente sinalizado e deve haver clareza no estabelecimento da tomada de vez.

12. **Senso de presença:** A percepção de usuário de engajamento e de estar em um mundo “real” deve ser o mais natural possível.

4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTADO DA ARTE

Este capítulo procurou apresentar o estado da arte relativo às pesquisas em avaliação de usabilidade em sistemas de Realidade Aumentada. Devido à variedade de fatores de design envolvidos e às características multidisciplinar e emergente das aplicações de RA, ainda há um reduzido número de estudos propondo métodos analíticos para avaliação de sistemas de RA em específico. Nesse sentido, ao longo do capítulo foram apresentadas quatro listas de princípios de design, heurísticas de usabilidade ou *guidelines* voltados para RA e também para áreas similares. Estas quatro listas somadas à convencional lista de heurísticas proposta por Nielsen (1994a) servirão como base para o principal objetivo esta dissertação: propor uma nova lista de heurísticas de usabilidade adaptada para avaliação do design de interface de sistemas colaborativos remotos de realidade aumentada.

PARTE III

PROPOSTA

CAPÍTULO 5

HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA SISTEMAS COLABORATIVOS REMOTOS DE REALIDADE AUMENTADA

Em razão da diversidade de áreas atendidas pelos sistemas de informação é praticamente impossível ter uma lista genérica de heurísticas que consiga abstrair considerações de design que possam contemplar toda essa gama diversificada de sistemas existentes. Embora, seja possível encontrar na literatura listas com alto grau de abstração, como é o caso da consolidada lista de heurísticas para o design de interface de usuário proposta por Nielsen (1994a). Nesse sentido, ao propor uma nova lista de heurísticas de usabilidade pesquisadores costumam recorrer aos estudos que reportam problemas de usabilidade encontrados na área escolhida por eles e/ou aos estudos realizados com usuários; e/ou, ainda, às adaptações de outras listas já existentes.

Como os estudos de usabilidade em sistemas de RA, salientando mais uma vez, ainda são incipientes, uma maneira de contribuir é recorrer ao método de adaptação, ou seja, além de buscar o que existe dentro do próprio contexto da RA, é recomendável buscar em áreas similares ou complementares e adaptar para o escopo da aplicação de RA em questão (DÜNSER; BILLINGHURST, 2011). O método de adequação é bastante utilizado e é comum encontrar as heurísticas de Nielsen (1994a) como uma das bases para estas adaptações, como é o caso das heurísticas para avaliação de sistemas colaborativos propostas por Baker, Greenberg e Gutwin (2002); das heurísticas para avaliação de *displays* ambientes propostas por Mankoff et al. (2003); dos *guidelines* de design de sistemas de RA de Dünser et al. (2007); e das heurísticas para avaliação de sistemas de Realidade Virtual propostas por Sutcliffe e Gault (2004).

No entanto, não há uma metodologia específica para adaptar e propor novas listas de heurísticas, cada autor organiza seu método de acordo com a informação que tem ao seu dispor ou está ao seu alcance para gerá-la e adota as características peculiares presentes no foco de pesquisa. Nesse contexto, como será utilizada mais de uma lista para propor a lista de heurísticas para avaliar sistemas colaborativos remotos de RA foi proposta uma metodologia para alcançar esse objetivo. Esta metodologia (Figura 5.1) está dividida em oito fases, em que cada fase é pré-requisito para a próxima. No decorrer das próximas seções

será explicado o que foi feito em cada uma dessas fases para que o resultado esperado fosse alcançado.

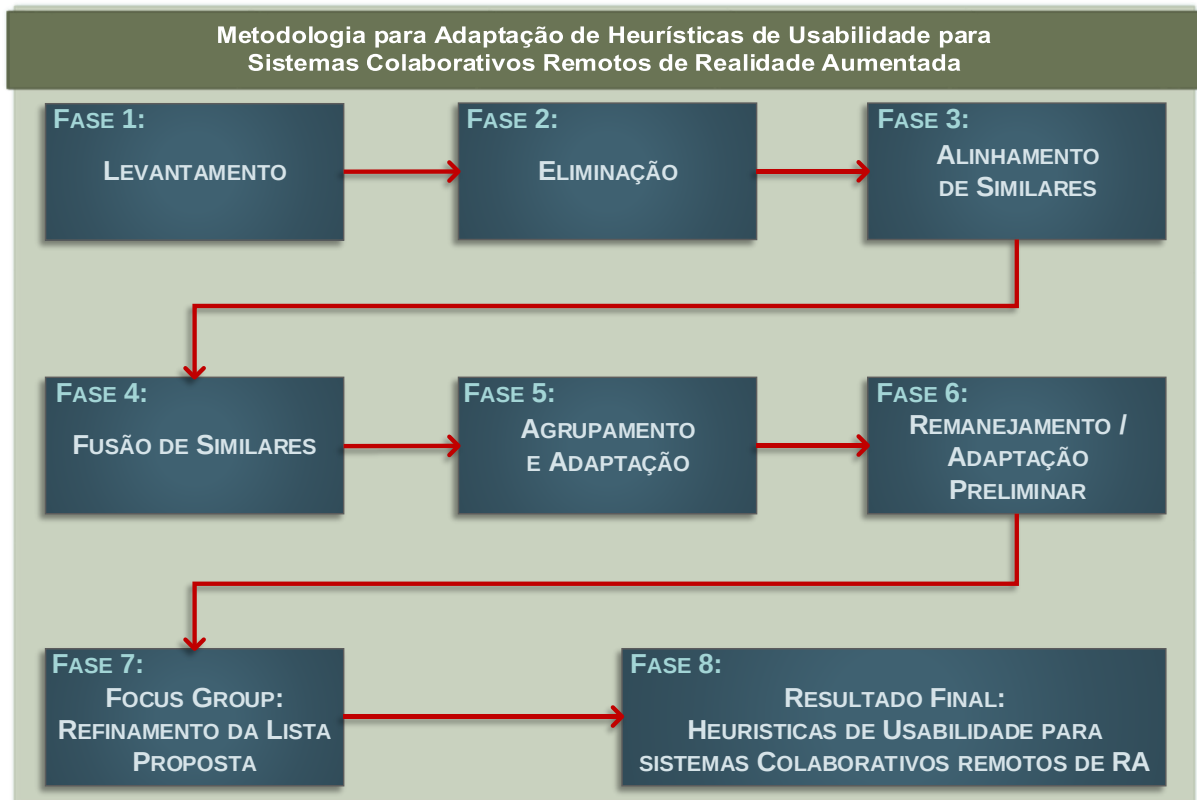


Figura 5.1: Metodologia criada para adaptar as heurísticas.

5.1 FASE 1 – LEVANTAMENTO

Esta primeira fase consiste em um levantamento não só de listas de heurísticas, mas também de *guidelines* e/ou princípios de design que possam ser usadas como base para adaptação e proposta de uma nova lista de heurísticas de usabilidade. Como o objetivo é chegar em uma lista que atenda à avaliação de interface de sistemas colaborativos de RA remotos foram escolhidos cinco listas que variam entre heurísticas, princípios de design e *guidelines* entre a própria área de RA e áreas similares e complementares. Dentro da área de RA, foram selecionados os princípios gerais de design para o design de sistemas de RA de Dünser et al. (2007) e os *guidelines* de design para RA em dispositivos móveis de Ganapathy (2013); Em complementares foram selecionadas as tradicionais heurísticas de Nielsen (1994a) e as heurísticas para avaliação de sistemas colaborativos de Baker, Greenberg e Gutwin (2002); e por fim, em similares, as heurísticas para avaliação de sistemas de Realidade Virtual de Sutcliffe e Gault (2004). Com exceção à lista de Nielsen (1994a) que está na seção

2.3 do capítulo 2, as demais listas aqui citadas, estão descritas no capítulo 4 desta dissertação.

As heurísticas de Nielsen (1994a) foram escolhidas por serem consolidadas e utilizadas pela comunidade científica e por possuírem alto nível de abstração; Os princípios de design para RA de Dünser et al. (2007) foram selecionados porque representam um conjunto de recomendações para o design de sistemas de RA de maneira simplificada e generalizada; A escolha dos *guidelines* de design para RA em dispositivos móveis de Ganapathy (2013) se deu pelo fato de serem direcionadas à questão da visualização dos objetos de RA no ambiente real; As heurísticas para Sistemas colaborativos de Baker, Greenberg e Gutwin (2002) foram selecionados porque representam uma lista consolidada dentro da área de CSCW e a lista que será proposta visa também a característica colaborativa; por fim, as heurísticas para Realidade Virtual de Sutcliffe e Gault (2004) foram selecionadas devido à escassez de trabalhos relacionados dentro da RA e tendo a RV como área similar à RA, esta lista também pode oferecer sua contribuição no processo de adaptação e proposta da nova lista.

Um segundo levantamento também foi realizado e se baseou pela busca por trabalhos que reportassem resultados de estudos com usuários em sistemas colaborativos remotos de RA, que pudessem apontar algum problema que fosse relevante para converter em heurística que represente o inverso do mesmo e que descreva como esse problema de usabilidade pode ser evitado. Como estudos com usabilidade com RA colaborativa ainda são em número reduzido e a maioria entre os que foram encontrados estão voltados à RA colaborativa face a face (BILLINGHURST; WEGHORST; FURNESS, 1997; KIYOKAWA et al., 2002; HENRYSSON; BILINGHURST; OLLILA, 2005; WALDNER et al., 2006; GREEN et al., 2008), foram selecionados apenas dois trabalhos que podem ser relevantes e abordam estudos com usuários em RA colaborativa remota que apresentaram resultados que pudessem vir a contribuir. Estes trabalhos correspondem aos realizados por Bauer, Kortuem e Segall (1999) e Chastine et al. (2007).

5.2 FASE 2 – ELIMINAÇÃO

Nesta segunda fase foi realizado um estudo minucioso em cada princípio das cinco listas selecionadas na primeira fase e aqueles que foram julgados com nível de contribuição baixo para a adaptação voltada ao escopo da RA colaborativa remota foram eliminados. A aplicação do julgamento em positivo ou negativo foi realizada com base em quão bem os princípios poderiam cumprir como suporte para a adaptação do novo grupo de acordo com

quatro objetivos primários da RA colaborativa remota: visualização, interação, comunicação em colaboração e desempenho do sistema. Além disso, tendo em vista que a lista a ser proposta visa ser o mais generalizada e com número de heurísticas razoável, aqueles que representaram menor relevância para este objetivo também foram eliminados.

A visualização diz respeito ao design visual da interface propriamente dita e se preocupa principalmente com as questões da exibição dos objetos virtuais no ambiente aumentado; A interação se volta a todo tipo de interação que o usuário faz junto ao sistema, como por exemplo o clique de um botão, mas aquelas que estão diretamente ligadas à RA, nesse caso, são prioritárias; a forma de comunicação em colaboração é crucial para que o usuário se sinta à vontade ao trabalhar em colaboração; o desempenho do sistema afeta diretamente na aceitação do mesmo pelo usuário.

Antes de iniciar a explicação do trabalho realizado nesta fase e nas subseqüentes, para que a explicação fique concisa, serão utilizadas siglas criadas para referenciar a qual grupo pertence cada heurística. O padrão estabelecido foi que seria utilizado as iniciais H junto à inicial do primeiro nome de cada autor das listas de heurísticas selecionadas; G para a lista de *guidelines* e PD para a lista de princípios de design. Sendo assim, **HN[x]** = Heurística de número “x” de Nielsen (1994a); **PD[x]** = Princípio de Design de número “x” de Dünser et al.; **G[x]** = *Guideline* de número “x” de Ganapathy (2013); **HB[x]** = Heurística de número “x” de Baker, Greenberg e Gutwin (2002) e **HS[x]** = Heurística de número “x” de Sutcliffe e Gault (2004). Com estas siglas, cada heurística dentro do escopo das 5 listas utilizadas possui sua identidade própria, portanto, é importante que o leitor consiga reconhecer o significado de cada uma, pois a partir desse ponto até a fase final o uso destas siglas será frequente.

Originalmente Nielsen propôs suas heurísticas em colaboração com Rolf Molich em 1990 (MOLICH; NIELSEN, 1990). Desde então, Nielsen se dedicou a refinar estas heurísticas baseando-se em análise de fatores de 249 problemas de usabilidade (NIELSEN, 1994c) para derivar e apresentar uma nova lista com poder explanatório, o que resultou na lista revista publicada em Nielsen (1994a) (NIELSEN, 1995). Todo o cuidado e dedicação que Nielsen tomou ao propor suas heurísticas e o nível de abstração que ele alcançou talvez seja a justificativa pela popularidade de sua lista e, mesmo voltado para interfaces 2D, pode-se obter bons resultados também se aplicado em avaliação de interfaces 3D, como é o caso da RA. No entanto, algumas de suas heurísticas não atenderam alguns dos critérios estabelecidos, por isso HN[3] e HN[7] foram eliminadas por possuírem grau de relevância baixo; HN[5] já representa a questão relativa a erros, por isso HN[9] também foi eliminada; e HN[10] está voltada a documentação, fugindo assim, dos objetivos primários definidos como critério de

eliminação ou permanência e, conseqüentemente, eliminada. A Figura 5.2 apresenta o resultado da eliminação das heurísticas de Nielsen (1994a).



Figura 5.2: Resultado da Fase 2 – Eliminação, Heurísticas de Nielsen (1994a).

Como a lista de princípios de design de Dünser et al. (2007) representa uma abstração bastante generalizada de orientações para o design de RA, portanto quase todas, de alguma forma trazem informações relevantes que contribuirão para o processo de adaptação. A única exceção (Figura 5.3) é o PD[5], pois este aborda a questão de satisfação de usuário que leva em consideração medidas objetivas e subjetivas do usuário, as quais estão ligadas ao escopo da avaliação de usabilidade empírica, e não a questão analítica que está sendo tratada nesta pesquisa.

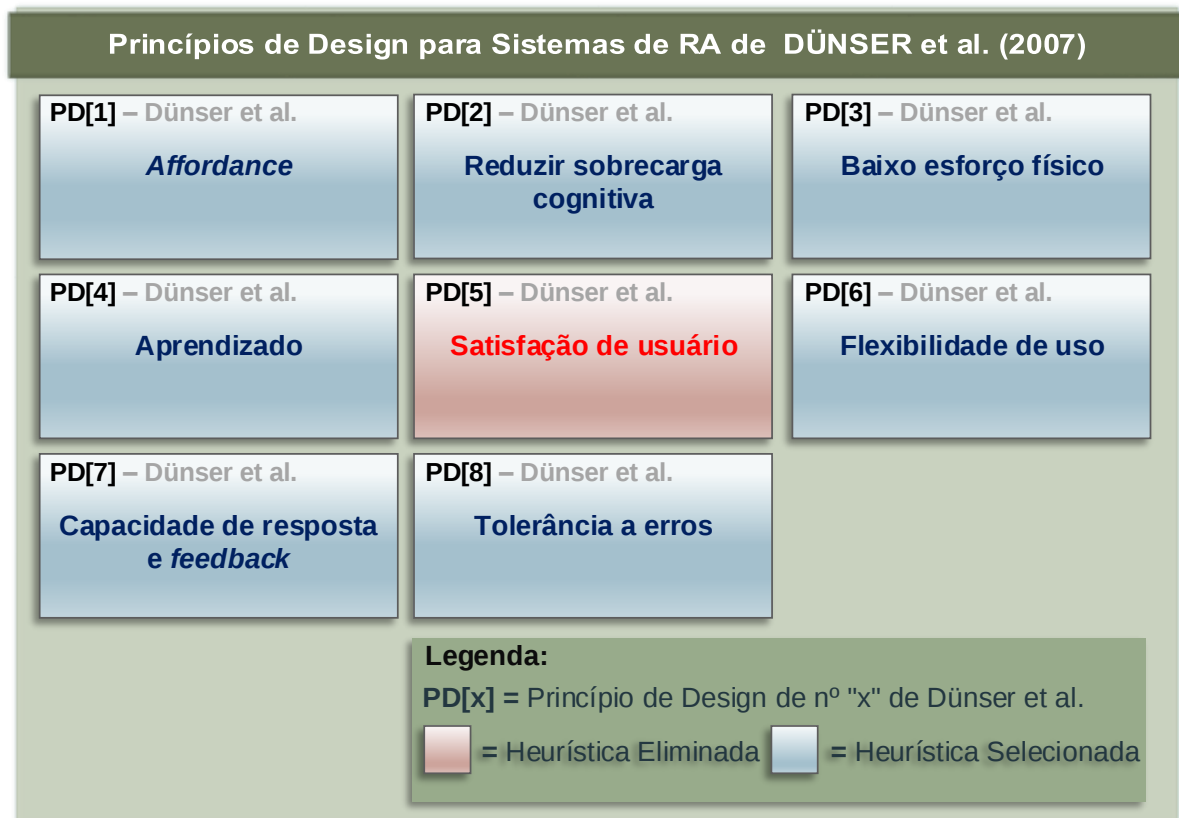


Figura 5.3: Resultado da Fase 2 – Eliminação, *Guidelines* de design de Dünser et al. (2007).

A lista de *guidelines* de design para RA em dispositivos móveis de Ganapathy (2013) está focada no quesito visibilidade em dispositivos móveis para RA. Sendo assim, a eliminação (Figura 5.4) se restringiu a apenas dois *guidelines* – G[1] e G[7] – eliminados porque o objetivo da proposta da nova lista de heurísticas para RA colaborativa é atingir um resultado que possa ser mais generalizado, e estes *guidelines* estão limitados à exibição da informação visual para casos específicos, sendo para o uso de textos e ícones, respectivamente.

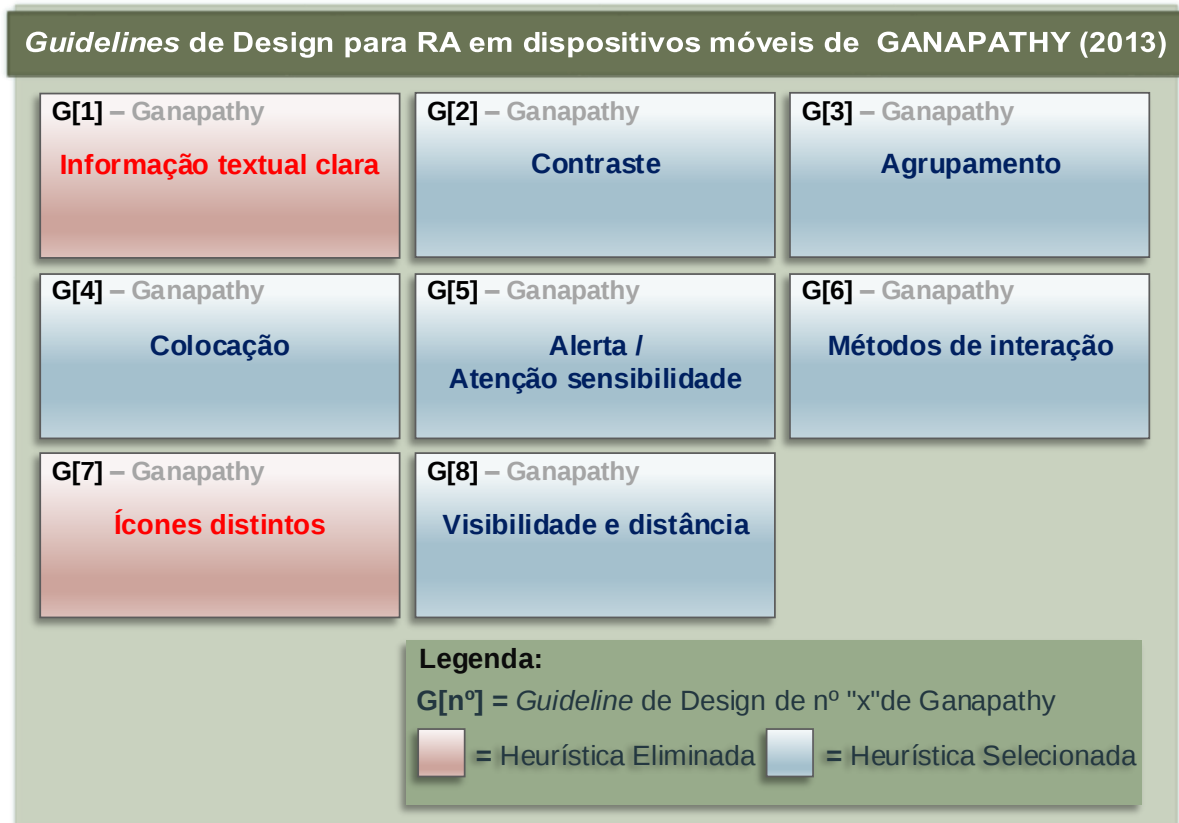


Figura 5.4: Resultado da Fase 2 – Eliminação, *Guidelines* de Ganapathy (2013).

Como o objetivo é atender a colaboração remota em RA e as heurísticas de Baker, Greenberg e Gutwin (2002) também contemplam a vertente face a face da colaboração. O critério adotado foi eliminar as heurísticas que justamente oferecem suporte a essa característica face a face dos CSCW. A partir desse critério, o resultado alcançado foi a eliminação das heurísticas HB[2], HB[3] e HB[7], como pode ser visualizado na Figura 5.5. No entanto, a heurística HB[6] foi eliminada pois pouco colabora para a formação de heurísticas de colaboração remota dentro do escopo da RA.

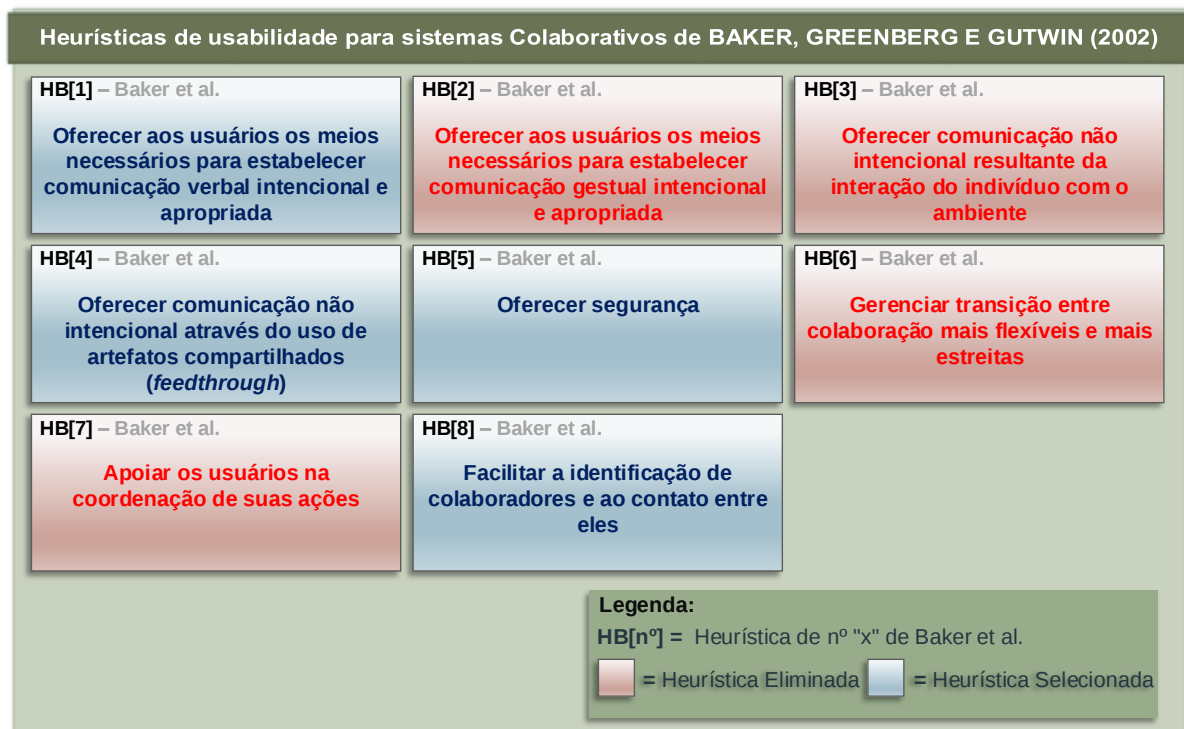


Figura 5.5: Resultado da Fase 2 – Eliminação, Heurísticas de Baker, Greenberg e Gutwin (2002).

Embora a Realidade Virtual possua algumas características em comum com RA, há algumas peculiaridades que são exclusivas da própria RV. Nesse sentido, a eliminação das heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004) além de levar em consideração as heurísticas que possuam características semelhantes também contou com a avaliação de Dünser e Billinghurst (2011) que apontaram as heurísticas HS[3], HS[4], HS[6], HS[7], HS[8] e HS[12] como menos aplicáveis à RA, logo essas já foram previamente eliminadas. As heurísticas HS[9] e HS[11] também foram consideradas pouco aplicáveis para o escopo desta proposta e portanto foram eliminadas também. O resultado dessa eliminação pode ser visto na Figura 5.6.

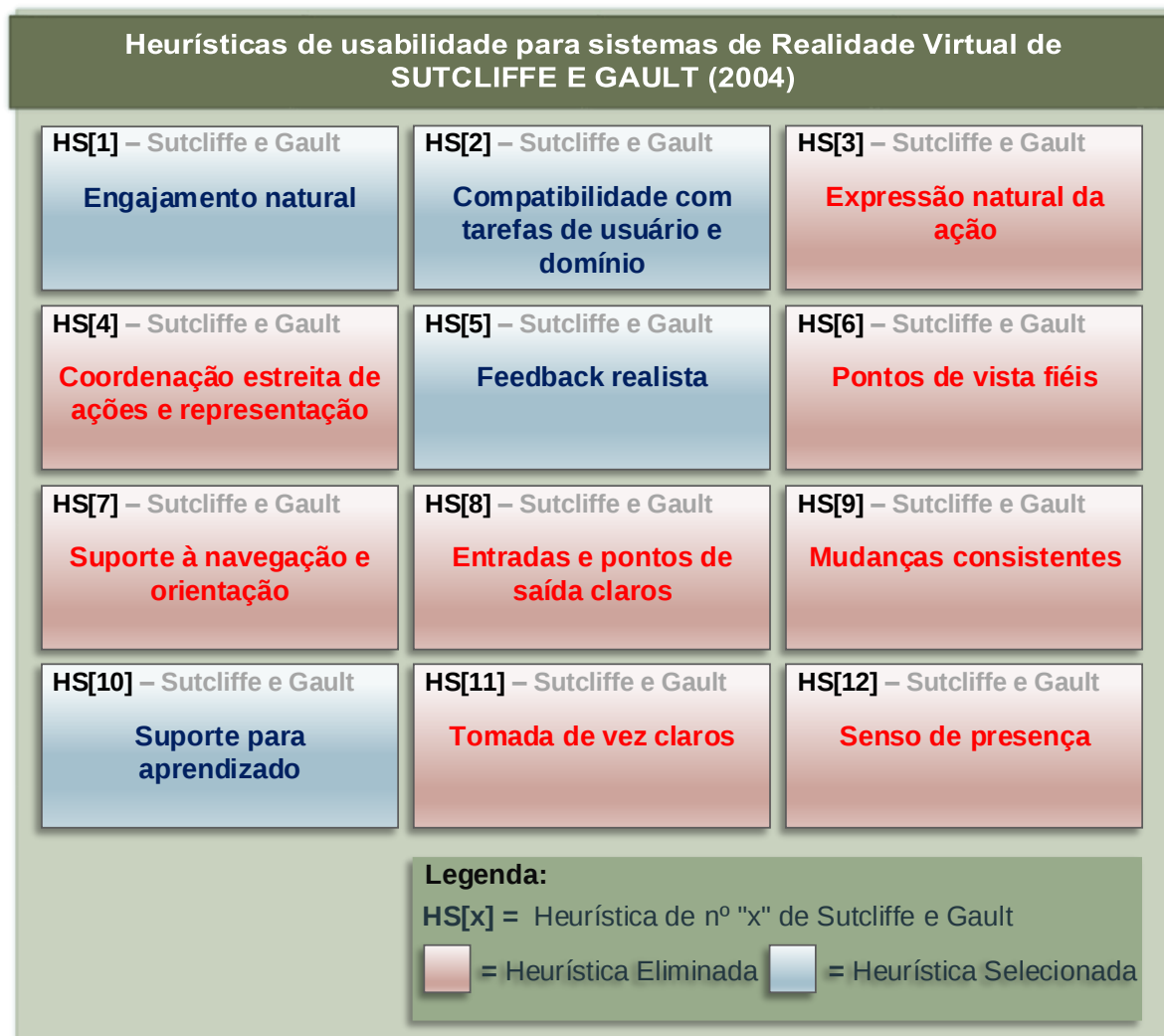


Figura 5.6: Resultado da Fase 2 – Eliminação, Heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004).

5.3 FASE 3 – ALINHAMENTO DE SIMILARES

Somando as listagens dos cinco grupos utilizados, têm-se um total de 46 entre princípios, *guidelines* e heurísticas de usabilidade. Na etapa de eliminação, esse número foi reduzido a 28. A partir desses 28 remanescentes, o próximo passo foi selecionar e alinhar heurísticas com conceitos similares. O critério adotado se baseou na abstração da ideia central de cada heurística e foram julgadas similares aquelas com ideias centrais equivalentes. Ao final do estudo foram criados cinco grupos de similares, agrupando duas ou três heurísticas em cada grupo, como mostra a Figura 5.7. Na fase 4, ao realizar a fusão de similares será explicado o porquê de cada alinhamento apresentado no resultado desta terceira fase.

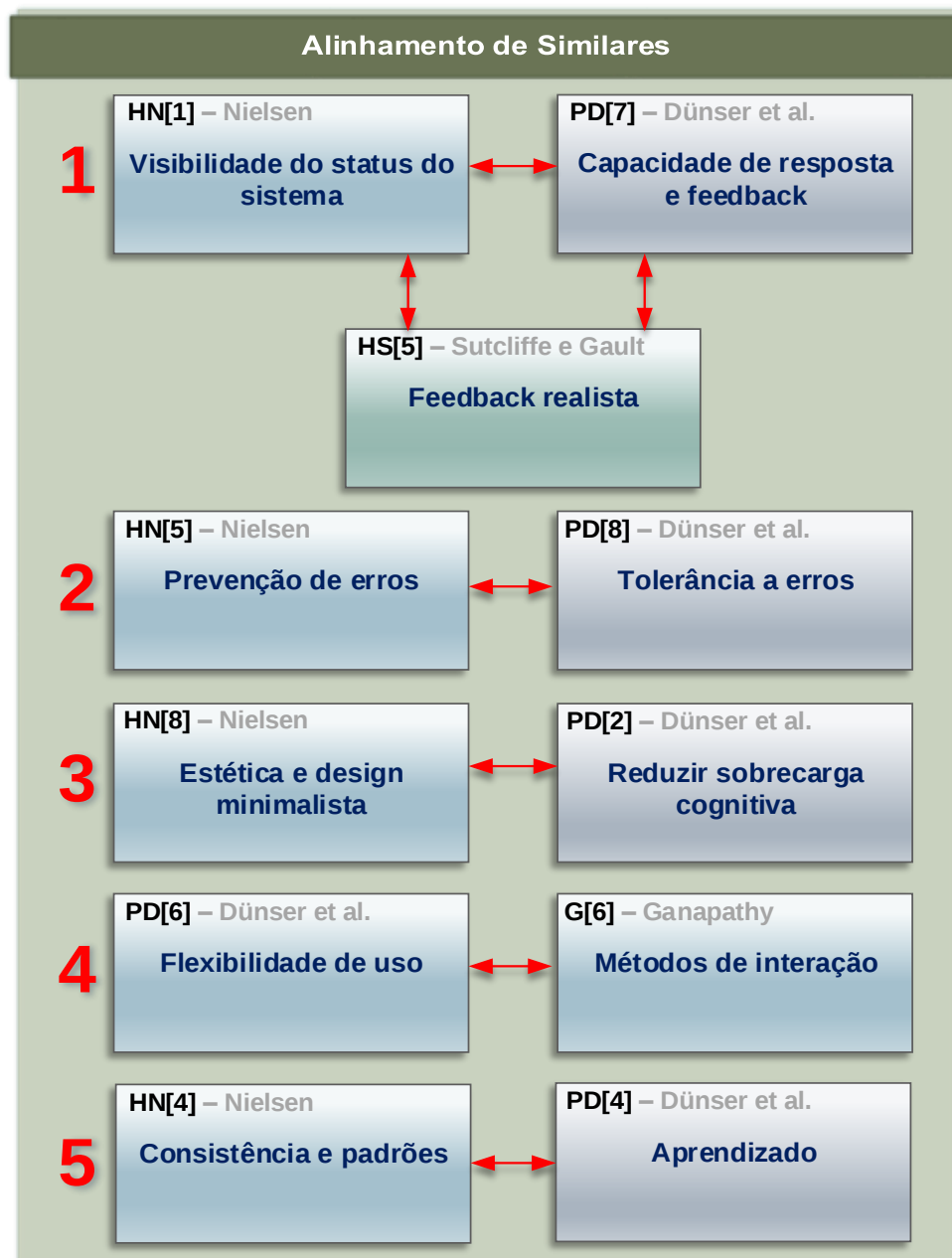


Figura 5.7: Resultado da Fase 3 - Alinhamento de Similares.

5.4 FASE 4 – FUSÃO DE SIMILARES

Uma vez que cada grupo possui a ideia central de ser similar, nesta fase será realizada a fusão de conceitos desses similares. Para cada fusão além de adequar os conceitos similares em uma só heurística, foram adicionados também alguns atributos para que a heurística resultante seja o grupo final da lista adaptada que se espera formar a partir desta metodologia. A Figura 5.8 demonstra o resultado alcançado nas fusões.

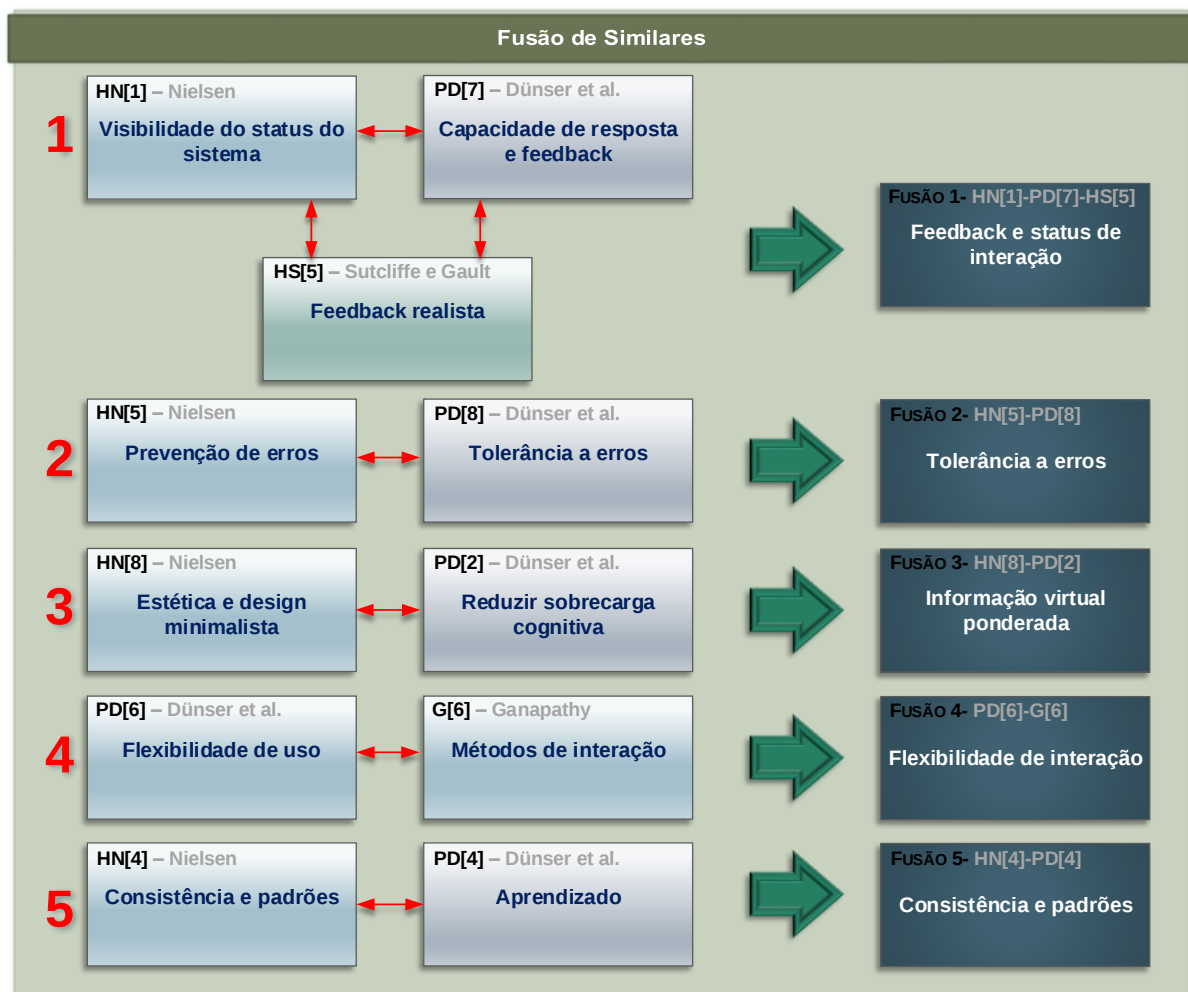


Figura 5.8: Resultado da Fase 4 - Fusão de Similares.

Como pode ser observado na Figura 5.8, a primeira fusão corresponde à HN[1] com o PD[7] e HS[5], estas três heurísticas, contextualizam a questão do sistema oferecer status e *feedback* adequado quanto à sua atual condição. Como resultado desta fusão, foi formada a heurística **Feedback e status da interação**, com a seguinte descrição: “o usuário deve ser constantemente informado sobre o atual status do sistema e corresponder às interações oferecendo *feedback* adequado e de acordo com as expectativas de percepção do usuário. Em sistemas de RA pode ser comum ocorrer alguns atrasos no processo de rastreamento, nesse caso, é importante que o designer tome os cuidados para que o usuário seja corretamente informado, para que a performance da tarefa não seja negativamente afetada.”

A segunda fusão foi resultante do alinhamento entre os similares HN[5] e PD[8] e ambos, no geral, reportam a questão do sistema sempre que possível prevenir e tolerar erros que podem ser previamente identificados. A heurística resultante desta fusão 2, leva o mesmo nome do PD[8]: **Tolerância a erros**, e é descrita como segue: “evitar erros sempre que

possível é importante em qualquer ponto de uma aplicação. Em sistemas de RA deve-se atentar principalmente à estabilidade no processo de rastreamento, buscando eliminar condições que possam comprometer e/ou causar instabilidades que possam vir a comprometer o desempenho do sistema.”

A terceira fusão partiu da HN[8] com o PD[2]. A ideia central da HN[8] diz respeito a evitar informações irrelevantes, ser cuidadoso com o design e o PD[2], basicamente levanta a questão de que informação desnecessária pode gerar sobrecarga cognitiva em sistemas de RA. Partindo dessas duas ideias centrais o resultado foi a heurística **Informação virtual ponderada**: “em sistemas de RA, o excesso de informação virtual pode gerar sobrecarga cognitiva e afetar a performance da aplicação. Deve-se apresentar as informações virtuais de maneira ponderada (evitar irrelevantes) e bem alinhadas para que o usuário se concentre em sua tarefa atual.”

A quarta fusão corresponde ao PD[6] com o G[6], ambos buscam tratar da questão de oferecer suporte a diferentes métodos de interação, se o escopo da aplicação permitir. Como resultado, formou-se a heurística **Flexibilidade de interação**: “se o escopo da aplicação permitir deve-se procurar proporcionar diferentes formas de interação para que o usuário possa escolher baseado em sua preferência e habilidade. Esta flexibilidade de interação pode ser promovida tanto em relação à possibilidade de mesclar diferentes dispositivos de entrada e saída de dados quanto ao suporte às diferentes interações com a aplicação, como exemplo a esse último, a possibilidade de pausar a visualização do vídeo compartilhado em uma aplicação de RA colaborativa remota.”

A quinta e última fusão foi entre a HN[4] com o PD[4]. A ideia central da HN[4] é consistência nas informações, buscando evitar possíveis interpretações de ambiguidade. O PD[4] também levanta a questão de que é importante o sistema ter consistência ao apresentar as informações. Logo, a heurística resultante, de mesmo nome que a HN[4], dessa fusão foi: **Consistência e padrões** – A interface de usuário deve ser consistente em aparência e comportamento. É importante estabelecer padrões e evitar a possibilidade de interpretação ambígua de funcionalidades da interface pelo usuário.

5.5 FASE 5 – AGRUPAMENTO E ADAPTAÇÃO

Da fase anterior, tem-se como resultado cinco heurísticas que irão compor a lista final da proposta. As demais, a serem formadas, serão adaptadas a partir do agrupamento entre as heurísticas remanescentes que não foram utilizadas na fase de alinhamento de similares. Cada grupo, chamado de “base”, será suporte para adaptar uma heurística. A união de heurísticas num mesmo grupo levou em consideração que as ideias centrais de cada uma se entrelaçavam de alguma forma, sejam como complementares ou simplesmente contribuïrem como base para a formação da heurística resultante. Há também, heurísticas que foram formadas tomando apenas uma única como base.

A primeira “base” (Figura 5.9) é constituída apenas pelo PD[3], a qual retrata da questão do esforço físico, tanto por se ter tarefas com número mínimo de passos quanto ao desconforto que alguns dispositivos podem causar ao usuário depois de determinado tempo de uso. A partir dele resultou a heurística **Dispositivos de interação**: “sistemas de Realidade Aumentada permitem diferentes combinações de dispositivos para entrada e saída de dados. Ao selecionar os dispositivos a serem utilizados deve-se considerar não só as características da aplicação, mas também o conforto do usuário, para isso é preciso considerar o tempo médio que ele passará com determinado dispositivo e com que frequência irá utilizá-lo. Um exemplo típico são HMD’s, os quais em longos períodos de uso, comumente geram incômodos ao usuário.”

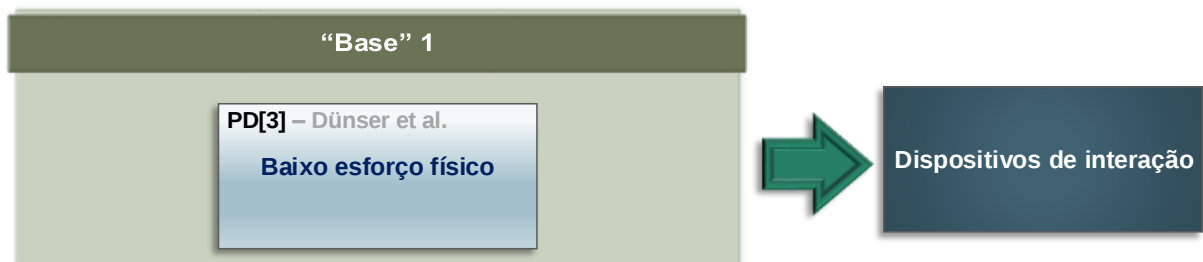


Figura 5.9: “Base” 1 – suporte para formar a heurística ‘Dispositivos de interação’.

A segunda “base” (Figura 5.10) é composta pela HN[6], o PD[1] e o PD[4]. A HN[6] se refere à diminuição da carga de memória do usuário; o PD[1] tem como ideia central que metáforas de interação apropriadas podem facilmente comunicar sua função; e o PD[4] levanta a questão que usar interações intuitivas diminui as necessidades de aprendizado prévio. A partir dos conceitos dessas três heurísticas da base 2, resultou a heurística **Design intuitivo de interações**: “interações intuitivas diminuem a curva de aprendizado do sistema e colaboram com o grau de aceitação do usuário. Ao projetar interações, deve-se evitar

intervenções desnecessárias e considerar metáforas de interação que derivam de exemplos do mundo real e que busquem promover a auto descrição para que o usuário possa utilizar artifícios de assimilação e reconhecimento.”

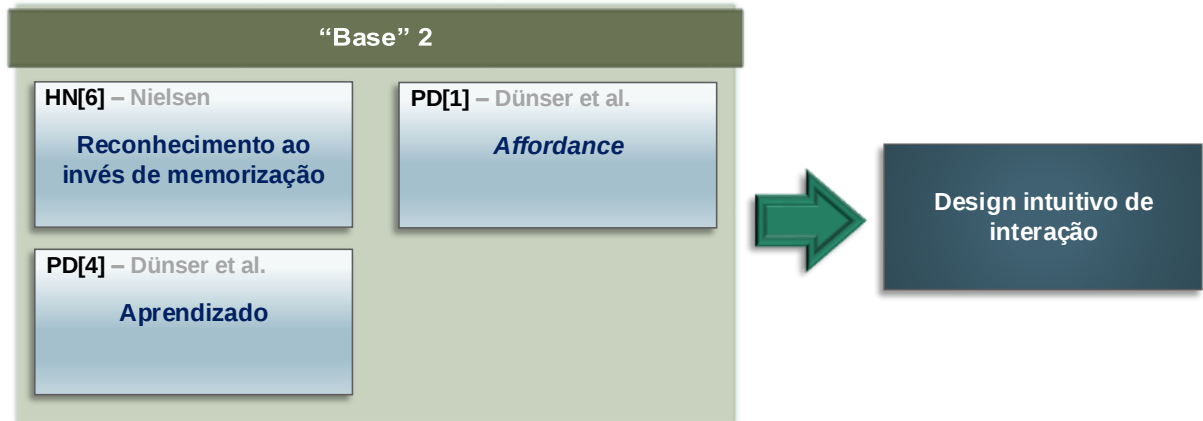


Figura 5.10: “Base” 2 – suporte para a formar a heurística ‘Design intuitivo de interação’.

A HN[2] e a HS[2] se agrupam e formam a terceira “base” (Figura 5.11). Elas querem dizer que o sistema deve falar a linguagem do usuário e corresponder às suas expectativas de comportamento do sistema, respectivamente. A heurística resultante dessa base é **Harmonia entre real e virtual**: “a combinação entre o ambiente real e objetos virtuais deve ser coerente com a cena. A informação virtual justaposta deve ser compatível o máximo possível com a expectativa de percepção do usuário dentro do escopo da aplicação de RA em uso.”

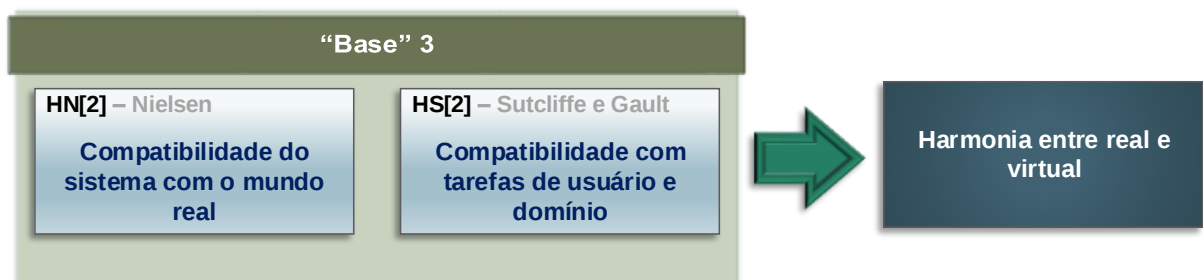


Figura 5.11: “Base” 3 – suporte para a formar a heurística ‘Harmonia entre real e virtual’.

As heurísticas G[3], G[4], G[5] e HS[10] se complementam e buscam reportar sobre a questão da exibição da informação sobreposta em ambientes de RA ou RV. A partir delas, a “Base 4” (Figura 5.12), formou-se a heurística **Informação virtual clara e concisa**: o sistema deve organizar a informação virtual sobreposta ao ambiente real para apresentá-la de forma

organizada, sem tornar obscuro o item de interesse e também identificar as áreas que são importantes e precisam de atenção imediata.

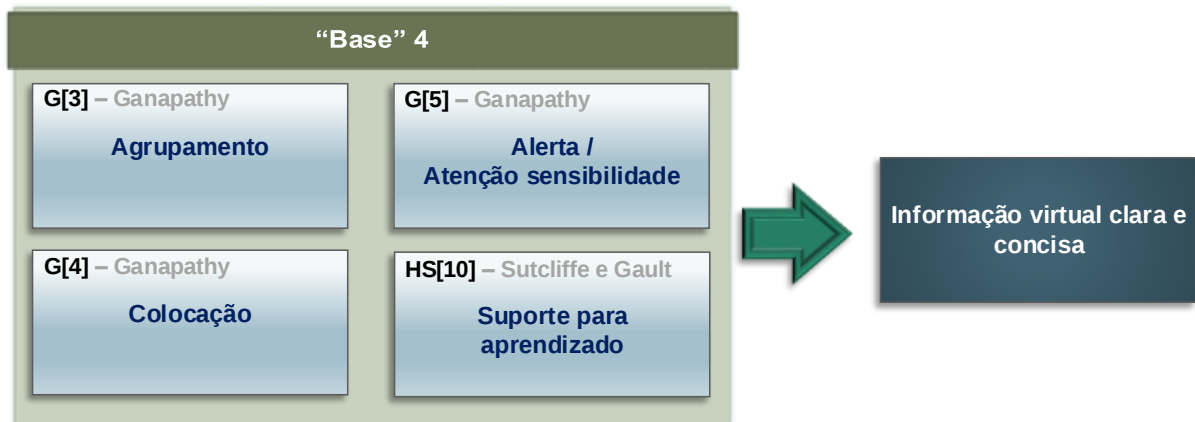


Figura 5.12: "Base" 4 – suporte para formar a heurística 'Informação virtual clara e concisa'.

A quinta "base" (Figura 5.13) se forma com as heurísticas G[2] e G[8] que se complementam e reportam sobre a questão de colocação da informação no ambiente real. A partir delas se formou a heurística **Visibilidade, contraste e distância**: "O sistema apresenta as informações aumentadas usando filtros baseados em distância e usa contraste suficiente para que sejam visíveis em diferentes *backgrounds*."



Figura 5.13: "Base" 5 – suporte para a formar a heurística 'Visibilidade, contraste e distância'.

Entre a sexta "base e a "décima", foi utilizada apenas uma heurística como base, sendo aquela que reporta sobre a colaboração. Dessa forma, temos que a "base" 6 (Figura 5.14) usa a heurística HB[1] para formar a denominada **Suporte à comunicação verbal**: "em sistemas colaborativos de RA, além do compartilhamento do ambiente aumentado para que a comunicação seja completa é importante que o sistema forneça opção de comunicação verbal que seja adequada e apropriada ao escopo do sistema."

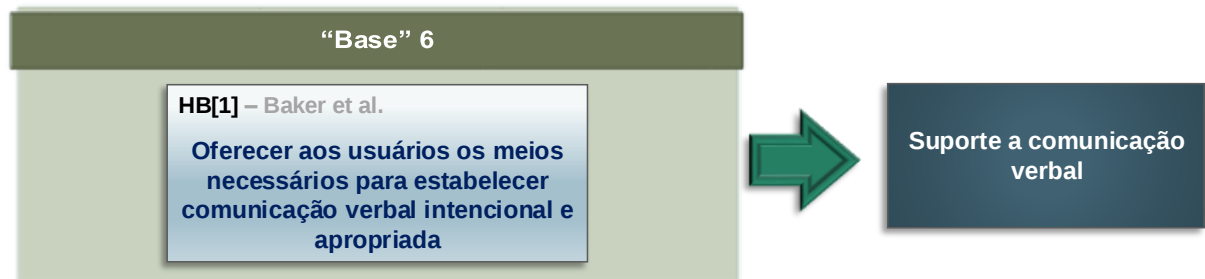


Figura 5.14: “Base” 6 – suporte para a formar a heurística ‘Suporte à comunicação verbal’.

A sétima “base” (Figura 5.15) se apoia em HB[5] e HB[7] para formar a heurística **Autonomia e Proteção**: “o sistema deve oferecer meios para que o usuário possa gerenciar suas interações e ao mesmo tempo promover a proteção dos artefatos compartilhados.” O termo “autonomia” utilizado nesta heurística diz sobre a questão do usuário que estiver interagindo no ambiente colaborativo ter autonomia sob sua interação, que deverá ser protegida para não haver conflitos com outros usuários que queiram, ao mesmo tempo, realizar a mesma interação.

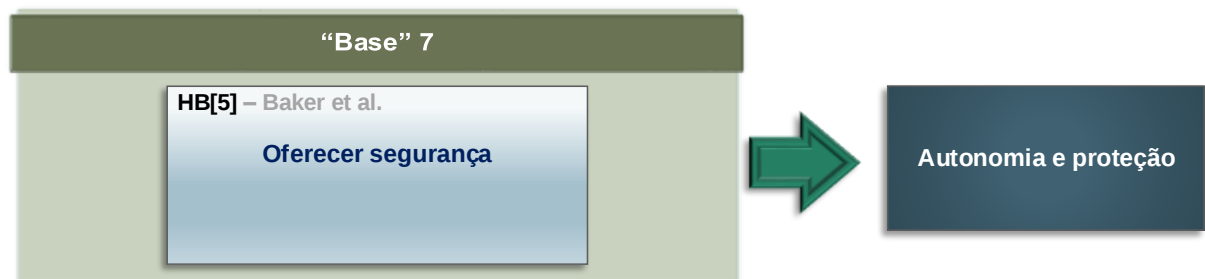


Figura 5.15: “Base” 7 – suporte para a formar a heurística ‘Autonomia e proteção’.

E a oitava (Figura 5.16) se apoia na HB[8] para formar a heurística **Conexão entre colaboradores**: “o sistema deve fornecer aos usuários meios adequados para o estabelecimento da conexão entre colaboradores e fazer a devida sinalização quando um colaborador se conectar ou desconectar do sistema.”



Figura 5.16: “Base” 8 – suporte para a formar a heurística ‘Conexão entre colaboradores’.

A última heurística formada além de usar uma nona “base” (Figura 5.17) que corresponde à HB[4] também usou os trabalhos que foram levantados na segunda vertente da fase de levantamento, os quais correspondem aos realizados por Bauer, Kortuem e Segall (1999) e Chastine et al. (2007). Ambos trazem resultados de estudos com usuários que indicavam a operação de apontamento como essencial em sistemas colaborativos remotos de RA. Um apontamento permite que um usuário aponte qualquer ponto da aplicação e este apontamento é visualizado por seu colaborador remoto a partir de algum objeto virtual inserido no local exato que foi apontado. A heurística resultante dessa nona “base” somada aos resultados das duas pesquisas utilizadas foi **Mecanismos de Interação para colaboração**: “o sistema oferece opções de interação que sejam adequadas e/ou possam enriquecer a experiência de usuário quanto à comunicação dos sistemas colaborativos remotos de RA. Um exemplo é a operação de apontamento, que complementa a comunicação verbal ou textual entre os colaboradores, agindo, por exemplo, na sinalização gestual da fala dêitica, como por exemplo: “esse aqui”, “aquele”, “aqui””.

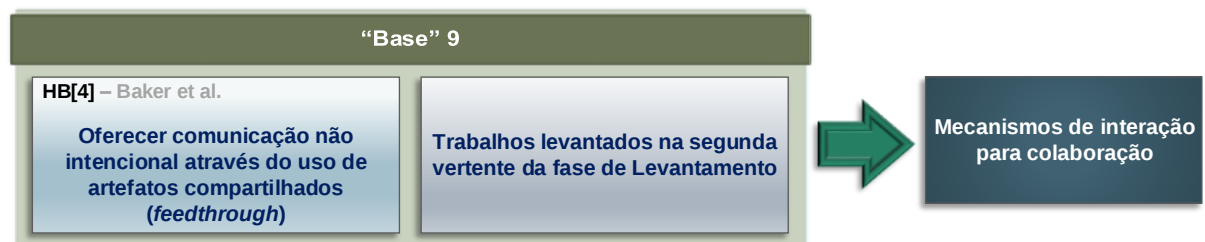


Figura 5.17: “Base” 9 – suporte para a formar a heurística ‘Mecanismos de interação para colaboração’.

5.6 FASE 6 – REMANEJAMENTO E ADAPTAÇÃO PRELIMINAR

A partir dos resultados das fases de fusão e agrupamento tem-se o resultado da adaptação e proposta de uma lista de heurísticas para avaliar usabilidade de interfaces de

sistemas colaborativos de Realidade Aumentada remota. Tendo realizado um remanejamento, o resultado da adaptação preliminar será apresentado a seguir, cada heurística possui a letra “H” junto à sua numeração.

H1- Dispositivos de interação: sistemas de Realidade Aumentada permitem diferentes combinações de dispositivos para entrada e saída de dados. Ao selecionar os dispositivos a serem utilizados deve-se considerar não só as características da aplicação, mas também o conforto do usuário, para isso é preciso considerar o tempo médio que ele passará com determinado dispositivo e com que frequência irá utilizá-lo. Um exemplo típico são HMD's, os quais em longos períodos de uso, comumente geram incômodos ao usuário.

H2- Design intuitivo de interações: interações intuitivas diminuem a curva de aprendizado do sistema e colaboram com o grau de aceitação do usuário. Ao projetar interações, deve-se evitar intervenções desnecessárias e considerar metáforas de interação que derivam de exemplos do mundo real e que busquem promover a auto descrição para que o usuário possa utilizar artifícios de assimilação e reconhecimento.

H3- Flexibilidade de interação: se o escopo da aplicação permitir, deve-se procurar proporcionar diferentes formas de interação para que o usuário possa escolher baseado em sua preferência e habilidade. Esta flexibilidade de interação pode ser promovida tanto em relação à possibilidade de mesclar diferentes dispositivos de entrada e saída de dados quanto ao suporte às diferentes interações com a aplicação, como exemplo a esse último, a possibilidade de pausar a visualização do vídeo compartilhado em uma aplicação de RA colaborativa remota.

H4- Feedback e status da interação: o usuário deve ser constantemente informado sobre o atual status do sistema e corresponder às interações oferecendo *feedback* adequado e em acordo com as expectativas de percepção do usuário. Em sistemas de RA pode ser comum ocorrer alguns atrasos no processo de rastreamento, nesse caso, é importante que o designer tome os cuidados para que o usuário seja corretamente informado, para que o desempenho da tarefa não seja negativamente afetado.

H5- Harmonia entre real e virtual: a combinação entre o ambiente real e objetos virtuais deve ser coerente com a cena. A informação virtual justaposta deve ser compatível o máximo possível com a expectativa de percepção do usuário dentro do escopo da aplicação de RA em uso.

- H6- Informação virtual ponderada:** em sistemas de RA, o excesso de informação virtual pode gerar sobrecarga cognitiva e afetar o desempenho da aplicação. Deve-se apresentar as informações virtuais de maneira ponderada (evitar dados irrelevantes) e bem alinhadas para que o usuário se concentre em sua tarefa atual.
- H7- Informação virtual clara e concisa –** o sistema deve organizar a informação virtual sobreposta ao ambiente real para apresentá-la de forma organizada, sem tornar obscuro o item de interesse e também identificar as áreas que são importantes e precisam de atenção imediata.
- H8- Visibilidade, contraste e distância –** O sistema apresenta as informações aumentadas usando filtros baseados em distância e usa contraste suficiente para que sejam visíveis em diferentes *backgrounds*.
- H9- Consistência e padrões –** A interface de usuário deve ser consistente em aparência e comportamento. É importante estabelecer padrões e evitar a possibilidade de interpretação ambígua de funcionalidades da interface pelo usuário.
- H10- Mecanismos de Interação para colaboração –** o sistema oferece opções de interação que sejam adequadas e/ou possam enriquecer a experiência do usuário quanto à comunicação nos sistemas colaborativos remotos de RA. Um exemplo é a operação de apontamento, que complementa a comunicação verbal ou textual entre os colaboradores, agindo, por exemplo, na sinalização gestual da fala dêitica, como por exemplo: “esse aqui”, “aquele”, “aqui”.
- H11- Autonomia e Proteção –** o sistema deve oferecer meios para que o usuário possa gerenciar suas interações e ao mesmo tempo promover a proteção dos artefatos compartilhados.
- H12- Conexão entre colaboradores –** o sistema deve fornecer aos usuários meios adequados para o estabelecimento da conexão entre colaboradores e fazer a devida sinalização quando um colaborador se conectar ou desconectar do sistema.
- H13- Suporte à comunicação verbal –** em sistemas colaborativos de RA, além do compartilhamento do ambiente aumentado para que a comunicação seja completa é importante que o sistema forneça opção de comunicação verbal que seja adequada e apropriada ao escopo do sistema.

H14- Tolerância a erros: evitar erros sempre que possível é importante em qualquer ponto de uma aplicação. Em sistemas de RA deve-se atentar principalmente à estabilidade no processo de rastreamento, buscando eliminar condições que possam comprometer e/ou causar instabilidades que possam vir a comprometer o desempenho do sistema.

5.7 FASE 7 – *FOCUS GROUP*: REFINAMENTO DA LISTA PROPOSTA

A lista de heurísticas resultantes da seção anterior foi entregue para análise a cinco especialistas, sendo dois **mestres** em Design com 2 e 7 anos de experiência em IHC e Realidade Aumentada, respectivamente; um Mestre em Ciência da Computação com 6 anos de experiência em IHC e RA; e por fim, dois graduados em design com média de 2 anos de experiência em IHC e RA.

O *feedback* da análise das heurísticas pelos especialistas foi obtido a partir da realização de um *Focus Group*, em que diversas pessoas se reúnem por uma ou duas horas para uma espécie de discussão ou entrevista coletiva, guiada por um moderador. Neste contexto, o *Focus Group* pode fornecer uma ampla gama de informações num curto período de tempo (BARBOSA; SILVA, 2010). Dessa maneira, durante o *Focus Group*, os especialistas num primeiro momento falaram da lista como um todo, apontando melhorias gerais, as quais foram: padronizar, diminuir e desvincular exemplos da explicação de cada heurística. Em seguida, foram discutidas melhorias específicas em cada heurística, como segue:

H1- Dispositivos de interação: foi recomendado que antes de selecionar o dispositivo deve-se atentar em qual(is) sentido(s) se deseja aumentar e de que maneira isto leva em consideração o conforto do usuário. A partir dessa recomendação, a nova heurística H1 foi '**H1- Interação e conforto:** deve-se adequar o uso dos dispositivos de interação ao(s) sentido(s) que se deseja aumentar e ao conforto do usuário.'

H2- Design intuitivo de interações: foram levantadas questões de níveis de conhecimento de usuário em RA e como as formas de interação poderiam interferir no aprendizado. Nesse sentido, o refinamento da H2 levou ao seguinte resultado: '**H2- Design intuitivo de interações:** deve-se evitar o uso de interações desnecessárias com o ambiente aumentado e adequar a utilização

de metáforas de interação de RA ao contexto que o usuário está inserido e que possam contribuir para reduzir a curva de aprendizado do mesmo.'

H3- Flexibilidade de interação: nesta heurística o foco foi na questão do sistema de RA ser passível de ter usuários novatos e também experientes. O resultado da reformulação da H3 foi '**H3- Flexibilidade de interação:** quando possível, deve-se proporcionar diferentes formas de interação no ambiente aumentado para que o usuário possa escolher baseado em sua preferência e habilidade.'

H4- Feedback e status da interação: foi indicado que esta heurística mantivesse seu intuito, mas que fosse reformulada para ficar mais clara, logo, a nova H4 tem a seguinte formulação '**H4- Feedback e status de interação:** deve-se oferecer feedback de interação no ambiente aumentado adequado e em acordo com as expectativas de percepção do usuário, além de manter este usuário sempre informado sobre o atual status do sistema.'

H5- Harmonia entre real e virtual: foi recomendado que a formulação fosse modificada e que tratasse da RA de acordo com o propósito dela na aplicação em foco, por exemplo, se demanda fotorrealismo ou não. Assim, a nova heurística H5 resultou em '**H5- Experiência Sensorial:** deve-se adequar a experiência sensorial do usuário do ambiente aumentado ao escopo da percepção esperada pela aplicação.'

H6- Informação virtual ponderada: foi levantada a questão de que a H6 e H7 seriam complementos uma da outra e que estas poderiam ser condensadas em uma só. Logo, o resultado foi propor a heurística '**H6- Informação virtual clara e ponderada:** deve-se organizar a informação virtual ao ambiente real sem tornar obscuro o item de interesse, de forma a identificar as áreas que são importantes e precisam de atenção imediata; como também de forma ponderada, para evitar sobrecarga cognitiva.'

H7- Informação virtual clara e concisa: foi absorvida pela heurística H6;

H8- Visibilidade, contraste e distância: foi solicitado alterar a formulação para melhorar a explicação da heurística que quer dizer sobre a apresentação da informação: quando e como. Como a H7 foi condensada à H6, a nova heurística em relação a esta H8, é a heurística '**H7- Detalhamento e contraste:** deve-se

apresentar as informações aumentadas usando filtros baseados em distância e contraste suficiente para que sejam visíveis em diferentes *backgrounds*.’

H9- Consistência e padrões: além de ser bastante genérica a formulação desta heurística já havia sido tratada por outras, sendo assim foi recomendada a exclusão da mesma.

H10- Mecanismos de Interação para colaboração: primeiramente esta heurística foi relacionada à H13- Suporte à comunicação verbal, como sendo uma generalização de H13. Portanto, foi solicitada a eliminação da H13 que de maneira geral estaria englobada pela H10. A nova H10 resultante foi ‘**H8- Métodos para colaboração:** deve-se oferecer opções de interação ao ambiente aumentado que sejam adequadas e/ou possam enriquecer a experiência de usuário quanto ao escopo da comunicação colaborativa remota baseada em Realidade Aumentada.’

H11- Autonomia e Proteção: foi apenas solicitado que a explicação ficasse mais objetiva. O resultado foi ‘**H9- Autonomia e Proteção** – deve-se promover a proteção de artefatos compartilhados e permitir que cada colaborador tenha gerência sobre suas interações no ambiente aumentado.’

H12- Conexão entre colaboradores: Eliminada – foi levantado que esta heurística é desnecessária dentro do escopo da colaboração por isso poderia ser eliminada.

H13- Suporte à comunicação verbal – condensada à heurística H10.

H14- Tolerância a erros: foi solicitado também que a sua eliminação.

5.8 FASE 8 – RESULTADO FINAL: HEURÍSTICAS DE USABILIDADE PARA SISTEMAS COLABORATIVOS REMOTOS DE REALIDADE AUMENTADA

A partir das recomendações de melhorias dos especialistas apontadas durante o *Focus Group*, como visto na seção anterior, a lista de heurísticas para avaliação de usabilidade de interface de sistemas colaborativos remotos de RA foi refinada, tendo seu número reduzido de 14 para 9, e o resultado final alcançado é apresentado como segue:

H1- Interação e conforto: deve-se adequar o uso dos dispositivos de interação ao(s) sentido(s) que se deseja aumentar e ao conforto do usuário.

Exemplo: O uso de certos tipos de HMD's por longo período pode gerar incômodos ao usuário.

H2- Design intuitivo de interações: deve-se evitar o uso de interações desnecessárias com o ambiente aumentado e adequar a utilização de metáforas de interação de RA ao contexto que o usuário está inserido e que possam contribuir para reduzir a curva de aprendizado do mesmo.

H3- Flexibilidade de interação: quando possível, deve-se proporcionar diferentes formas de interação no ambiente aumentado para que o usuário possa escolher baseado em sua preferência e habilidade.

H4- Feedback e status de interação: deve-se oferecer feedback de interação adequado e em acordo com as expectativas de percepção do usuário, além de manter este usuário sempre informado sobre o atual status do sistema.

Exemplo: Em caso de possível atraso no rastreamento, reportar o usuário sobre este atraso de maneira adequada.

H5- Experiência Sensorial: deve-se adequar a experiência sensorial do usuário do ambiente aumentado ao escopo da percepção esperada pela aplicação.

Exemplos: Um sistema de RA aplicado à decoração de uma casa, em que se tem disponível diferentes tipos de mobília virtual para inserir ao ambiente real e visualizar como esta mobília ficaria em determinado local da casa, demanda que sejam aplicadas técnicas de fotorrealismo para aproximar o máximo possível da realidade;

No caso, de um sistema de RA para manutenção, em que se deseja realçar algum ponto do equipamento para o usuário verificar, o fotorrealismo já não é adequado, pois poderia causar confusão entre o que é real e o que é virtual.

H6- Informação virtual clara e ponderada: deve-se organizar a informação virtual sem tornar obscuro o item de interesse, de forma a identificar as áreas que são importantes e precisam de atenção imediata; como também de forma ponderada, para evitar sobrecarga cognitiva.

H7- Detalhamento e contraste: deve-se apresentar as informações aumentadas usando filtros baseados em distância e contraste suficiente para que sejam visíveis em diferentes *backgrounds*.

H8- Métodos para colaboração: deve-se oferecer opções de interação ao ambiente aumentado que sejam adequadas e/ou possam enriquecer a experiência de usuário quanto ao escopo da comunicação colaborativa remota baseada em Realidade Aumentada.

Exemplos: Comunicação de voz é crucial para ampliar a experiência sobre a colaboração em RA;

A operação de apontamento, que complementa a comunicação verbal ou textual entre os colaboradores, agindo, por exemplo, na sinalização gestual da fala dêitica, como por exemplo: “esse aqui”, “aquele”, “aqui”.

H9- Autonomia e Proteção – deve-se promover a proteção de artefatos compartilhados e permitir que cada colaborador tenha gerência sobre suas interações no ambiente aumentado.

5.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo foi dedicado a apresentar a metodologia criada para cumprir com o principal objetivo desta dissertação: adaptar e propor uma lista de heurísticas de usabilidade para sistemas colaborativos remotos de RA. O teste com a lista proposta será apresentado no próximo capítulo como método de avaliação utilizado no protótipo desenvolvido que será apresentado.

CAPÍTULO 6

UM MODELO DE REALIDADE AUMENTADA COLABORATIVA REMOTO DE BAIXO CUSTO

“Se, como se diz, não é de todo improvável que em futuro próximo o princípio da visão seja aplicado ao telefone, como já acontece com o som, a Terra será realmente um paraíso, e a distância perderá seu encantamento ao ser abolida.”

— Arthur Mee, 1898.

Aproximadamente vinte anos após a invenção do telefone, o jornalista britânico Arthur Mee, em 1898, previu como a tecnologia poderia revolucionar os meios de comunicação. Tamanho são os avanços tecnológicos dos dias atuais que fazem de Mee um visionário: a disseminação dos dispositivos móveis somada a sistemas de comunicação cada vez mais sofisticados já tornam possível a simulação da “copresença” de pessoas remotamente localizadas.

Sistemas de telecomunicação ou teleconferências atuais têm amplamente atingido sucesso no que diz respeito à comunicação verbal e troca de dados digitais. No entanto, quando o ambiente físico está envolvido, implica em uma série de limitações. Nesse sentido, os sistemas colaborativos de Realidade Aumentada podem ser considerados aliados na incessante busca de quebra de barreiras para os novos paradigmas demandados pela comunicação atual. Com esses sistemas, reforçando afirmações anteriores, os envolvidos podem interagir além do áudio e vídeo comuns por meio do compartilhamento de seu espaço físico adicionado de informações virtuais, o que proporciona uma experiência mais enriquecedora, assim como a amenização dos obstáculos da distância.

Uma situação que envolve o meio físico está presente no campo industrial e, mais especificamente, ligada à atividade de inspeção e manutenção de equipamentos. No geral, está disponível ao técnico, manuais que auxiliam nas operações de manutenção. No entanto, devido ao grau de complexidade que pode estar envolvido em equipamentos de alta tecnologia, estes manuais nem sempre serão suficientes para que o técnico proceda com seu trabalho, principalmente em situações não previstas por estes manuais. Portanto, se faz

necessário um treinamento e/ou suporte proveniente de um especialista que irá indicar as interações necessárias para que a reparação seja feita com sucesso.

Não é sempre que o especialista estará junto ao técnico para instruí-lo no que fazer, logo o suporte poderá ocorrer remotamente. No entanto, o especialista precisa obter a visão do técnico para que possa analisar a situação e tomar as decisões baseadas em sua experiência e conhecimento. Uma vez tomada a decisão, é crucial que o técnico entenda como proceder, ou seja, é necessário ser claro e preciso em suas instruções. É neste momento que entra a importância de se ter em mãos uma ferramenta que possa ir além da informação transmitida através da voz e vídeo comum e um sistema colaborativo de RA supre bem essa função.

Assim, dentre os benefícios provenientes da assistência remota entre especialista e técnico tem-se: o diagnóstico em tempo real imediato, sem custos de transporte; a conclusão da tarefa de manutenção em tempo hábil e até mesmo, mais precisa; e em caso de reparos mecânicos complexos, a redução de custos com a formação de operadores, deixando esse domínio para um número reduzido de tutores. Como consequência, a indústria pode ter a seu dispor, em simultâneo, controle de qualidade pelo especialista e *feedback* de manufatura pelo técnico (BOTTECCHIA et al., 2008).

Tomando como base esse cenário de comunicação remota entre especialista e técnico de campo, nas próximas seções será apresentado um modelo de sistema colaborativo de realidade aumentada de baixo custo. Este modelo integra o conjunto de resultados da proposta desta dissertação: a apresentação de um cenário de comunicação remota com Realidade Aumentada que tenha como principal característica o baixo custo.

Como prova de conceito, foi desenvolvido um protótipo que simula o cenário apresentado no modelo proposto, o qual será avaliado com a lista de heurísticas proposta nesta dissertação, pelos especialistas com formação em design e experiência em Engenharia de Usabilidade. Esta avaliação será fundamental para a validação tanto do modelo quanto da lista de heurísticas.

6.1 REQUISITOS DA PROPOSTA DO MODELO

Para que o modelo fosse proposto, de antemão, foi necessário levantar alguns requisitos básicos a serem seguidos, a saber:

- A comunicação entre técnico e especialista precisa ser simultânea que implica em colaboração remota síncrona;
- Para que seja preservada a característica do baixo custo, é preciso levar em consideração o tipo de equipamento utilizado na proposta do modelo, pois este é fator importante e implica diretamente no levantamento dos custos para colocar em prática um projeto. Atentar-se às técnicas de software que possam diminuir custos em processamento também é um fator importante.
- A arquitetura do modelo será baseada em Cliente/Servidor, mas a camada de comunicação não faz parte do escopo desta dissertação. Por isso, na apresentação do modelo não haverá detalhes ou análise aprofundada dos requisitos de rede, bem como o passo a passo para a transmissão da informação.

6.2 CENÁRIO DO MODELO PROPOSTO

Após o levantamento dos requisitos, o cenário da arquitetura do modelo proposto é apresentado na Figura 6.1. O cenário aponta seis passos fundamentais para que ocorra a comunicação baseada em Realidade Aumentada Colaborativa Remota e em tempo real. Além desses seis passos, que serão explicados posteriormente, tomando os requisitos da seção anterior e o cenário como um todo, as características fundamentais do modelo apresentado no cenário são:

- **Colaboração Remota Síncrona.** De acordo com o primeiro requisito da seção anterior, a comunicação entre especialista e técnico de campo precisa ocorrer em simultâneo, pois retrata uma situação em que a colaboração é mútua. Dessa forma, seria inviável a possibilidade de colaboração assíncrona.
- **A colaboração ocorre em tempo real.** Ao passo que o técnico vai capturando o vídeo da cena, o especialista recebe e insere as informações aumentadas que serão devolvidas ao técnico e visualizadas na cena que o técnico continua visualizando, ou seja, a colaboração está acontecendo em tempo real. Uma das vantagens com a colaboração em tempo real é que uma vez que haja diferentes opções de objetos virtuais para inserir na cena, é possível que o especialista maneje estes objetos de acordo com a demanda que vai surgindo na interação com o técnico, assim como é possível que o especialista oriente o técnico

durante a manutenção evitando possíveis danos aos equipamentos e acidentes indesejáveis.

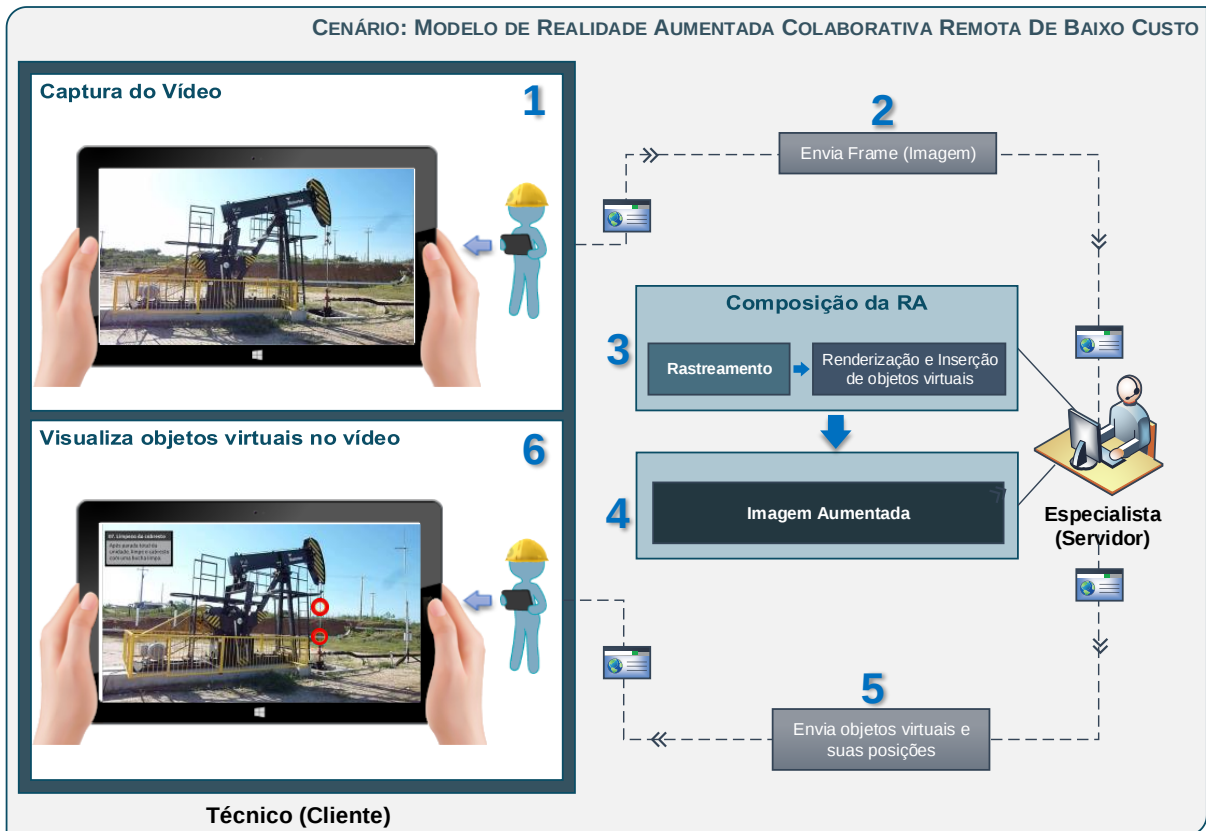


Figura 6.1: Cenário do Modelo de Realidade Aumentada Colaborativa Remota proposto.

- **Comunicação baseada em cliente/servidor relação de um para muitos.** No cenário, é possível observar que o cliente é representado pelo técnico de campo e o servidor pelo especialista. A relação é de um para muitos, pois, embora não esteja representado no cenário, caso seja necessário, é possível ter mais que um cliente conectado ao mesmo tempo ao servidor. Porém, ao passo que o modelo foi estruturado para operar com streaming de vídeo em tempo real, apenas um cliente terá a permissão para capturar a cena e enviar ao servidor. Os demais clientes conectados terão permissão apenas para receber e assistir o vídeo que está sendo capturado em conjunto com as interações baseadas em RA que estão sendo recebidas do servidor.
- **O modelo foi projetado para hardware de baixo custo.** A principal característica do modelo proposto é que ele seja de baixo custo, por isso foi projetado para utilizar equipamentos simples que já fazem parte do cotidiano do usuário. Muitas aplicações de realidade aumentada usam dispositivos especiais como os

capacetes HMDs (do inglês *Head Mounted Displays*), mas para este modelo, embora possa acarretar em algumas limitações, é indicado que o cliente use apenas um tablet e o servidor pode ser um notebook ou um desktop simples.

Tendo apresentado as características fundamentais do modelo, como pode ser visto no cenário da Figura 6.1, são indicados seis passos fundamentais para que a colaboração remota baseada em Realidade Aumentada seja possível. Estes passos estarão ocorrendo em sequência enquanto o sistema estiver em uso. A exceção é o passo 3 que será facultado ao especialista se desejar inserir novos objetos virtuais na cena, ou não. Uma explicação sucinta e geral do que ocorre em cada passo estão a seguir:

PASSO 1 – Captura de Vídeo:

Uma vez estabelecida a conexão entre cliente e servidor, o sistema estará apto para iniciar com seu propósito, logo, o cliente, representado pelo técnico de campo, inicie a captura e o processo de *streaming* de vídeo com o servidor, representado pelo especialista. De acordo com o objetivo do modelo – ser de baixo custo – o técnico deverá portar um *tablet*, com tela de tamanho médio entre 10 e 12 polegadas no mínimo, para que a posterior visualização do vídeo aumentado não seja prejudicada. Os dispositivos móveis atuais já atingiram um bom patamar em avanço tecnológico, é comum que a câmera acoplada a eles possua boa configuração de resolução, algumas como é o caso do tablet Microsoft Surface Pro, o qual foi utilizado no protótipo que será apresentado mais adiante, possui câmera com resolução HD de 720p. Sendo assim, a câmera a ser utilizada pode ser a do próprio tablet em uso ou, também, pode-se optar pelo uso de uma webcam comum com resolução HD.

PASSO 2 – Envio do Frame:

De maneira sucinta, os vídeos são compostos por uma sequência de imagens, conhecidas como *frames* ou em tradução livre por quadros, capturadas de acordo com um intervalo de tempo específico – o *frame rate* – e exibidas de modo a mostrar a cena em movimento. Por isso o segundo passo consiste pelo envio do *frame*, pois o processo de *streaming* de vídeo entre cliente-servidor ocorre por meio da transferência de cada *frame* que está sendo capturado pelo cliente. Neste

passo, para evitar sobrecarga na rede, e diminuir riscos com atrasos (*delay*), é recomendável que seja utilizada alguma técnica para compressão e descompressão de dados para o envio dos *frames*.

PASSO 3 – Composição da RA:

Esse passo está subdividido em outras duas etapas complementares: rastreamento e renderização e inserção dos objetos virtuais. Uma característica importante que um sistema colaborativo remoto de RA para inspeção e manutenção deve contemplar é a necessidade do conhecimento prévio da cena, tanto para que sejam usadas técnicas de rastreamento baseadas em modelo quanto, sobretudo, para que sejam estipulados os objetos virtuais a serem inseridos na cena. É o estabelecimento de objetos virtuais previamente configurados – como setas e opções de realce para locais da cena – que torna a aplicação flexível, permitindo ao especialista acionar e inserir estes objetos virtuais no vídeo compartilhado de acordo com o fluir das instruções dada ao técnico. Nesse contexto, é imprescindível que o objeto virtual inserido mantenha sua posição – papel do rastreamento – e sejam renderizados na cena em sua devida colocação. Uma observação, é que dado que cada *frame* é recebido individualmente, os métodos de rastreamento e renderização dos objetos virtuais são aplicados *frame a frame*.

PASSO 4 – Imagem Aumentada:

Este passo simplesmente consiste na exibição para o especialista do resultado de suas ações de inserção de objetos virtuais no vídeo, realizadas de acordo com o que foi explanado no passo anterior. É neste passo que se concretiza a Realidade Aumentada da aplicação.

PASSO 5 – Envio dos Objetos Virtuais:

A imagem aumentada resultante do passo anterior precisa, agora, ser compartilhada entre cliente-servidor. No entanto, por se tratar de um *streaming* de vídeo, o que precisa ser alterado do ponto de vista do técnico é a realidade aumentada criada pelo especialista. Sendo assim, nesse passo ocorre o envio

apenas dos objetos virtuais que foram inseridos na cena juntamente com os dados relativos ao seu local de posicionamento, extraídos do processo de rastreamento.

PASSO 6 – Visualização dos Objetos Virtuais no Vídeo:

Considerando que os objetos virtuais e suas posições foram recebidos pelo cliente, o sistema se encarregará de inseri-los para permitir ao técnico o acesso a esta informação. Neste momento, técnico e especialista passam a compartilhar a mesma visão aumentada da cena.

6.3 ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso foi desenvolvido um protótipo com a finalidade de simular o cenário de manutenção assistida por RA colaborativa remota como proposto no modelo. Este protótipo será apresentado como prova de conceito do modelo, porém não contemplará algumas características presentes no cenário do modelo, como por exemplo: tempo real e também não oferece opções de inserção de objetos virtuais à cena pelo especialista.

Nesse sentido, o protótipo foi desenvolvido para simular uma situação de colaboração remota em que um especialista enviará um fluxo de vídeo a um técnico em campo com alguns passos com instruções, em RA, de manutenção inseridos ao vídeo já previamente configurados. O vídeo utilizado é uma gravação de uma Unidade de Bombeamento Mecânico (UBM) para petróleo conhecida como Cavalo de Pau. Os passos previamente configurados pelo protótipo são em um total de dez, relacionados à inspeção e manutenção relativas à verificação de vazamento de óleo em determinados pontos do equipamento.

Como no protótipo o fluxo de vídeo é enviado ao técnico pelo especialista, as principais interações referentes à navegação entre os passos previamente configurados disponíveis e também a opção de pausar o vídeo a qualquer momento estarão sob o poder do servidor. A interação permitida ao cliente (o técnico) é a opção de apontamento, que consiste em uma indicação feita sobre um ponto qualquer do vídeo, representada por um par de coordenadas (x,y) que é enviada ao servidor e processada na visualização do especialista através de um círculo azul. A Figura 6.2 traz um exemplo da operação de apontamento realizada no protótipo.



Figura 6.2: Interação de apontamento do protótipo desenvolvido.

Cada um entre os 10 passos disponíveis no protótipo, possui um padrão de exibição: haverá um bloco na parte superior esquerda do vídeo com uma explicação prévia e breve da tarefa a ser realizada e um círculo 2D vermelho inserido automaticamente para fazer o papel de indicador, ou seja, irá destacar o local exato no equipamento onde a inspeção indicada naquele passo irá ocorrer. A comunicação de voz, peça fundamental em cenários colaborativos como o tratado aqui, também está disponível no protótipo e, nesse caso, estarão disponíveis em ambos os lados, tanto cliente quanto servidor, botões que permitem iniciar e finalizar uma chamada de voz. A Figura 6.3 opera como um exemplo da interface do protótipo, nela está destacado o comportamento das principais funcionalidades na interface do protótipo.



Figura 6.3: Exemplo de interface do protótipo com destaque para suas funcionalidades.

Em resumo, a arquitetura do protótipo desenvolvido está ilustrada pela Figura 6.4 e essencialmente é constituída por cinco estágios. No estágio inicial, o protótipo é iniciado pelo servidor, representado pelo especialista, que passa a esperar que o cliente, o técnico em campo, se conecte a ele. Uma vez estabelecida a conexão, ambos, técnico e especialista passam a compartilhar a mesma visualização (estágio 3). A permissão de alterar passos e pausar a visualização do vídeo é delegada apenas ao servidor (estágio 2). O cliente pode executar a operação de apontamento a qualquer momento (estágio 4). E por fim, a comunicação de voz pode ser iniciada ou finalizada a qualquer instante a desejo tanto do servidor quanto do cliente (estágio 5).

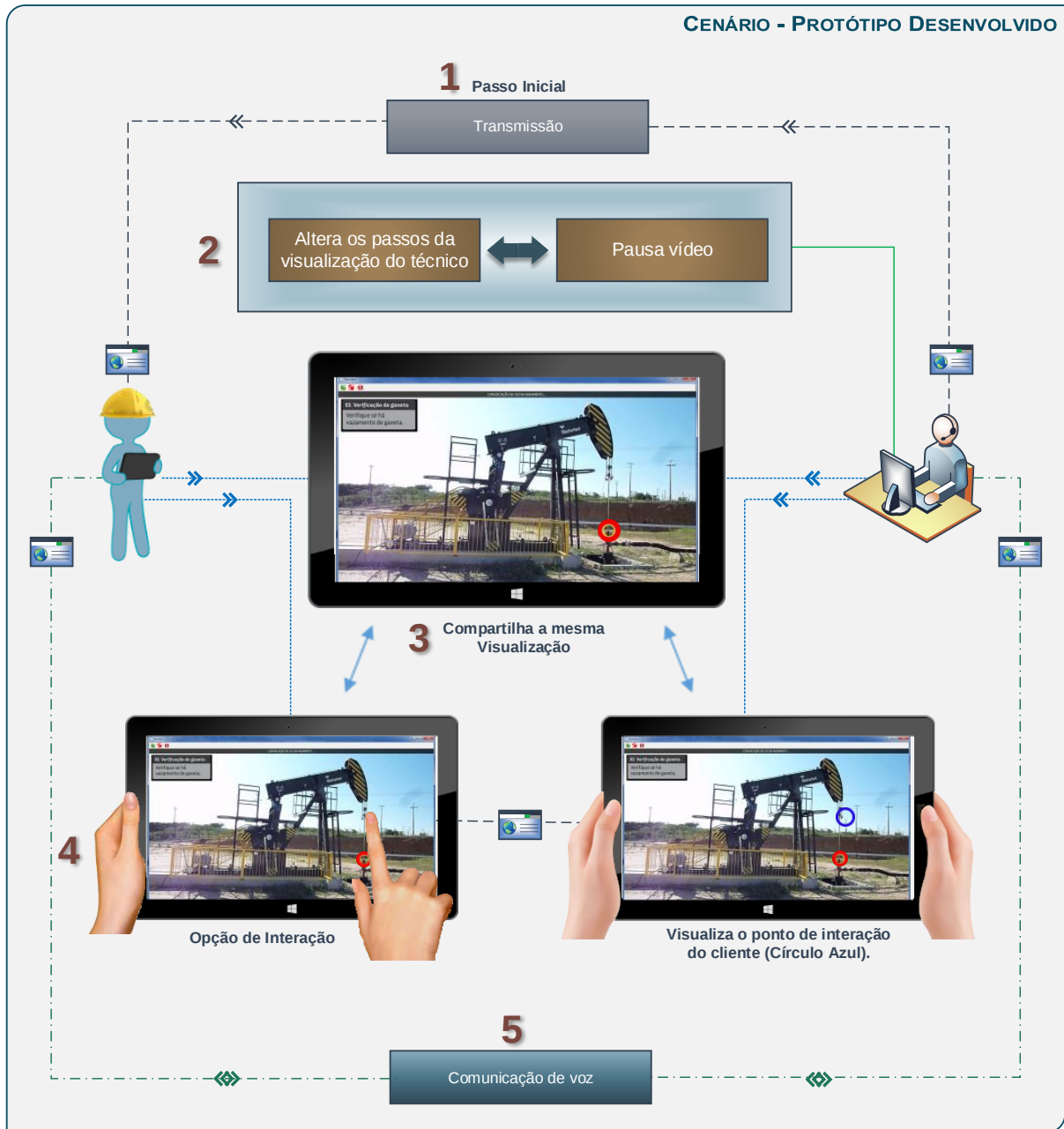


Figura 6.4: Arquitetura do Protótipo desenvolvido.

Tendo sido apresentados os aspectos funcionais do protótipo, resta ainda, descrever as principais características técnicas relativas à sua implementação. A linguagem de programação utilizada foi C/C++ e a plataforma de desenvolvimento foi a Microsoft Visual Studio 2010. A conexão entre cliente e servidor opera em rede local e se baseia em socket TCP/IP, a qual, por sua vez, será responsável pelo streaming do vídeo e envio das coordenadas da interação de apontamento realizada pelo cliente.

O vídeo utilizado foi gravado em HD com resolução de 1280x720 e para as operações relativas à leitura desse vídeo e inserção de elementos 2D de Realidade Aumentada foi utilizada a biblioteca de visão computacional OpenCV versão 2.4.9. Desse modo, para o processo da inserção da RA no vídeo foram utilizados métodos específicos presente no OpenCV que, essencialmente, executam as mesmas ações descritas nos passos 4 e 5 da seção 6.2: extrai *frame* a *frame* do vídeo e aplica o devido processamento para gerar o ambiente aumentado. Com a RA inserida ao *frame*, este é compactado e transmitido ao cliente. O cliente fará recepção desse *frame* compactado, em seguida, irá descompactá-lo e enviar os métodos da OpenCV que irão se encarregar pela operação de exibição.

Para a transmissão de voz foi utilizado o módulo RakVoice da ferramenta de comunicação em rede RakNet (RAKNET, 2014). O RakVoice (2014) oferece todo o suporte para comunicação de voz em tempo real com um custo aproximado de 2200 *bytes* por segundo em 8000 amostras de 16 bits por segundo.

Os equipamentos de hardware utilizados para executar o lado do cliente foi o tablet Microsoft Surface Pro com Windows 8 e com processador Intel Core i5-3317U Dual Core, memória RAM de 4GB e placa gráfica Intel HD Graphics 4000. Já para o servidor foi utilizado um computador desktop com Windows 7, processador Intel Core i3 e memória RAM de 4GB. Também foram realizados testes com o lado do servidor operando em um notebook com Windows 8, processador Intel Core i5 e memória RAM de 4GB.

6.4 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

Com o intuito de realizar uma validação preliminar, a lista de heurísticas de usabilidade para Sistemas Colaborativos Remotos de Realidade Aumentada resultante no capítulo anterior, foi conduzida uma avaliação pelos cinco especialistas que analisaram esta lista. O *feedback* da avaliação heurística dos especialistas também foi realizado a partir de um *focus Group*, onde foram pontuados os problemas encontrados no protótipo.

Os maiores problemas reportados foram identificados a partir da heurística H4-*feedback* e status de interação, os quais foram os seguintes:

- A comunicação de voz não oferece *feedback* sobre quem fala;
- Não há *feedback* na operação de *play/pause* do vídeo aumentado compartilhado;

- Na ação de apontamento, apenas o colaborador remoto recebe a comunicação visual do apontamento, mas esta deveria ocorrer em ambos os lados, ou seja, não há indicação visual se o apontamento está realmente acontecendo como deveria ou não por parte do usuário que aponta;
- Não há *feedback* visual quando ocorre a oclusão da área que o círculo virtual destaca para que a operação de inspeção/manutenção ocorra naquele local.
- Inexistência de *feedback* (visual ou sonoro) quando ocorre a mudança do passo e a área de realce do círculo virtual é alterada, o que torna difícil a percepção do usuário quanto a esta modificação, pois os locais de destaque são próximos.

Os especialistas indicaram também, a partir da heurística flexibilidade de interação, que deveria haver opções de aproximação da área indicada para manutenção - zoom; que também houvesse válvula de escape em caso do equipamento ser barulhento e prejudicar a comunicação de voz, ou seja, embora pudesse prejudicar o desempenho do usuário no ambiente aumentado, a opção de comunicação via texto pode ser uma alternativa.

Com relação à heurística experiência sensorial, os especialistas também indicaram que o objeto virtual deveria ser mais condizente com o local que aponta, e reconhecer quando seu ponto de interesse está ocluído, pois na atual versão, este continua na cena apontando na direção do local de foco, mesmo se este local estiver ocluído.

O protótipo usa o tablet Microsoft Surface Pro, e este tablet é pesado, vindo a causar desconforto depois de um período longo de uso, neste caso, este relato está diretamente ligado à primeira heurística: dispositivos de interação.

6.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Para um resultado significativo, o ideal é que a usabilidade seja avaliada durante todas as etapas do ciclo de desenvolvimento de uma interface. Por isso, os métodos de inspeção de usabilidade são importantes, pois a principal característica deles é serem voltados para especialistas, seria inviável trabalhar com usuários finais com protótipos inacabados. Além de ter um grau de abstração maior, o especialista consegue visualizar previamente problemas de usabilidade que podem vir a surgir, e indicar correções, bem como prever possíveis falhas que seriam caras para alterar ao final do projeto. Outro fator, é que os métodos de inspeção

são recomendáveis quando o nicho do usuário final é de difícil acesso, e os especialistas também podem abstrair certas preferências de usuários.

Por isso, neste capítulo, além de ter sido apresentado o objetivo secundário desta dissertação através do detalhamento das características do modelo proposto, também foi apresentado um protótipo desenvolvido como prova de conceito do modelo. Esse protótipo foi avaliado com a lista de heurísticas proposta no capítulo anterior. Como não há um meio específico para se conduzir o método de avaliação heurística e para gerar resultados desta avaliação, talvez pelo fato de este ser de natureza informal e subjetiva, o resultado da avaliação do protótipo foi obtido também através de um *focus group*. Nesse contexto, este resultado alcançado mostrou que impacta diretamente nas decisões posteriores relativas à usabilidade do protótipo, uma vez que o refinamento de sua interface até se tornar apta para o usuário final se baseará nestes resultados; e que a utilização de uma lista de heurísticas específicas para suas características permite reportes de usabilidade também específicos à seu contexto, por isso, reforçando, é importante o uso de listas específicas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Com o intuito de contribuir com a atual demanda por pesquisas que investigam avaliação de usabilidade voltada para Realidade Aumentada, esta dissertação teve como objetivo principal a proposta de adaptação e formação de uma lista de heurísticas de usabilidade específica para atender sistemas colaborativos remotos de Realidade Aumentada. Para que este objetivo fosse alcançado, numa etapa inicial, os estudos foram direcionados para Design de Interação e Engenharia de Usabilidade, com a apresentação dos principais métodos utilizados para avaliar usabilidade de uma interface juntamente com seus principais benefícios, desvantagens e requisitos para aplicação. A partir do estudo generalizado da engenharia de usabilidade foi levantado o estado da arte das pesquisas em usabilidade direcionadas para RA. Esta pesquisa mostrou a necessidade por contribuições e também apresentou que estudos analíticos ainda foram muito pouco explorados dentro da RA, diante deste contexto a escolha pelo método de avaliação heurística foi proposta por esta dissertação.

A opção pelos sistemas colaborativos remotos de RA para serem avaliados no contexto da lista de heurística levou esta dissertação a um segundo objetivo: propor uma arquitetura para um modelo de sistema colaborativo remoto de Realidade Aumentada de Baixo Custo. Consequentemente, a fim de entender mais sobre a RA e sua vertente colaborativa – tanto para que a lista de heurística atendesse o quanto fosse possível às suas características, quanto para que o modelo pudesse ser proposto – foi realizado também um estudo sobre as principais características da RA e sobre sua aplicação em colaboração de maneira geral. Posteriormente foi especificada para a vertente remota voltada para o suporte às atividades do meio industrial, mais especificamente, de inspeção e manutenção assistida.

A partir do modelo proposto foi desenvolvido, como prova de conceito, um protótipo que simula um cenário simples de colaboração remota baseada em RA para manutenção e inspeção assistida, com o cenário de uso aplicado a uma Unidade de Bombeamento Mecânico (UBM) para petróleo conhecida como Cavalo de Pau. Este protótipo foi avaliado por cinco especialistas com a lista de heurística proposta, e o resultado da avaliação apresentou problemas específicos de usabilidade de RA colaborativa.

Durante todo o processo de pesquisa e tarefas para que os objetivos desta dissertação fossem concretizados, foi preciso enfrentar algumas dificuldades e buscar meios para superar as barreiras que apareceram no caminho. Nesse sentido, a próxima seção irá relatar algumas dificuldades enfrentadas. Após as dificuldades, vêm as principais contribuições e uma última seção com trabalhos futuros.

7.1 DIFICULDADES

Como visto nesta dissertação, as pesquisas que reportam usabilidade em sistemas de RA ainda estão em fase embrionária, e o pouco que se tem ainda está em grande parte direcionada para estudos empíricos de avaliação de usabilidade. Sendo assim, a principal dificuldade, podendo até mesmo ser chamada de desafio, enfrentada foi partir para a proposta de um método analítico para avaliação de usabilidade de sistemas colaborativos remotos de RA. Ao deparar com esta dificuldade, foi preciso buscar caminhos alternativos, um deles foi agregar os conhecimentos existentes em áreas similares e complementares.

Durante a proposta do modelo houveram também algumas dificuldades, porém em menor grau que a anterior, relativas ao processo de levantamento de requisitos e de algumas questões de desenvolvimento durante a implementação do protótipo.

7.2 CONTRIBUIÇÕES

A lista de heurística proposta, além de ser o objetivo principal, também foi a principal contribuição desta dissertação para diversos pontos de pesquisa ainda em aberto, tais como:

- Com a demanda por estudos com avaliação de usabilidade direcionados para atender a tecnologia de Realidade Aumentada;
- Com um método analítico de avaliação de usabilidade para área de Realidade Aumentada – as poucas pesquisas que se tem são, em grande parte, com métodos empíricos de usabilidade e os analíticos ainda possuem um nível de exploração incipiente dentro da área de RA, como foi observado nos estudos do estado da arte de avaliação de usabilidade de sistemas de RA realizado nesta dissertação;

- Com um método de avaliação de usabilidade analítico de baixo custo (quando comparado aos outros de sua categoria) e rápido, para avaliar sistemas colaborativos remotos de Realidade Aumentada.

Além disso, o processo de elaboração da lista de heurísticas através de uma metodologia formal composta por etapas bem definidas pode auxiliar outros pesquisadores a estabelecer a prática de adaptações de heurísticas para cenários específicos. Seguindo assim o paradigma de que o método de avaliação de usabilidade deve ser adaptado para cada contexto específico. A lista de heurísticas resultante se mostrou concisa de forma a facilitar seu entendimento e consequentemente sua aplicação pelos especialistas em usabilidade.

A arquitetura do modelo proposto contribui por ser um cenário descrevendo as principais necessidades e requisitos para desenvolver um sistema colaborativo remoto de RA de baixo custo, como ferramenta de suporte à comunicação remota entre especialista e técnico durante operações de inspeção e manutenção de equipamentos industriais.

7.3 TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação ainda possui uma série de melhorias que podem ser realizadas para que as contribuições sejam ampliadas. A primeira delas seria validar a lista de heurísticas, proposta nesta dissertação, em outros sistemas colaborativos remotos de RA, e analisar os tipos de problemas que podem ser reportados a partir delas.

Com relação ao modelo de arquitetura proposto, seria interessante o desenvolvimento de uma prova de conceito mais elaborada e fiel, ou seja, que represente todas as funcionalidades do modelo, oferecendo principalmente a interação em tempo real e opções de RA para o especialista utilizar dinamicamente de acordo com a demanda da assistência solicitada pelo técnico em campo.

A avaliação heurística realizada no protótipo desenvolvido reportou vários problemas de usabilidade (seção 6.4 do Capítulo 6). Assim, outro trabalho futuro é corrigir estes problemas e tornar o protótipo mais robusto.

REFERÊNCIAS

ADHANI, Nur I., RAMBLI, Dayang R. A. A Survey of Mobile Augmented Reality Applications. **1st International Conference on Future Trends in Computing and Communication Technologies**, 2012.

ALEM, L., TECCHIA, F., HUANG, W. ReMoTe: A tele-assistance system for maintenance operators in mines. **Proceedings of 11th Underground Coal Operators Conference (COAL2011)**. Wollongong University, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9241-11: Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores**. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2002.

AZUMA, R. Survey of Augmented Reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355-385, August 1997.

AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S.; e MACINTYRE, B. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n.6, p. 34-47, November/December 2001.

BAI, Zhen; BLACKWELL, Alan F. Analytic Review of Usability Evaluation in ISMAR. **Interaction with Computers**, v. 21, Issue 6, p. 439-498, November, 2012.

BAKER, K., GREENBERG, S., GUTWIN, C. Empirical development of a heuristic evaluation methodology for shared workspace groupware. **Proceedings of CSCW'02** New Orleans, ACM press, USA, pp. 96–105, 2002.

BARBOSA, Simone D. J.; SILVA, Bruno S. **Interação Humano Computador**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. ISBN: 978-85-352-3418-3.

BASU, Sumit; ESSA, Irfan; PENTLAND, Alex. Motion regularization for model-based head tracking, **Proceedings ICPR**, pp. 611-616, 1996.

BAUER, Martin; KORTUEM, Gerd; SEGALL, Zary. "Where are you pointing at?" A study of remote collaboration in a wearable videoconference system. **Presented at Wearable Computers, 1999**. Digest of Papers. The Third International Symposium on, 1999.

BAUSET, V.F.; ORDUNA, J.M.; MORILLO, P.; , Performance Characterization on Mobile Phones for Collaborative Augmented Reality (CAR) Applications, **Distributed Simulation and**

Real Time Applications (DS-RT), 2011 IEEE/ACM 15th International Symposium on , vol., no., pp.52-53, 4-7 Sept. 2011. doi: 10.1109/DS-RT.2011.26.

BENBELKACEM, S., ZENATI-HENDA, N., ZERARGA, F., BELLARBI, A., BELHOCINE, M., MALEK, S., TADJINE, M. Augmented Reality Platform for Collaborative E-Maintenance Systems, **Augmented Reality - Some Emerging Application Areas**, Dr. Andrew Yeh Ching Nee (Ed.), 2011, ISBN: 978-953-307-422-1, InTech, DOI: 10.5772/25868.

BILLINGHURST, M.; KATO, H. Collaborative Augmented Reality. **Communications of the ACM**, 2002. 64-70.

BILLINGHURST, M.; WEGHORST, S.; FURNESS, T. III, Wearable computers for three dimensional CSCW. **Wearable Computers**, 1997. Digest of Papers., First International Symposium on, 1997.

BOTTECCHIA, S., CIEUTAT, J-M., MERLO, C., JESSEL, J-P.. A new AR interaction paradigm for collaborative TeleAssistance system: The P.O.A. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, N°2, 2008.

BOTTECCHIA, S., CIEUTAT, J-M., JESSEL, J-P. T.A.C: Augmented Reality System for Collaborative Tele-Assistance in the Field of Maintenance through Internet. **Augmented Human (AH'2010)**, Megève, France, 2010.

CARMIGNIANI, Julie; FURHT; Borko. Augmented Reality: An Overview. In: FURHT, B. (ed.): **Handbook of Augmented Reality**. Springer, p. 3-46, New York, 2011.

CARROL, J. M.; ROSSON, M. B. The paradox of the active user. In: Carrol, J. M. (ed.) **Interfacing Thought: Cognitive Aspects of Human-Computer Interaction**. Cambridge: Bradford Books/MIT Press, 1987.

CHASTINE, Jeffrey; NAGEL, Kristine; ZHU, Ying; YEARSOVICH, Luca. Understanding the design space of referencing in collaborative augmented reality environments. **Proceedings of Graphics Interface 2007**. Montreal, Canada: ACM, 2007.

COSTA, A. M. N., PIMENTEL, M. Sistemas colaborativos para uma nova sociedade e um novo ser humano. In: PIMENTEL, Mariano; FUKS, Hugo (organizadores). **Sistemas Colaborativos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. ISBN: 978-85-352-4669-8.

DEDE, Chris; SALZMAN, Marilyn C.; LOFTIN, R. Bowen. ScienceSpace: Virtual Realities for Learning Complex and Abstract Scientific Concepts. **Proceedings of IEEE VRAIS '96**, pages 246-252, 1996.

DUMAS, J. S.; FOX, J. E. Usability Testing: Current Practice and Future Directions. In: SEARS, A.; JACKO, J. A. **The Human Computer Interaction Handbook - Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications**. 2. ed. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 2008. Cap. 57, p. 1129-1149.

DÜNSER, Andreas; BILLINGHURST, Mark. Evaluating Augmented Reality Systems. In: FURHT, B. (ed.): **Handbook of Augmented Reality**. Springer, p. 289-308, New York, 2011.

DÜNSER, A.; GRASSET, R.; BILLINGHURST, M. A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies. **ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses**, Singapore, 2008.

DÜNSER, A., GRASSET, R., SEICHTER, H., BILLINGHURST, M. **Applying HCI principles to AR system design**, Charlotte, NC, USA, 2007.

ELLIS, C. A.; GIBBS, S. J.; REINN, G. Groupware: some issues and experiences. **Communications on the ACM**. v. 34, n. 1, p. 39-58, jan. 1991 pag 40.

EMERENCIANO, T. F., TENORIO, L. V., MOURA, G. S., TEIXEIRA, J. M., KELNER, J., PATRIOTA, I. A protocol for visual cues in collaborative augmented reality applications, **Virtual and Augmented Reality (SVR)**, 2012 14th Symposium on , vol., no., pp.84-90, 28-31 May 2012, doi: 10.1109/SVR.2012.26.

FERNANDEZ, V.; ORDUNA, J.M.; MORILLO, P.; , On the Characterization of CAR Systems Based on Mobile Computing. **High Performance Computing and Communication & 2012 IEEE 9th International Conference on Embedded Software and Systems (HPCC-ICSS)**, 2012 IEEE 14th International Conference on , vol., no., pp.1205-1210, 25-27 June 2012, doi: 10.1109/HPCC.2012.177.

FISHER, G. Supporting learning on demand with design environments. **Proceedings of the International Conference on Learning Sciences**. Evanston, IL, August. P. 165-172, 1991.

GABBARD, Joseph L.; SWAN II, J. Edward; HIX, Deborah; LANZAGORTAC, Marco; LIVINGSTON, Mark; BROWN, Dennis; JULIER, Simon. Usability Engineering: Domain Analysis Activities for Augmented Reality Systems, **Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems Conference**, vol. 4660, pp. 445-457, Jan. 2002.

GANAPATHY, S. Design Guidelines for Mobile Augmented Reality: User Experience. In: HUANG, W. ; ALEM, L.; LIVINGSTON, M. A. **Human Factors in Augmented Reality Environments**. New York: Springer, 2013. Cap. 7, p. 165-180.

GREEN, S. A.; BILLINGHURST, M.; CHEN, X.; CHASE, J. G. Evaluating the Augmented Reality Human-Robot Collaboration System. **15h International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice**, IEEE Computer Press, 2008a, pp. 548-553.

GRUDIN, J. The Computer Reaches Out: The Historical Continuity Of Interface Design. **CHI '90 Proceedings**, April 1990. 261-268.

GRUDIN, J. Computer-supported cooperative work: history and focus, **Computer**, vol.27, no.5, pp.19-26, May 1994, doi: 10.1109/2.291294.

HENRYSSON, A.; BILLINGHURST, M.; OLLILA, M. Face to face collaborative AR on mobile phones. Presented at Mixed and Augmented Reality, 2005. **Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on**, 2005.

HOLZER, Stefan;HINTERSTOISSER, Stefan; ILIC, Slobodan; NAVAB, Nassir. Distance Transform Templates for Object Detection and Pose Estimation. **Proceedings CVPR**, p. 1177 – 1184, 2009.

ISAACS, Ellen, WALENDOWSKI, Alan. **Designing from both sides of the screen: how designers and engineers can collaborate to build cooperative technology**. Indianapolis: New Riders, 2002.

JOHNSON-LENZ, P., JOHNSON-LENZ, T., Groupware: Coining and Defining. **ACM SIGGROUP Bulletin**, August, 19, 2, (1998), p. 34.

JURIE, Frédéric; DHOME, Michel. A simple and efficient template matching algorithm, **Proceedings ICCV**, pp. 544-549, 2001.

KATO, Hirokazu; BILLINGHURST, Mark; POUPYREV, Ivan; IMAMOTO, Kenji; TACHIBANA, Keihachiro. Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment. **International Symposium on Augmented Reality**, pages 111-119, 2000.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e Tendências de Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. In: RIBEIRO, M. W. S.; ZORZAL, E. R. **Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências**. 1. ed. Porto Alegre: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, v. 1, 2011. Cap. 1, p. 10-25.

KIRNER, C., ZORZAL, E., **Aplicações Educacionais em Ambientes Colaborativos com Realidade Aumentada**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. 2005, v. 1, n. 1, p. 114.

KIYOKAWA, K. Human Communication in Collaborative Augmented Reality Systems. In: HALLER, M.; BILLINGHURST, M.; THOMAS, B. **Emerging Technologies of Augmented Reality Interfaces and Design**. [S.l.]: Idea Group Publishing, 2007. Cap. 7, p. 236-260.

KIYOKAWA, K; BILLINGHURST, M.; HAYES; S. E.; GUPTA, A.; SANNOHE, Y.; KATO, H. Communication Behaviors of Co-Located Users in Collaborative AR Interfaces. In

Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality: IEEE Computer Society, 2002.

KLEIN, Georg; MURRAY, David. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces. In Proc. **Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07)**. Nara, Japan, November 2007.

KOSTARAS, N.; XENOS, M. Usability evaluation of Augmented Reality Systems. **Intelligent Decision Technologies - Special issue on Multimedia/Multimodal Human-Computer Interaction in Knowledge-based Environments**, Amsterdam, v. 6, n. 2, p. 139-149, June 2012.

LEWIS, C.; POLSON, P.; WHARTON, C.; RIEMAN, J. Testing a walkthrough methodology for theory-based design of walk-up-and-use interfaces. **Proceedings ACM CHI'90 Conference**, Seattle, WA, April 1-5, 1990, p. 235-242.

LIMA, João P.; SIMÕES, Francisco; FIGUEIREDO, Lucas; KELNER, Judith. Model Based Markerless 3D Tracking Applied to Augmented Reality. **SBC Journal in 3D Interactive Systems**, v. 1, p. 2-15, 2010.

MANKOFF, Jennifer; DEY, Anind K.; HSIEH, Gary; KIENTZ, Julie; AMES, Morgan; LEDERER, Scott. Heuristic evaluation of ambient displays. **Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM Press, New York, NY, pp. 169-176, 2003.

MILGRAN, P.; KISHINO, A. F. Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. **IEICE Transactions on Information and Systems**, 1994. 1321-1339.

MOLICH, R.; NIELSEN, J. Improving a human-computer dialogue. **Communications of the ACM 33**, March 1990. 338-348.

NETO, Severino P. G.; BUENO, Márcio A. S.; FATIAS, Thiago S. M. C.; LIMA, João Paulo S. M.; TEICHRIEB, Verônica; KELNER, Judith; SANTOS, Ismel H. F. Experiences on the Implementation of a 3D Reconstruction Pipeline. **International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry**, v.2, p.7-15. 2008.

NEWCOMBE, Richard A.; ANDREW, Davison J. Live Dense Reconstruction with a Single Moving Camera Davison, **CVPR**, 2010.

NIELSEN, Jakob. Usability engineering at a discount. In: Salvendy, G., Smith, M. J. (eds.). **Designing and Using Human-Computer Interfaces and Knowledge Based Systems**. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, p. 394-401, 1989.

NIELSEN, Jakob. Paper versus computer implementations as mockup scenarios for heuristic evaluation. **Proc. IFIP INTERACT90 Third Intl. Conf. Human-Computer Interaction**, Cambridge, U.K., August 27-31, p. 315-320, 1990.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. 1. ed. San Diego: Morgan Kaufmann, 1993.

NIELSEN, Jakob. Heuristic Evaluation. In: NIELSEN, J.; MACK, R. L. **Usability Inspections Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1994a.

NIELSEN, Jakob. Usability inspection methods. **Proceeding CHI '94 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems**, Boston-Massachusetts, April 1994b. 413-414. doi: 10.1145/259963.260531.

NIELSEN, Jakob. Enhancing the explanatory power of usability heuristics. **Proc. ACM CHI'94 Conf.**, Boston, MA, April 24-28, p. 152-158, 1994c.

NIELSEN, Jakob. How To Conduct a Heuristic Evaluation. **Nielsen Norman Group**, 1995. Disponível em: <<http://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>>. Acesso em: 12 Novembro 2013.

NIELSEN, Jakob. Discount Usability: 20 Years. **Nielsen Norman Group**, 2009. Disponível em: <<http://www.nngroup.com/articles/discount-usability-20-years/>>. Acesso em: 14 Novembro 2013.

NIELSEN, Jakob. Usability 101: Introduction to Usability. **Nielsen Norman Group**, 2012a. Disponível em: <<http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>>. Acesso em: 20 Outubro 2013.

NIELSEN, Jakob. Thinking Aloud: The #1 Usability Tool. **Nielsen Norman Group**, 2012b. Disponível em: <<http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>>. Acesso em: 18 Novembro 2013.

NIELSEN, J.; MACK, R. L. **Usability Inspections Methods**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

NORMAN, Donald A.. **Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things**. Basic Books, 2003.

PLATONOV, Juri; HEIBEL, Hauke; MEIER, Peter; GROLLMANN, Bert. A mobile markerless AR system for maintenance and repair. **Proceedings ISMAR**, pp. 105-108, 2006.

POLSON, P.; LEWIS, C.; RIEMAN, J.; WHARTON, C. Cognitive Walkthroughs: A method for theory-based evaluation of user interfaces. **International Journal of Man- Machine Studies**, 36:741-773, 1992.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Interaction Design: Beyond Human-Computer Human Interaction**. 1. ed. United States of America: Jonh Wileys & Sons, 2002.

QUESENBERRY, Whitney. Dimensions of Usability. In: **Content and Complexity: Information Design in Technical Communication**, M. Albers and B. Mazur, Eds., 2003.

RAKNET. **RakNet Site**. <<http://www.jenkinssoftware.com/>>. Acessado em: 07 Janeiro de 2014.

RIZZO, Albert A.; KIM, Gerard J.; YEH, Shih-Ching; THIEBAUX, Marcus; HWANG, Jayne; BUCKWALTER, J. Galen. Development of a Benchmarking Scenario for Testing 3D User Interface Devices and Interaction Methods. **11th International Conference on Human Computer Interaction**, Las Vegas, Nevada, pages, 2005.

ROCHA, Heloísa Vieira, BARANAUSKAS, Maria Cecília Calani. **Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador**, Campinas: NIED/UNICAMP, 244P, 2003.

RODDEN, T. A survey of CSCW systems. **Interacting with Computers**, 3(3), 1991 319-353.

ROSENBAUM, S.; ROHN, J.; HUMBURG, J. A toolkit for strategic usability: Results from workshops, panels, and surveys. **Proceedings of CHI 2000** (pp. 337–344). The Hague, Netherlands, 2000.

RUBIN, J. **Handbook of usability testing**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

SAFFER, Dan. **Design for Interaction: Creating Innovative Applications and Devices**. 2 ed. New Riders, 2010.

SANDOR, Christian; OLWAL, Alex; BELL, Blaine; FEINER, Steven. Immersive mixed-reality configuration of hybrid user interfaces. **ISMAR '05**, pp. 110–113, 2005.

SCHMALSTEIG, D., FUHRMANN, A., SZALAVARI, Z., GERVAUTZ, M., Studierstube - An Environment for Collaboration in Augmented Reality. **CVE '96 Workshop** Proceedings, 19-20th September 1996, Nottingham, Great Britain.

SHNEIDERMAN, Ben; PLAISANT, Catherine. **Designing the user interface**. Pearson/Addison-Wesley, 2005.

SKRYPNYK, Iryna; LOWE, David G. Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features, **Proceedings ISMAR**, pp. 110-119, 2004.

SUTCLIFFE, A.; GAULT, B. **Heuristic evaluation of virtual reality applications**. Interacting with Computers, vol. 16, pp. 831-849, 2004.

SUTCLIFFE, A.G., KAUR, K.D. Evaluating the usability of virtual reality user interfaces. **Behaviour and Information Technology** 19(6), 415–426, 2000.

SWAN, J. Edward; GABBARD, Joseph L. Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. **1st International Conference on Virtual Reality**, Las Vegas, Nevada, 2005.

TEICHRIEB, Verônica, LIMA, João P., APOLINÁRIO, Eduardo L., FARIAS, Thiago, BUENO, Márcio, KELNER, Judith; SANTOS, Ismael. A Survey of Online Monocular Markerless Augmented Reality, **International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry**, vol. 1, n. 1, p. 1-7, 2007.

VACCHETTI, L.; LEPETIT, V.; FUA, P. Stable real-time 3D tracking using online and offline information, **IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.**, vol. 26, n. 10, pp. 1385-1391, 2004.

VREDENBURG, Karel; MAO, Ji-Ye; SMITH, Paul; CAREY, Tom. A survey of user-centered design practice. **Proceedings of CHI 2002**, p. 471–478. ACM Press, 2002.

WALDNER, M.; HAUBER, J.; JÜRGEN, Z.; HALLER, M.; BILLINGHURST, M. Tangible tiles: design and evaluation of a tangible user interface in a collaborative tabletop setup. In **Proceedings of the 20th conference of the computer-human interaction special interest group (CHISIG)** of Australia on Computer-human interaction: design: activities, artefacts and environments. Sydney, Australia: ACM, 2006.

WHARTON, Cathleen; RIEMAN, John; LEWIS, Clayton; POLSON, Peter. The Cognitive Walkthrough Method: A Practitioner's Guide. In: NIELSEN, J.; MACK, R. L. **Usability Inspections Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

WIEDEMANN, Christian; ULRICH, Markus; STEGER, Carsten. Recognition and tracking of 3D objects, **Lect. Notes Comput. Sci.**, vol. 5096, pp. 132-141, 2008.

WUEST, Harald; VIAL, Florent; STRICKER, Didier. Adaptive line tracking with multiple hypotheses for augmented reality, **Proceedings ISMAR**, pp. 62-69, 2005.

ZHOU, Feng; DUH, Henry Been-Lirn; BILLINGHURST, Mark. **Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR**, 2008.