



JISTEM: Journal of Information Systems and  
Technology Management  
E-ISSN: 1807-1775  
tecsi@usp.br  
Universidade de São Paulo  
Brasil

Teixeira Nakamoto, Paula; Arantes Carrijo, Gilberto; Cardoso, Alexandre; de Oliveira Lima, Lázaro  
Vinícius; Lopes, Ederaldo José

**ESTRATÉGIA DE ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA AMBIENTES DE REALIDADE  
AUMENTADA**

JISTEM: Journal of Information Systems and Technology Management, vol. 9, núm. 3, septiembre-diciembre, 2012, pp. 607-625  
Universidade de São Paulo  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203224985009>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

## **ESTRATÉGIA DE ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA AMBIENTES DE REALIDADE AUMENTADA**

*REQUIREMENTS ANALYSIS STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF  
AUGMENTED REALITY ENVIRONMENTS*

**Paula Teixeira Nakamoto**

Federal Institute of the Triângulo Mineiro, Brazil

**Gilberto Arantes Carrijo**

**Alexandre Cardoso**

Federal University of Uberlândia, Brazil

**Lázaro Vinícius de Oliveira Lima**

Federal Institution of Education, Science and Technology of Brasília, Brazil

**Colaborator Ederaldo José Lopes**

Federal University of Uberlândia, Brazil

---

### **ABSTRACT**

Augmented Reality (AR) offers the advantage of enabling the use of tangible actions and multimodal operations, including voice, gestures, and touch, among others. Due to the its interface varieties of interfaces, the complexity in designing and using them is notably high. Therefore, this system's designers need to develop a user-focused project or else a lot of usability problems may arise. In order to solve these problems, AR environment designers need instructions, guidance and guidelines in order to help them develop a project. So far, AR project instructions, found in the related literature, are very limited, stemming from researchers' specific problems. This paper has the purpose of presenting an investigation that resulted in a Requirements Analysis Strategy for the development of AR environments. As a result of this strategy, guiding designers have at their disposal domain analysis

---

Manuscript first received/*Recebido em* 22/11/2010 Manuscript accepted/*Aprovado em:* 01/03/2012

Address for correspondence / *Endereço para correspondência*

*Paula Teixeira Nakamoto*, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Informática, End. Av. Edilson Lamartine Mendes, 300, Bairro Parque das Américas, 38045-000, Uberaba, MG. Tel.: (34) 33261100. Fax: (34)3326-1101. E-mail: [paula@iftm.edu.br](mailto:paula@iftm.edu.br)

*Gilberto Arantes Carrijo*, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, End. Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Monica, 38408-100, Uberlândia, MG. Tel.: (34) 32394165. Fax: (34) 3239-4704. E-mail: [gilberto@ufu.br](mailto:gilberto@ufu.br)

*Alexandre Cardoso*, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, End. Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Monica, 38408-100, Uberlândia, MG. Tel.: (34) 32394165. Fax: (34) 3239-4704. E-mail: [alexandre@ufu.br](mailto:alexandre@ufu.br)

*Lázaro Vinícius de Oliveira Lima*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília | Reitoria SGAN 610, Módulos D, E, F e G, Brasília/DF, CEP 70860-100. Fone/Fax: +55 (61) 3905-5454.E-mail: [lazaro.lima@ifb.edu.br](mailto:lazaro.lima@ifb.edu.br)

*Colaborador Ederaldo José Lopes*, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Psicologia, End. Av. Maranhão, s/nº, Bloco 2C, Sala 2C54, Campus Umuarama, 38408-100, Uberlândia, MG. Tel.: (34) 3218-2235. Fax: (34) 3218-2701.

activities and forms that help them analyze requirements and make decisions on how to proceed in the system's implementation. The strategy efficacy is verified by means of its application to a requirements specification meta model for the development of a system that helps in the treatment of arachnophobia.

**Keywords:** Augmented Reality, Requirements Analysis, Usability.

## **RESUMO**

A Realidade Aumentada (RA) apresenta a vantagem de permitir o uso de ações tangíveis e de operações multimodais, envolvendo voz, gestos, tato, etc. Devido a sua variedade de interfaces é notavelmente maior a complexidade em projetá-las e usá-las. Logo, os projetistas desses sistemas precisam desenvolver um projeto centrado no usuário, se não vários problemas de usabilidade poderão surgir. Para solucionar esse problema, os projetistas de ambientes em RA precisam de orientações, guias e diretrizes para auxiliá-los na construção do projeto. Até a data, guias de projeto para RA que podem ser encontrados na literatura são sugestões bastante estreitas, derivadas de problemas específicos dos pesquisadores. Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma investigação que resultou em uma Estratégia de Análise de Requisitos para construção de ambientes com RA. Como resultado dessa estratégia, estão disponíveis para os projetistas guias, atividades da análise do domínio e formulários que o auxiliam na análise de requisitos e na tomada de decisões de como proceder na implementação do sistema. A eficácia da estratégia é verificada com a sua aplicação a um meta-modelo de especificação de requisitos para a construção de um sistema para o auxílio do tratamento da Aracnofobia.

**Palavras Chaves:** Realidade Aumentada, Análise de Requisitos, Usabilidade

*Agradecimentos: Os autores agradecem à Fapemig pelo apoio relacionado com o projeto “TEC - APQ-02134-10” intitulado “Desenvolvimento de Artefatos de projeto e Implementação de sistema de Realidade Aumentada para Auxiliar o tratamento de fóbicos” e à Capes, pelo fomento de bolsa de Demanda Social, vinculada ao programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFU.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, uma proliferação de novas tecnologias vem surgindo para melhorar/ facilitar a assimilação das informações (Bastos, 2007; Schoenfelder and Schmalstieg, 2008; Laudon and Laudon, 2007). Uma dessas tecnologias é a Realidade Aumentada – RA- que pode ser definida, de um modo geral, com o enriquecimento do mundo real com objetos virtuais, textos, imagens, gráficos, sons, usando algum dispositivo tecnológico e funcionando em tempo real. A RA apresenta a vantagem de permitir o uso de ações tangíveis e de operações multimodais (Siscoutto and Costa, 2008). Esses sistemas podem ser usados tanto em plataformas sofisticadas quanto em plataformas populares e estão sendo utilizados em várias áreas como: ensino, reabilitação, psicologia, marketing, indústria, saúde e etc (Swan and Gabbard, 2005).

Apesar do aumento na utilização dos ambientes de RA, ainda há pouca pesquisa sobre desenvolvimento de orientações Interface Humano-Computador (IHC), guias de projeto ou apresentação de resultados formais de estudos sobre IHC e da usabilidade (Dünser et al., 2007).

A usabilidade é um dos quesitos mais importantes em uma interface, uma vez que o sucesso ou fracasso de um sistema dependerá de fatores como a facilidade de aprendizado do usuário no uso com a ferramenta, flexibilidade e robustez de sua interação (Dias, 2003; do Carmo et al., 2007). Ela deve ser trabalhada desde a criação do projeto, mas desenvolvedores, muitas vezes, não possuem recursos suficientes, tempo ou conhecimentos adequados para identificar as necessidades de usabilidade de todos os usuários potenciais (Pressman, 2006). Porém, essa consciência é parte importante do processo de desenvolvimento do software (Engenharia de Usabilidade (UE)) e exige mais estudo e atenção daqueles que desenvolvem os ambientes.

Quando analisadas várias atividades de projeto de software, verifica-se que elas geralmente são apoiadas por metáforas, guias ou padrões de Engenharia de Software/ Usabilidade tradicionais (Shneiderman and Plaisant, 2005). Para a construção de sistemas de RA, os projetistas encontram um problema, pois, na literatura, há somente sugestões bastante estreitas de guias de projeto, que são derivadas de problemas específicos dos pesquisadores (Dünser et al., 2007).

Gabbard and Swan (2008) citam que as tecnologias de RA apresentam um grande desafio, e, assim, oportunidade, no campo IHC e, especificamente, da UE que é desenvolver efetivas interfaces de usuário quando não têm estabelecido guias de projeto, heurísticas ou metáforas de interação ou são introduzidas novas formas dos usuários percebem e interagirem com a tecnologia e o mundo ao seu redor.

Como resultado, processos/estratégias são necessários para ajudar os projetistas de novas tecnologias, como RA, a criar e avaliar os projetos, ganhando um melhor entendimento dos efetivos parâmetros e determinando em que condições esses parâmetros devem ser aplicados (Goldiez et al., 2004). Sem esses processos, aplicações desenvolvidas usando a engenharia de usabilidade tradicional podem ou não melhorar a usabilidade do sistema, resultando em uma situação incerta (Amado, 2007).

Visando facilitar o desenvolvimento desses sistemas e aumentar a sua usabilidade, foi desenvolvida uma pesquisa multidisciplinar com especialistas da área de Realidade Aumentada, Engenharia de Software e Psicologia visando a criação de uma estratégia de análise de requisitos específica para construção de ambientes com a tecnologia de RA.

Logo, o objetivo geral deste trabalho é auxiliar os desenvolvedores e projetistas de interface de um sistema de RA, proporcionando-lhes a definição de uma metodologia que lhes dê suporte ao processo reativo e participativo de tomada de decisões sobre a construção de uma interface. Este processo é participativo porque permite a participação de usuários finais na especificação dos requisitos.

Os objetivos específicos relativos a este trabalho são:

- Propor, a partir de um estudo sobre o estado da arte, uma estratégia de análise de requisitos que visa estudar o usuário, através da psicologia cognitiva aplicada;
- Elaborar uma arquitetura de engenharia de usabilidade modificada para integrar estas estratégias;
- Criar um conjunto de atividades que ajudarão/guiarão os desenvolvedores nessa análise de requisitos;

- Avaliar essa estratégia com um estudo de caso que visa estudar os requisitos necessários para a construção de ferramentas usadas para o tratamento terapêutico.

Para atingir tal objetivo as seguintes metas foram definidas:

- Investigar as técnicas certificadas de engenharia de usabilidade;
- Pesquisar a psicologia cognitiva aplicada, focada na análise de tarefas;
- Pesquisar o estado da arte da engenharia de usabilidade em RA;
- Pesquisar os principais desafios encontrados em RA;
- Realizar um estudo de caso com a estratégia desenvolvida e analisar os resultados obtidos;

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na segunda seção, faz-se uma breve descrição sobre Realidade Aumenta descrevendo suas características e principais vantagens. A terceira seção conceitua psicologia cognitiva aplicada. A quarta seção apresenta alguns trabalhos relacionados apresentando seus benefícios e limitações. A quinta seção apresenta a metodologia de especificação de requisitos proposta. A sexta seção descreve o estudo de caso realizado para validar a metodologia apresentada e os resultados encontrados. Por fim, na sétima seção, encontram-se as conclusões da pesquisa.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é um caso particular das realidades mistas. Estas conjugam realidade com virtualidade, seja através da introdução de objetos reais no mundo virtual (virtualidade aumentada), seja adicionando objetos virtuais à realidade (realidade aumentada) como forma de complementar em lugar de substituir (Azuma, 1997). No entanto, na literatura, geralmente, encontra-se o termo realidade aumentada com o significado de realidade mista. A vantagem da RA é que ela é um sistema que aumenta a quantidade de informações disponíveis aos ambientes existentes, onde as informações carregadas pelos objetos virtuais ajudam um usuário a executar tarefas do mundo real (Swan and Gabbard, 2005).

Os sistemas de RA podem ser classificados conforme o tipo de display utilizado. As técnicas mais comuns são (Zorral, 2008; Tori, 2009):

- O sistema de visão ótica direta (*Optical see-through Head Mounted Displays* (HMD)) utiliza óculos ou capacetes com lentes que permitem o recebimento direto da imagem real, ao mesmo tempo em que possibilitam a projeção de imagens virtuais devidamente ajustadas com a cena real. Uma qualidade importante dessa técnica é possibilitar a visão direta do ambiente, sem intermediação tecnológica, garantindo maior segurança no caso de falha no dispositivo; outra característica é a maior sensação de presença no espaço real; há, contudo, diversas dificuldades técnicas nessa solução, com destaque para: registro entre virtual e real, não eliminação da visão de objetos que deveriam ser ocultados pelos objetos virtuais, grande discrepância entre qualidade de imagens reais e virtuais;

- O sistema de visão por vídeo baseado em monitor (*Monitor-Based Augmented Reality*) utiliza uma webcam (câmera de vídeo) para capturar a cena real. Depois de capturada, a cena real é misturada com os objetos virtuais gerados por computador e apresentada no monitor. Os objetos virtuais geralmente são gerados através dos marcadores fiduciais, possibilitando que o programador acrescente objetos virtuais sobre estes marcadores no mundo real;
- No sistema de visão direta por vídeo (*Video see-through HMD*) o usuário utiliza capacetes com duas ou mais microcâmeras de vídeo acopladas ao mesmo. As câmeras cumprem o papel de olhos do usuário. A cena real capturada pela microcâmera é misturada com os elementos virtuais gerados por computador e apresentada diretamente nos olhos do usuário, através de pequenos monitores montados no capacete. Essa técnica permite ao usuário caminhar normalmente pelo ambiente, mas havendo falhas no dispositivo de exibição, na precisão e qualidade da imagem, ou na captação da imagem, o usuário poderá perder a correta visualização do ambiente;
- O sistema de visão ótica por projeção (*Projector-Based Augmented Reality*) consiste em superfícies do ambiente real, onde são projetadas imagens dos objetos virtuais, cujo conjunto é apresentado ao usuário que o visualiza sem a necessidade de nenhum equipamento auxiliar. Embora interessante, esse sistema é muito restrito às condições do espaço real, em função da necessidade de superfícies de projeção.

### 1) Limitações dos Sistemas de Realidade Aumentada

Ainda não existe uma técnica ideal para a geração de informações virtuais sobrepostas ao ambiente real (Tori, 2009). Enquanto não se chega a um sistema de projeção tão perfeito que criaria objetos virtuais indistinguíveis dos reais, é muito importante selecionar a tecnologia mais adequada a cada situação e conhecer bem os usuários que utilizarão o sistema.

Para tanto, é necessário que se conheçam as qualidades, defeitos e limitações das diversas técnicas hoje utilizadas em RA. Tori (2009) descreve uma síntese das principais limitações. Essas limitações são descritas a seguir:

- Sistema de Visão de Ótica Direta: vantagens: não elimina a visão direta do ambiente real; em geral mais leve e menos volumoso que os capacetes utilizados em técnicas de visão direta de vídeo; desvantagens: campo de visão limitado; pouco brilho e contraste, dificultando uma integração visual adequada dos elementos virtuais com o ambiente real; dificuldade para oclusão de objetos reais pelos virtuais; dificuldade de registro entre elementos reais e virtuais;
- Sistema de Visão Direta por Vídeo: vantagens: permite oclusão dos objetos reais pelos virtuais; facilita a equalização de brilho, contraste, iluminação e resolução entre imagens reais e virtuais; facilita o registro entre elementos reais e virtuais; desvantagens: erros de paralaxe (devido a diferenças entre câmeras e olhos do usuário quanto à posição e determinados parâmetros ópticos); campo de visão limitado; não possibilita a visão direta do ambiente (em caso de falha na câmera ou nos óculos o usuário fica sem nenhuma visão);
- Sistema de Visão por Vídeo Baseado em Monitor: vantagens: além de possuir as mesmas vantagens de *video see-through* tem baixo custo (só precisa de uma

*webcam* e um monitor comum) e dispensa acoplagem de dispositivos ao corpo; desvantagens: não possibilita visão direta do ambiente; campo de visão limitado; mobilidade limitada;

## **Psicologia Cognitiva Aplicada**

A psicologia é a ciência que estuda o comportamento. Então qual é a diferença entre a ciência da psicologia e a psicologia cognitiva aplicada? Alguns trabalhos argumentam que não há diferença entre elas, pois o entendimento do comportamento é o foco da psicologia se esse comportamento ocorre dentro ou fora de um laboratório. Outra perspectiva sobre essas definições da psicologia básica e aplicada é que as teorias são desenvolvidas em base científicas esforçando-se e simplesmente colocando em ação a ciência aplicada.

O objetivo não é desenvolver teorias de comportamento e só então tentar aplicar essas teorias. Em vez disso, a ciência da psicologia aplicada fornece um espaço do problema dentro de princípios de comportamento que podem ser desenvolvidos. O comportamento em questão é, muitas vezes, complexo, influenciado por múltiplas variáveis e suscetíveis às influências do contexto, bem como às diferenças individuais. Tentar entender esse comportamento é a essência da psicologia aplicada (Durso et al., 2007).

Grande parte do comportamento humano envolve processos cognitivos, tais como percepção, atenção, memória, linguagem, raciocínio, tomada de decisão e resolução de problemas. Em consequência, a psicologia cognitiva pode ser aplicada em várias atividades da vida diária. Ela pode contribuir dentro de espaços de diferentes problemas e tem contribuído para o entendimento do comportamento humano. A psicologia cognitiva pode ser aplicada para descobrir habilidade, para análise de tarefas, para o entendimento da memória, etc (Durso et al., 2007).

Para o foco desta tese, a psicologia cognitiva aplicada será estudada para auxiliar a análise de tarefas pertinentes à construção de softwares de RA, através de instrumentos de avaliação do usuário.

Para entender o sistema e o ambiente, uma habilidade crítica para os psicólogos cognitivos é a capacidade de realizar uma exaustiva análise da tarefa. A análise da tarefa é uma classe geral de técnicas que podem fornecer uma análise pormenorizada das diferentes etapas de uma tarefa, bem como elas podem ser organizadas (Luczak, 1997). Os níveis de detalhe podem variar dependendo do método, mas uma análise da tarefa executada corretamente pode ser uma poderosa ferramenta para revelar as demandas físicas e cognitivas de um usuário no sistema e no ambiente.

## **3. TRABALHOS RELACIONADOS**

Para apoiar esse trabalho e identificar outros possíveis assuntos de interesse nesse campo, conduziu-se uma revisão de literatura, na qual vários artigos sobre RA foram pesquisados, mas poucos possuíam informações que ajudassem a identificar

processos que garantiam e aumentavam a usabilidade nos sistemas de RA (o desempenho humano ao utilizar esses sistemas). Esta seção apresenta alguns estudos direcionados à usabilidade para RA com o objetivo de avaliar o estado da arte nessa área, as metodologias criadas, os estudos realizados, as potencialidades, destacando suas vantagens, limitações e ressaltando a usabilidade dos ambientes de Realidade Aumentada.

### **1) Engenharia de Usabilidade: Atividades de Análise do Domínio para Sistemas de Realidade Aumentada**

Gabbard et al. (2002) discute o processo de engenharia de usabilidade UE para sistemas de Realidade Aumentada para a aplicação BARES - *Battlefield Augmented Reality System*. BARES é um sistema de RA outdoor que mostra através de um capacete informações inteligentes sobre um campo de batalha para desarmar um guerreiro.

Inicialmente, eles desenvolveram o processo de UE para aplicações de RV, mas, neste trabalho, eles adaptam as regras para um sistema de RA. Mesmo o foco do trabalho estando na análise do domínio, eles apresentam um processo de UE.

O trabalho também apresenta as atividades sobre o processo de análise de domínio, o qual consiste de quatro (muitas vezes se sobrepõem) atividades principais: desenvolvimento de caso de uso; os perfis de usuário; as necessidades dos utilizadores; e análise das tarefas do usuário.

Esse trabalho apresenta como vantagem o fato de considerar as atividades de análise de domínio fundamentais na definição das bases para o desenvolvimento de um sistema centrado no usuário, definindo claramente um contexto (tanto o usuário e tarefas baseadas no usuário) na qual a interação do usuário será projetada. Contudo, essas atividades são muito parecidas com atividades utilizadas para sistemas GUI não apresentando muitas vantagens para tecnologias emergentes e que apresentam várias interfaces, como a RA. Fato este, claramente comprovado a partir do melhoramento/modificação dessa metodologia de Engenharia de Usabilidade pelos autores desse trabalho, a qual torna-se mais adequada para sistemas de RA.

### **2) Engenharia de Usabilidade de Estilos de Texto para Interfaces de Realidade Aumentada**

Gabbard (2008) continua o trabalho apresentado no item anterior e, em sua tese de doutorado, identifica as características de estilos de texto em RA que afetam a legibilidade em ambientes reais. Ele apresenta o conceito de estilos de texto que se adaptam em tempo real às mudanças nos ambientes do mundo real.

A pesquisa também apresenta uma técnica de engenharia de usabilidade modificada para o desenvolvimento de aplicações de RA em sistemas *outdoor*, a qual propõe uma Engenharia de Usabilidade que emprega estudos baseados no usuário em um ciclo de vida de engenharia de usabilidade tradicional. Esses estudos baseados no usuário são realizados através de várias avaliações realizadas nos protótipos até que se obtenha um modelo adequado. Os projetos de interface com o usuário são refinados iterativamente, como mostrado na Figura 1.

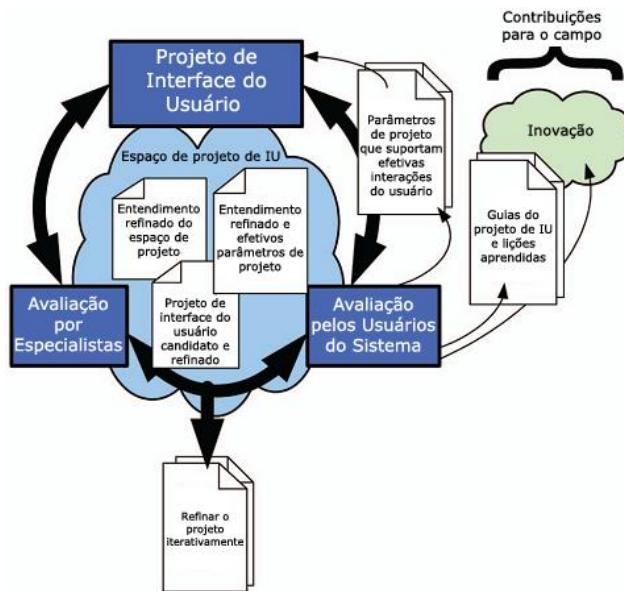


Figura 1: Engenharia de Usabilidade para RA (Gabbard and Swan, 2008)

Mesmo esta metodologia apresentando contribuições científicas para o campo de Engenharia de Usabilidade, ela apresenta um deficiência que é descrever somente orientações para especificação de usabilidade sobre legibilidade de texto em ambientes de Realidade Aumentada *outdoor*.

A abordagem também não fornece muita orientação para as atividades do projeto, o que deixa a desejar em relação à especificação de requisitos de novas tecnologias, nas quais ainda não existem diretrizes e padrões pré-estabelecidos.

Algumas limitações dessa abordagem incluem uma característica dos projetos atuais: restrições de tempo e recursos. Especificamente, a análise iterativa dos resultados de estudos baseados no usuário para refinar o projeto da interface pode consumir muito tempo até que a aplicação seja usável e utilizável. Em segundo lugar, o processo poderia ser agilizado realizando, em paralelo, muitos estudos baseados nos usuários (para avançar mais rapidamente), mas isso pode ser muito dispendioso, o que pode inviabilizar o projeto.

### 3) Aplicando Princípios de IHC em Projetos de Sistemas de RA

Dünser et al. (2007) investigam como as orientações gerais de IHC podem servir para o domínio emergente de projetos de RA. Na literatura, pesquisadores de IHC podem encontrar um grande número de diferentes princípios de projeto e heurística de usabilidade (Shneiderman and Plaisant, 2005; Stone et al., 2005).

O artigo discute algumas dessas orientações. Os autores não seguem um conjunto específico de diretrizes, mas tentam identificar alguns princípios de projeto importantes e discutem como eles dizem respeito ao projeto de sistema de RA. A intenção é proporcionar bons exemplos de como aplicar os princípios de projeto de IHC em um cenário de RA. As orientações citadas no trabalho são:

- Uso de *Affordances*;
- Redução da sobrecarga cognitiva;
- Exigência de baixo esforço físico;

- Satisfação do usuário;
- Resposta e *feedback*;

Este trabalho combinou alguns conhecidos princípios de projeto centrado no usuário com as demandas dos sistemas de RA para identificar questões que devem ser consideradas pelos pesquisadores de interface. Os autores consideram essa estratégia como uma primeira tentativa de preencher a lacuna que existe atualmente nesta área.

Os princípios de projeto apresentadas são apenas uma visão muito pequena e orientações dadas são bastante gerais e precisam ser aperfeiçoadas. Muito pouco conhecimento sobre projeto de sistemas de RA existe até agora para gerar regras genéricas para criação ou avaliação desses sistemas. É importante integrar a pesquisa de diferentes áreas para o processo de definição e aplicação de guias de projeto relacionados com RA. Pesquisas multidisciplinares permitem combinar diferentes pontos de vista e pesquisadores com diferentes especialidades, podem trazer vantagens para a área.

#### 4. METODOLOGIA PROPOSTA

A abordagem proposta nesse trabalho foi derivada de pesquisas em Realidade Aumentada, Engenharia de Usabilidade e Psicologia Cognitiva Aplicada. Ela é uma abordagem de engenharia de usabilidade modificada, que estende o processo apresentado na seção III, ver Figura 1. É um modelo construtivista (Dias and Tsoukiàs, 2003) que consiste em construir um modelo adequado para a pessoa que está sendo ajudado a decidir, a partir de um contexto particular. Ela detalha as fases do comportamento iterativo e exigências de *design* para apoiar as fases do processo, destacando e especificando principalmente as atividades da análise da tarefa do usuário.

A análise dessas tarefas foi guiada a partir da psicologia cognitiva aplicada, através da subárea de análise das tarefas cognitivas que auxilia o projetista ou o especialista que irão realizar a especificação de requisitos a analisar todos os incidentes e ajudá-lo a selecionar qual a melhor solução para o problema especificado, dado um grupo específico de usuários.

Essa fase do projeto é importante, pois, como alertam Mogel (2000) e Tori (2009), novas tecnologias de comunicação capturam a atenção por certo tempo, independentemente da qualidade do conteúdo. Tão logo deixe de ser “novidade”, a nova mídia somente será bem aceita se trabalhada de acordo com os fundamentos e as boas práticas da comunicação e do design. Faz-se necessário que o designer tenha pleno domínio sobre os recursos oferecidos pela tecnologia e, principalmente, das limitações e requisitos que a acompanham. Tomemos como exemplo um experiente e bem-sucedido *designer* gráfico.

Dificilmente esse profissional será bem-sucedido se tentar aplicar métodos e conceitos de mídia impressa, sem as devidas adaptações, em projetos de mídia digital interativa. A Realidade Aumentada, ainda que digital e interativa, possui peculiaridades e limitações bem diferentes das mídias digitais “convencionais”.

Portanto, o primeiro desafio para o design da informação em ambientes de RA é o de, após estudo aprofundado sobre o problema, o público-alvo e cenário, decidir se RA seria efetivamente a melhor solução para a interface de comunicação e interação com a informação.

A abordagem apresentada na Figura 2 incorpora bem os detalhes citados acima, adotando critérios de usabilidade, enfoque no usuário e iteratividade de projeto, assim como implicações no seu processo de desenvolvimento.

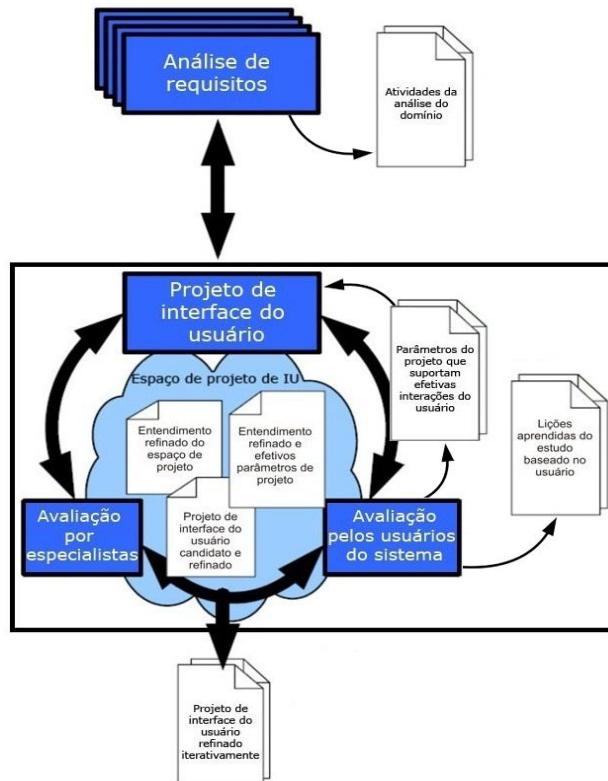


Figura 2: Engenharia de Usabilidade Modificada

Como o foco da pesquisa é a análise de requisitos, a Figura 3 demonstra os módulos dessa análise. Eles são citados e descritos abaixo:

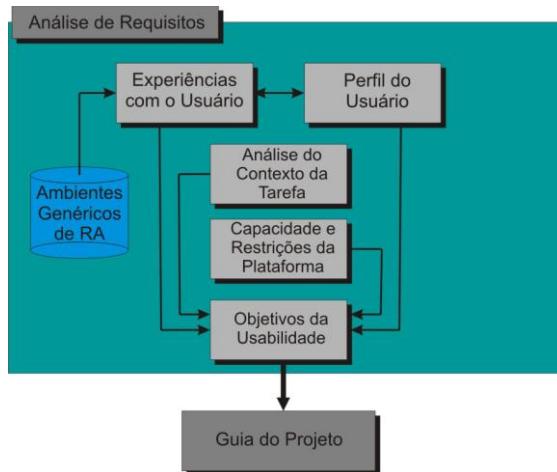


Figura 3: Estratégia de Especificação de Requisitos

1. Ambientes Genéricos de RA: é um banco de dados com vários exemplos de ambientes implementados com RA. No banco de dados, encontram-se ambientes com a utilização de capacetes (sistema de visão direta por vídeo), ambientes com a utilização de *webcams* (sistema de visão por vídeo baseado em monitor) e ambientes com e sem a utilização de marcadores para a geração de imagens virtuais. O objetivo deste módulo é apresentar a Realidade Aumentada e suas potencialidades;

2. Experiências com Usuário: essa etapa é realizada em paralelo com a análise do perfil do usuário. O projetista escolhe dois softwares do banco de dados de ambientes genéricos de RA. Um será do tipo visão direta por vídeo e o outro do tipo, visão por vídeo baseado em monitor ou dois do tipo visão por vídeo baseado em monitor. Os softwares escolhidos são o que mais se assemelham ao sistema que será desenvolvido. Por exemplo, se for desenvolvido um software para a área da saúde, se disponível, será selecionado um ambiente da mesma área. Esse sistema é apresentado para um pequeno grupo de usuários que possuem o mesmo perfil dos usuários que irão utilizar o ambiente que será construído. Os detalhes do estudo do perfil do usuário serão explicados no próximo item. O projetista analisa o comportamento do usuário na utilização de RA. Essa análise é auxiliada pela aplicação de instrumentos de avaliação do usuário (questionários) que foram desenvolvidos com apoio da psicologia cognitiva aplicada. Após a experiência do usuário com o ambiente, ele responderá um questionário, que facilitará a escolha do tipo de sistema ideal para esse grupo de usuários pelos desenvolvedores. Essas informações facilitarão o desencadear do projeto, pois o projetista, conhecendo o comportamento do usuário com a tecnologia, escolherá o tipo correto de ambiente e os equipamentos que os usuários se adaptarão melhor. Enfim, será desenvolvido um ambiente que necessitará de menos treinamento, será mais usável e específico para o grupo de usuários que irão utilizá-lo;

3. Análise do perfil do usuário: para cada tipo de usuário previsto, os projetistas devem conhecer seus atributos pessoais (faixa etária, sexo, limitações, motivação) e suas habilidades e competências (na tarefa, na organização, no uso de capacetes, na utilização de ambientes Três Dimensões (3D) e em sistemas informatizados). Essa análise é verificada através de questionários que os usuários responderão;

4. Análise do contexto da tarefa: para cada tarefa a ser apoiada pelo sistema, os projetistas devem conhecer os objetivos e resultados, a estrutura, a duração, as dependências, os custos, a carga mental, as interrupções, os incidentes, etc. Por exemplo, a claridade do ambiente pode ter impactos na utilização de sistemas de RA;

5. Análise das capacidades e restrições da plataforma: devem ser examinadas as possibilidades e restrições em termos de equipamentos (capacetes, *webcam*), sistemas operacionais e aplicativos disponíveis para o funcionamento do sistema. Por exemplo, se não existe capacete na experiência com o usuário, serão escolhidos dois sistemas do tipo visão por vídeo baseado em monitor;

6. Usabilidade: nível de usabilidade esperado para o sistema de acordo com os princípios gerais do projeto. Essa especificação é feita nos termos de valores mínimos admissíveis para os fatores básicos de usabilidade: eficácia, eficiência e satisfação do usuário, principalmente;

7. Guia do Projeto: registra todas as decisões tomadas nas atividades da Análise de Requisitos e servirá como guia para a construção do projeto, construção do protótipo, implementação do sistema e futuras avaliações do ambiente. Após a realização de todas as fases da estratégia apresentada na Figura 3, segue-se o ciclo de vida do processo de engenharia de usabilidade apresentado na Figura 2.

No módulo “experiências com o usuário”, a comparação entre dois tipos diferentes de sistemas de RA é uma solução para um problema do usuário que apresenta dificuldade de identificar entre dois produtos, qual o melhor.

Esse padrão tem como característica a comparação de múltiplos critérios entre produtos. Estas características são as propriedades e/ou restrições tecnológicas ao sistema e seus requisitos de usabilidade.

Dessa forma, é possível auxiliar projetistas e usuários na identificação de uma solução, pela associação do problema identificado às possíveis características (a partir das necessidades), estando elas associadas a padrões.

Com o objetivo de guiar e auxiliar os projetistas na análise de requisitos, seguindo a metodologia proposta, na Tabela 1 são apresentadas as atividades principais a serem realizadas em cada um dos módulos da análise. Vale lembrar que as atividades da análise de requisitos não estão restritas a somente essas atividades. Essas possuem como objetivo apenas complementar e introduzir os projetistas na análise de requisitos.

Tabela 1: Atividades da Especificação de Requisitos

Atividades da Experiência com o Usuário	
Definir a experiência/facilidade do usuário com a manipulação de ambientes 3D	Definir se os capacetes 3D não causaram fadiga e desconforto ao usuário
Definir o sentimento do usuário com a manipulação de ambientes de RA	Identificar em qual tipo de sistema de RA o usuário mais se adaptou
Identificar como foi a manipulação de marcadores pelo usuário	Verificar se os marcadores atrapalharam a utilização do sistema
Definir se o usuário não ficou confuso ou perdido com a junção de informações reais e	Identificar se o usuário teve algum mal-estar ao utilizar o sistema, como tontura, por exemplo
Definir se o uso prolongado do sistema de RA não provocou desconforto ou mal-estar no usuário	
Atividades de Definição do Perfil do Usuário	
Definir principais usuários	Definir usuários contrários ao projeto
Definir usuários especialistas no domínio	Definir perfil do usuário
Atividades da Análise do Contexto da Tarefa	
Definir as funções do produto	Definir as restrições do produto
Definir a interface	Definir as restrições físicas do ambiente, como se a iluminação irá afetar o desempenho da aplicação
Definir grau de confiabilidade do sistema	Definir estimativas de custo, para verificar a possibilidade de adquirir equipamentos mais modernos
Obter o propósito e as metas do produto	Definir as características gerais do produto
Definir os impactos do desenvolvimento do produto	Definir os impactos negativos com o não desenvolvimento do produto
Definir o público a ser atingido	Definir a mobilidade do sistema
Atividades do Estudo das Capacidades e Restrições da Tarefa	
Definir restrições relativas a hardware utilizado, como óculos 3D, <i>webcam</i> , luvas, etc	Definir restrições quanto ao sistema operacional ou aplicativos utilizados
Definir restrições de iluminação de acordo com o ambiente que irá funcionar o sistema	
Atividades do Estudo dos Objetivos da Usabilidade	
Definir modelo claro de navegação.	Definir ajuda e documentação na utilização do sistema
Definir qualidade nas mensagens de erro.	Definir sempre um <i>feedback</i> a uma dada ação realizada no sistema.
Restringir a quantidade de informação para o usuário não ficar confuso.	
Definir os equipamentos adequados, pois senão eles podem atrapalhar a utilização do sistema	

Com as informações do Guia do Projeto desenvolve-se o projeto de interface do usuário. Esse projeto é avaliado tanto por especialistas quanto por usuários do sistema. A cada avaliação, o projeto é refinado. Ele será refinado, iterativamente, até que o projeto encontre-se adequado.

## 5. ESTUDO DE CASO

Para validar a estratégia apresentada, foi realizado um estudo de caso com o desenvolvimento de um sistema computacional que auxilia o tratamento terapêutico da Aracnofobia.

Inicialmente, o objetivo da estratégia é descobrir se a RA é a tecnologia adequada para a resolução do problema proposto. Para isso, a primeira etapa da estratégia que foi executada é o módulo “Experiências com o Usuário”. Ao final dessa fase, através da análise dos formulários de avaliação, pode-se verificar que os usuários se adaptaram à tecnologia e que ela era adequada para a resolução do problema proposto. Essas conclusões foram adquiridas por meio dos seguintes resultados principais dos formulários:

- Todos os usuários declararam não sentir nenhum mal-estar com a utilização do sistema de visão por vídeo baseado em monitor;
- Todos os usuários declararam gostar de utilizar o sistema de visão por vídeo baseado em monitor e que não o acharam complexo;
- Na utilização do sistema de visão ótica direta, dois usuários não sentiram nenhuma tontura e um usuário sentiu somente um pouco de tontura pelo fato de estar utilizando um capacete;
- Todos os usuários consideram o sistema de visão ótica direta muito mais realístico;
- Dois usuários consideraram os dois tipos de sistemas adequados, os quais obteriam muitos resultados positivos para a aplicação, mas que deveriam ser utilizados em situações diferentes para diferentes níveis de fobias;
- No questionamento “O que você mais gostou na utilização da tecnologia de RA?”, dois usuários responderam que é a possibilidade do aumento de informações por meio da junção do mundo real com o mundo virtual e um usuário respondeu que é a possibilidade de realizar um tratamento terapêutico realístico, de qualquer lugar, sem ser necessária a utilização de animais reais.

Ao final dessa fase, verificou-se que RA é a tecnologia adequada para a resolução do problema proposto e que ela poderia ser eficaz como auxílio ao tratamento da Aracnofobia e que os usuários se adaptariam ao sistema proposto. Essa conclusão foi obtida por meio das respostas positivas em relação à avaliação da tecnologia pelos psicólogos.

Como os psicólogos que participaram da análise de requisitos não conheciam a tecnologia de RA, o estudo das tecnologias de RA foi considerado o ponto forte da análise, pois eles puderam verificar as possibilidades e restrições da RA.

Paralelamente a este módulo, executou-se a análise do perfil do usuário. Decidido pela tecnologia de RA, continua-se a execução dos módulos da estratégia e executa-se a análise do contexto da tarefa. Essa fase foi auxiliada pelas atividades da análise do contexto da tarefa, disponível na Tabela 1, sessão IV.

A Figura 4 mostra a tela inicial do sistema de visão por vídeo baseado em monitor com os oito níveis de tratamento.



Figura 4: Tela Inicial do Sistema de Aracnofobia

Na imagem visualizada pelo paciente na Figura 5, nessa interface não há opções de seleção de modelos a serem apresentados. Assim, a seleção é feita com o uso de diferentes marcadores nos quais o psicólogo tem controle sobre eles, a quando cada marcador é mostrado no campo de visão dos óculos, um modelo diferente de aranha aparece.

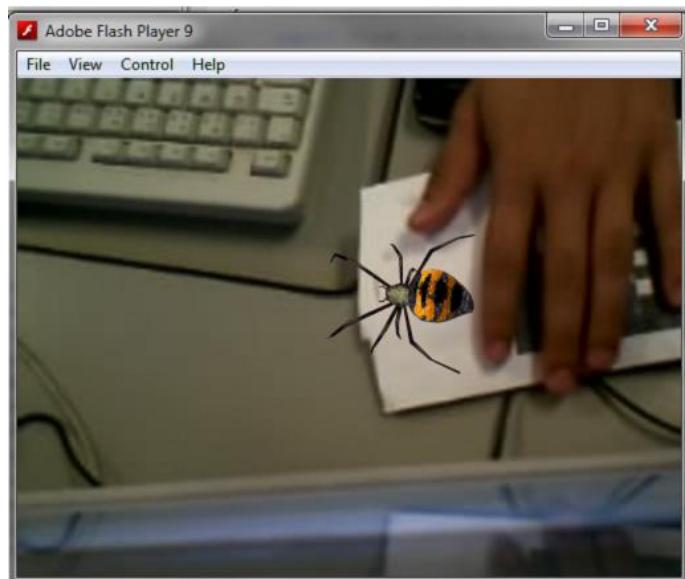


Figura 5: Visão do sistema desenvolvido usando os óculos de RA

Continuando a execução dos módulos da análise de requisitos, o próximo módulo que foi executado é o de capacidades e restrições da plataforma. Algumas das restrições especificadas são em relação à claridade do ambiente que não pode ser extrema, como por exemplo, o sistema ser utilizado no sol. Para o sistema funcionar,

deverá ser instalado com antecedência no computador do Adobe Flash Player e os óculos, obrigatoriamente deverão ser binocular com *webcam* acoplada.

No último módulo da análise de requisitos, os objetivos de usabilidade foram especificados e como o sistema a ser implementado será utilizado para realizar um tratamento de reabilitação, a principal característica do sistema é que ele seja fácil de ser utilizado, sem que os usuários precisem de treinamento ou ajuda técnica.

## 6. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Finalizado o desenvolvimento do sistema, ele foi avaliado por 4 psicólogos, dentre os quais 2 participaram da fase de Análise de Requisitos e 2 não participaram. Através dos resultados da avaliação podem-se confirmar as vantagens da utilização da estratégia proposta, a qual auxilia a especificação de requisitos do sistema juntamente com o profissional da área. Características importantes especificadas, como tipos de sistemas de RA diferentes, para usuários diferentes (adultos e crianças), tornam o sistema mais eficaz. O estudo dos tipos de sistemas de RA, através das experiências com o usuário, foi crucial para que o psicólogo pudesse conhecer a tecnologia, entender suas limitações e conhecer suas possibilidades.

A avaliação do sistema foi realizada sob três parâmetros: avaliação da usabilidade, eficácia do sistema e eficiência/importância da análise de requisitos.

A Figura 6 demonstra os resultados da avaliação do sistema referentes à usabilidade. Nesse gráfico, alguns pontos importantes a serem verificados são que a maioria das pessoas considera que não precisava aprender muitas coisas antes de voltar a utilizar o sistema e que todos os usuários concordam que gostariam de usar frequentemente o sistema.

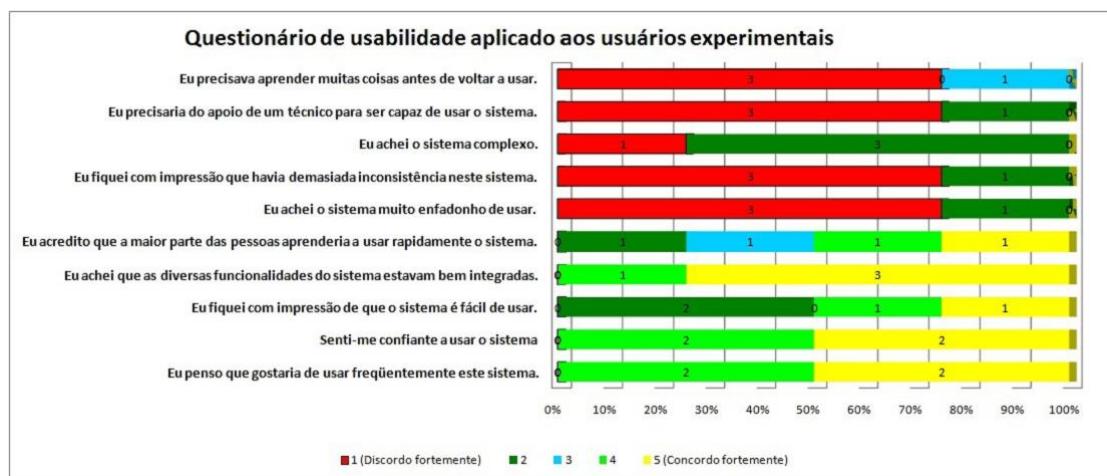


Figura 6: Avaliação quanto à usabilidade do sistema

A Figura 7 demonstra os resultados da avaliação quanto à eficácia do sistema. Nesse gráfico, alguns resultados importantes são que todos os usuários consideram gostar de utilizar sistemas com essa tecnologia e que o sistema possui uma apresentação agradável e legível.

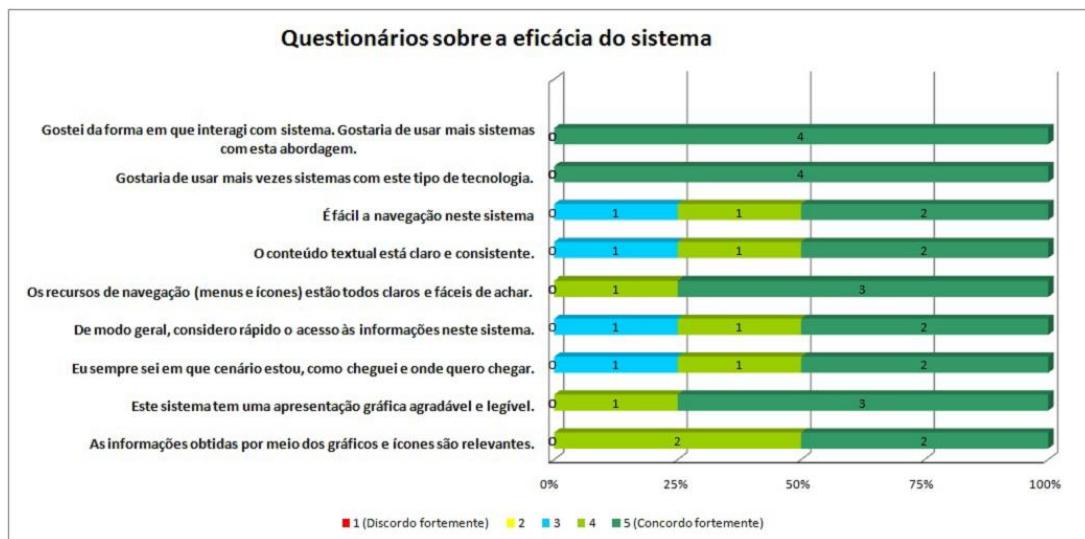


Figura 7: Avaliação quanto à eficácia do sistema

Abaixo estão algumas respostas dos psicólogos na pergunta: “O que você mais gostou nesta aplicação?”:

- Os diversos tipos de aranha, mostrando a proximidade com o real;
- A grande funcionalidade e aplicabilidade desse tipo de tecnologia no tratamento de Aracnofobia;
- O realismo das imagens (modelos 3D) e sua dinâmica (Movimento).

Fazendo uma análise geral da avaliação do sistema, verificou-se a importância o uso adequado de equipamentos. Esse requisito foi verificado na análise de requisitos, só que, infelizmente, esses equipamentos não foram adquiridos a tempo para a realização da avaliação do sistema. Na análise de requisitos, foi verificada a necessidade de óculos mais leves que os usados nos testes - binocular, com câmera integrada ao mesmo e com melhor definição.

## 7. CONCLUSÕES

A Realidade Aumentada é uma área do conhecimento que oferece várias oportunidades de investigação científica e inovação tecnológica, pois é uma área que surgiu recentemente e também por oferecer aos usuários melhores condições de interação com aplicações computacionais, através de interfaces mais intuitivas. Os ambientes de Realidade Aumentada amplificam as capacidades das pessoas avaliarem informações tridimensionais, uma vez que flexibilizam a atuação do usuário no espaço tridimensional e permitem o uso de interações multimodais, possibilitando maior riqueza de detalhes, melhores técnicas de interação e mais desempenho (Kirner and Siscoutto, 2007).

A abordagem proposta estabelece um conjunto organizado de atividades e técnicas que contribuem e orientam os projetistas para a obtenção da completeza da especificação de requisitos e avaliação dos protótipos, refinando-os iterativamente.

Apesar de o aumento do número de requisitos implicar em custos maiores no desenvolvimento e implantação dos sistemas, supõe-se que os benefícios obtidos

durante a sua operação devam recompensar de modo significativo esse acréscimo de custo inicial.

Imagina-se ainda que o tempo de implementação pode ser diminuído quando projetistas sabem exatamente o que vão desenvolver e os resultados esperados. Vale ressaltar que uma completa e específica análise de requisitos impacta positivamente na elaboração de qualquer sistema, sendo, portanto, um mecanismo essencial de apoio à elaboração de softwares terapêuticos e utilizados para o ensino, pois nesses tipos de sistema, o usuário não poderá desperdiçar seu tempo aprendendo a utilizar a aplicação.

As orientações da estratégia apresentada poderão contribuir para a construção desses e de outros sistemas, pois os tornarão mais fáceis de serem usados e mais adaptados para os usuários que o utilizarão.

De modo geral, a falta e limitações de guias na literatura nortearam a necessidade de pesquisas na área e a criação de uma estratégia, visto a grande utilização dos sistemas de RA. Portanto, concentrar atenção na análise do domínio e no comportamento do usuário, claramente contribui para a qualidade dos sistemas de software, como mostrado nos testes.

Essa estratégia seguiu a idéia central da norma padrão internacional ISO 13407, que tem como princípio, focalizar desde o início os usuários e as tarefas que desenvolvem num determinado ambiente.

Constata-se, com base nos objetivos do trabalho, que as informações referentes às terminologias estudadas, além de embasarem o desenvolvimento do trabalho e constituirem um referencial teórico robusto sobre o contexto, fornecem diversos parâmetros viabilizando a construção do conhecimento.

## 8. TRABALHOS FUTUROS

Existem diversos aspectos que foram abordados neste trabalho e que podem ser estendidos, visando acrescentar novas facilidades e aumentar o desempenho das aplicações desenvolvidas. Algumas sugestões para trabalhos futuros são as seguintes:

- Ajustes, adequações e inserção de atividades na metodologia proposta, identificados através da aplicação da mesma.
- Integrar essa metodologia com outros *templates*, destinados a utilização na Engenharia de Requisitos para os sistemas computacionais de uso geral.
- Utilizar outras formas de avaliar a metodologia proposta.
- Adequação da metodologia proposta para outras novas tecnologias.
- O desenvolvimento de uma ferramenta automatizada que apóie e facilite a utilização da metodologia, bem como permita a criação de um repositório para armazenamento e recuperação dos artefatos gerados ao longo da Análise de Requisitos.

## REFERÊNCIAS

- Amado, A. E. P. (2007). Avaliação de usabilidade de ambientes de realidade virtual e aumentada. *Master's thesis*, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Industrial.
- Azuma, R. (1997). *A survey of augmented reality*. *Presence*, 6(4):355–385. Azuma, R., Baillet, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., and MacIntyre, B. (2001). *Recent advances in augmented reality*. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6):34–47.
- Bastos, N. C. (2007). Uma metodologia para avaliação de usabilidade de interfaces de realidade mista interativas.
- Carmo, R. M. C., Meiguins, B. S., Gonçalves, A. S., Pinheiro, S. C. V., Almeida, L. H., and Godinho, P. I. A. (2007). *Coordinated and multiple views in augmented reality environment*. In IV, pages 156–162. IEEE Computer Society.
- Dias, M. Jorge, J. C. J. S. P. L. J. (2003). *Usability evaluation of tangible user interfaces for augmented reality*. *Augmented Reality Toolkit Workshop*, 2003. IEEE International, pages 54– 61.
- Dias, L. C. and Tsoukias, A. *On the constructive and other approaches in decision aiding*. *Proceedings of the 57th meeting of the EURO MCDA working group*, 2003.
- Dünser, A., Grasset, R., Seichter, H., and Billinghurst, M., editors (2007). *Applying HCI principles to AR Systems Design*, North Carolina, USA. *MRUI'07: 2nd International Workshop at the IEEE Virtual Reality 2007 Conference*.
- Durso, T., F., Nickerson, S., R., Schvaneveldt, W., R., Dumais, T., S., Lindsay, Stephen, D., Chi, and H., M. T., editors (2007). *Handbook of Applied Cognition*. John Wiley & Sons.
- Gabbard, J. L. (2008). *Usability Engineering of Text Drawing Styles in Augmented Reality User Interfaces*. *PhD thesis*, Faculty of Virginia Polytechnic, Blacksburg, Virginia.
- Gabbard, J. L., II, J. E. S., Hix, D., Lanzagorta, M., Livingston, M., Brown, D., and B, S. J. (2002). *Usability engineering: Domain analysis activities for augmented reality systems*. *Proceedings SPIE Volume 4660, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IX*.
- Gabbard, J. L. and Swan, E. (2008). *Usability engineering for augmented reality: Employing user-based studies to inform design*. *IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics*, 14(3):513 a 525.
- Granado, L. C., Ropero Peláez, F. J., and Garcia-Mijares, M. (2005). Estudo no contexto brasileiro de três questionários para avaliar aracnofobia. In In Livro de programa e resumos: do 14º Congresso Interno Núcleo de Pesquisa em Neurociências e Comportamento XIV Congresso Interno Anual do NaP/NEC.

Goldiez, B., Livingston, M. A., Dawson, J., Brown, D., Hancok, P., Baillot, Y., and Julier, S. J., editors (2004). *Advancing Human Centered Augmented Reality Research, Orlando. University of Central Florida Orlando, Proceedings for the Army Science Conference (24th)*.

Kirner, C. and Siscoutto, R. (2007). Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, 2007. Livro do pré-simpósio, *IX Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Editora SBC, Petrópolis - RJ.

Laudon, K. and Laudon, J. (2007). Sistemas de Informação Gerencial. Pearson. 7º Edição. São Paulo – SP.

Luczak, H. (1997). *Task analysis - Handbook of Human Factors and Ergonomics*. John Wiley Sons, New York.

Marot, R. (2009). Fobia específica. <http://www.psicosite.com.br/tra/ans/associal.htm> acessado em abril de 2009.

Mogel, L. (2000). *Careers in communications and entertainment*. Kaplan Books, New York.

Pressman, R. S. (2006). Engenharia de Software. 6º ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill.

Schoenfelder, R. and Schmalstieg, D. (2008). *Augmented reality for industrial building acceptance*. In VR, pages 83–90. IEEE.

Siscoutto, R. and Costa, R. (2008). Realidade Virtual e Aumentada: Uma abordagem tecnológica. Sociedade Brasileira de Computação, João Pessoa, 2008. Livro do pré-simpósio, *IX Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Editora SBC, João Pessoa - PB.

Stone, D., Jarrett, C., Woodroffe, M., and Minocha, S. (2005). *User Interface Design and Evaluation*. Morgan Kaufmann. Swan, J. E. and Gabbard, J. L. (2005). *Survey of user-based experimentation in augmented reality*. In *Proceedings of 1st International Conference on Virtual Reality*, HCI International 2005, Las Vegas, Nevada, USA.

Tori, R. (2009). Desafios para o design de informação em ambientes de realidade aumentada. Revista Brasileira de Design da Informação, 6(1):49–60.

Zorral, E. R. (2008). Sistemas de realidade aumentada. Disponível em <<http://www.realidadeaumentada.com.br>>. Acesso em 15/11/2009.