

ANA REGINA MIZRAHY CUPERSCHMID , REGINA COELI RUSCHEL E MÁRCIA REGINA DE FREITAS

## Tecnologias que suportam Realidade Aumentada empregadas em Arquitetura e Construção

*Technologies that support Augmented Reality applied in  
Architecture and Construction*

**Ana Regina Mizrahy Cuperschmid** é especialista em Gestão de Projetos em Tecnologia da Informação pelo IBTA (2004), e em Web Publishing pelo Langara College de Vancouver, Canadá (2003), Mestre pelo Instituto de Artes da Unicamp (2008) e Doutoranda em Engenharia Civil pela FEC-UNICAMP, com o foco de pesquisa em Utilização de Realidade Aumentada no Processo de Projeto Arquitetônico.

**Regina Coeli Ruschel** é Mestre em Ciência em Engenharia Civil pela University of Arkansa (1984), Doutora em Engenharia Elétrica na área de Automação pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (1996), Livre docente na área de Projeto Auxiliado por Computador pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP (2009). É professora associada da FEC-UNICAMP.

**Márcia Regina de Freitas** é Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2000) e Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (2008). Atualmente desenvolve pesquisa de pós-doutorado junto ao Departamento de Arquitetura e Construção da FEC-UNICAMP

*Ana Regina Mizrahy Cuperschmid is Architect and Urban Planner (UFV); Specialist in Web Publishing (Langara College - Vancouver, Canada); Graduate Studies in Project Management in Information Technology (IBTA); Master's Degree in Arts (IA-UNICAMP); currently doing a PhD in Architecture, Technology and Cities (FEC-UNICAMP). fale@anacuper.com*

*Marcia Regina De Freitas is Civil engineer, PhD from POLI/USP, doing postdoctoral work at UNICAMP developing research involving Augmented Reality in construction and also interested in subjects related to the application of new technologies in construction processes. marciar.f@ig.com.br*

*Regina Coeli Ruschel is Civil Engineer, Faculty member and PhD from UNICAMP. Professor for courses in Civil Engineering and Architecture and Urbanism at UNICAMP. Coordinates the research group on Information Modeling and Digital Collaboration at FEC-UNICAMP. ruschel@fec.unicamp.br*

### Resumo

O uso de Realidade Aumentada (RA) em aplicações de arquitetura e construção tem sido estudado e explorado para buscar formas de uso em função da experiência que se deseja obter. Trata-se de uma tecnologia que permite sensações e a antecipação de eventos futuros em ambientes ainda em fase de projeto, atuando como um instrumento facilitador em etapas de planejamento, projeto, construção até a manutenção de edificações. O artigo de Freitas e Ruschel (2010) conceitua RA e descreve situações de uso dessa tecnologia no Brasil e no mundo. Corroborando, este artigo visa explorar as diversas técnicas de interação, dispositivos de visualização e rastreamento empregados em aplicações de RA para AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). O presente artigo introduz as tecnologias que suportam RA, fornecendo uma visão concisa de pesquisas em andamento e da possível utilização no mercado. Examina as possibilidades de tecnologias e fornece conceitos técnicos sobre sistemas de RA. O intuito é, além de apresentar as tecnologias de interação, rastreamento e visualização de RA no âmbito de AEC, exemplificar o uso prático nestas áreas.

**Palavras-chave:** Realidade Aumentada. Tecnologias. Arquitetura. Construção.

### Abstract

*The use of Augmented Reality (AR) in architectural and construction applications has been studied and explored to find ways of using it in relation to the experience being sought after. This technology makes it possible to experience sensations and anticipate future events in environments that are still in the project phase, serving as a facilitative instrument during the planning, design and construction stages, all the way through to building maintenance. An article by Freitas and Ruschel (2010) evaluates AR and describes situations for using this technology in Brazil and around the world. In corroboration, this article seeks to explore different interaction techniques, display devices and tracking technologies used in applying AR to AEC (Architecture, Engineering and Construction). The article introduces the technologies that support AR and provides a brief overview of ongoing research and possible uses of AR in the market. It examines the possibilities offered by these technologies and furnishes technical concepts about AR systems. The goal, in addition to presenting AR interaction, tracking and display technologies within the realm of AEC, is to exemplify their practical use in these different fields.*

**Keywords:** Augmented Reality. Technologies. Architecture. Construction.

## Introdução

**E**m Arquitetura e Construção Civil, o uso da Realidade Aumentada ainda é considerado limitado, apesar dos aspectos positivos que esta poderá proporcionar ao processo de desenvolvimentos de empreendimentos na área. Por possibilitar visualizações prévias de eventos que ainda não aconteceram, RA é uma tecnologia que desperta interesse para o setor. Observa-se que o uso de RA para esta área ainda se concentra, principalmente, em ferramentas de marketing, criando visualizações tridimensionais que permitem que o cliente enxergue uma versão personalizada daquilo que se pretende adquirir. Outras aplicações já são previstas e sugeridas, porém, há a necessidade de conhecimento da tecnologia, dos equipamentos necessários mediante as pretensões em cada caso, dos processos de desenvolvimento de modelos 3D, das formas de se obter a sobreposição de elementos virtuais sobre o ambiente real, enfim, entender o que deverá ser feito para obter o máximo de RA para AEC.

Em ambientes de RA é possível interagir com objetos virtuais de várias maneiras, assim, neste artigo, serão abordados os métodos de interação e uso voltados para arquitetura e construção com exemplos de aplicações. Em seguida, serão abordadas as tecnologias de visualização de RA ligadas a dispositivos como Head Mounted Displays (HMDs), dispositivos móveis e projetores. As técnicas de rastreamento que visam alcançar a sobreposição da imagem do mundo real de forma robusta e precisa também serão abordadas.

## 1. Técnicas de Interação Empregadas em Aplicações de RA

Quanto às técnicas de interação empregadas em ambientes de RA, Zorzal et al. (2009) avalia que não há consenso de como elas devem ser aplicadas. Em 2005, no entanto, Broll et al. classificaram as técnicas de interação que poderiam ser aplicadas nestes ambientes, como:

- Interação espacial (*spatial interaction*);
- Interação baseada em comandos (*command-based interaction*);
- Interação por controle virtual (*virtual control interaction*);
- Interação por controle físico (*physical control interaction*).

A diferença entre as formas de interação com os elementos virtuais é percebida ao se analisar os equipamentos envolvidos e/ou necessários para permitir acesso ao conteúdo e à maneira como ocorre a entrada de dados para a interpretação da máquina e inserção das informações virtuais ao ambiente físico. Na interação espacial, ocorre a manipulação das propriedades espaciais dos

objetos físicos, em geral, por meio de interfaces tangíveis (abordado no item 1.d) que permitem a interação através de objetos reais da cena. Já na interação baseada em comandos, a entrada de dados se dá através do rastreamento de gestos simbólicos (ex.: das mãos) ou alguma outra forma de comando, como a voz, que representam instruções a serem interpretadas. O tipo de interação por controle virtual se dá pela manipulação de símbolos gráficos tridimensionais apresentados ao usuário e que permitem a comunicação com a máquina. Na interação por controle físico, esta comunicação homem-máquina ocorre por meio de ferramentas físicas ou painéis de controle que possibilitam acesso tanto ao ambiente físico como aos objetos virtuais da cena.

Por não haver um consenso geral sobre a classificação das técnicas de interação, encontram-se variantes desta ideia, sempre no intento de definir as formas de relação entre o usuário e os computadores. A partir da classificação das técnicas de interação específicas para RA apresentadas por Kelner e Teichrieb (2008), a saber: Interfaces Baseadas em Gestos, Walking, Reconhecimento de Gestos Pen Stroke e Interfaces Tangíveis, descreve-se, a seguir, as possibilidades de uso destas técnicas, tendo em vista a tecnologia atualmente disponível.

### 1.1. Interfaces Baseadas em Gestos

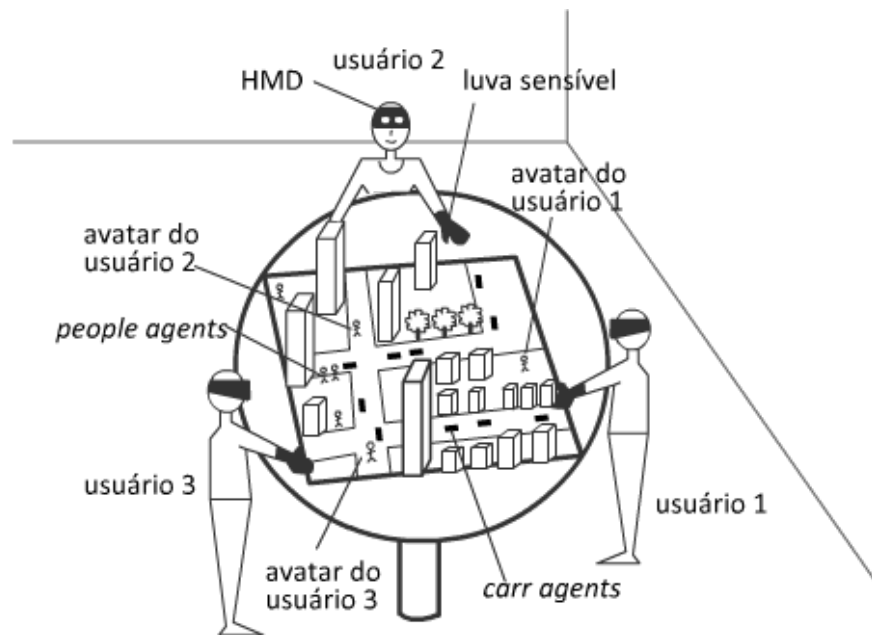
As Interfaces Baseadas em Gestos respondem às gesticulações do usuário, de maneira que movimentos pré-definidos desencadeiam determinadas respostas do sistema. De acordo com Kelner e Teichrieb (2008), neste tipo de interação o usuário geralmente veste um wearable computer e/ou uma luva para interagir com a aplicação. A interação ocorre realizando-se diferentes posturas pré-definidas para desempenhar tarefas, tais como abrir e fechar a mão. Os gestos são identificados pelo uso de uma luva, que detecta diferentes níveis de pressão para todos os dedos, e um rastreador. A combinação da ativação de sensores de um ou mais dedos configura-se num gesto, controlando algum aspecto da aplicação.

No campo da pesquisa, Wang (2007) descreve o sistema conceitual ARUDesigner, concebido para visualização e simulação de um sistema de RA com uso de agentes inteligentes. Nele, há uma combinação de conceitos de RA e agentes inteligentes para o desenvolvimento de uma ferramenta colaborativa para utilização em projetos de desenho urbano. Esse sistema conceitual tem como ideia principal permitir que os projetistas manipulem interativamente objetos em uma dada área urbana e acessem os efeitos no ambiente proposto, através de uma simulação com agentes inteligentes. ARUDesigner tem como ideia central reduzir dificuldades de interpretação entre membros de equipes de projeto, proporcionando informação visual para melhorar a eficiência e a produtividade do grupo. Os projetistas devem sentar-se em volta de uma mesa na qual podem ver o desenho urbano sobreposto por meio de HMDs, como mostra a Figura [1]. O projetista poderia selecionar e mover os objetos virtuais usando as luvas, uma vez que o movimento de agarrar e soltar seria reconhecido pelo sistema.

FIGURA 1

Arranjo conceitual e uso do sistema ARUDesigner

Fonte: Wang, 2007, p. 562; Wang, Gu, Marchant, 2008, p. 542



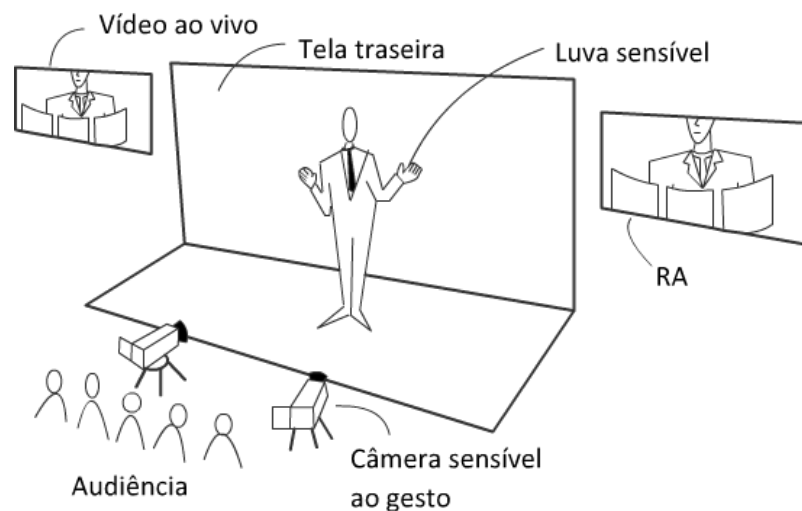
Comercialmente, o emprego de luvas está sendo utilizado pela empresa D'strict (2012) para apresentações de Arquitetura. A solução é chamada de Hyper Presentation e faz uso de RA baseada em gestos. O sistema faz uso de um par de luvas com sensores que é conectado a um conteúdo digital, permitindo que um apresentador movimente o modelo virtual da edificação por meio do movimento de suas mãos.

Quando o usuário veste o par de luvas e realiza a apresentação, uma câmera detecta os movimentos e transmite a informação via wireless que, por sua vez, é processada de maneira a reconhecer os gestos que estão associados a ações pré-estabelecidas. A Figura [2] exibe um esquema do funcionamento do sistema.

FIGURA 2

Esquema de funcionamento do sistema Hyper Presentation

Fonte: adaptado de D'STRICT, 2012, <http://global.dstrict.com/hyperpresentation>



Entende-se que a técnica de Interfaces Baseadas em Gestos é adequada para apresentações e discussões de projetos, seja arquitetônico ou desenho urbano. Em tais ocasiões, os participantes têm oportunidade de interagir e manipular os modelos apresentados de uma forma mais natural, por meio de gestos. Além disso, pelas facilidades de visualização e interpretação oferecidas pela técnica, possibilita-se melhor entendimento das propostas e, conseqüentemente, as discussões de projeto tornam-se mais produtivas.

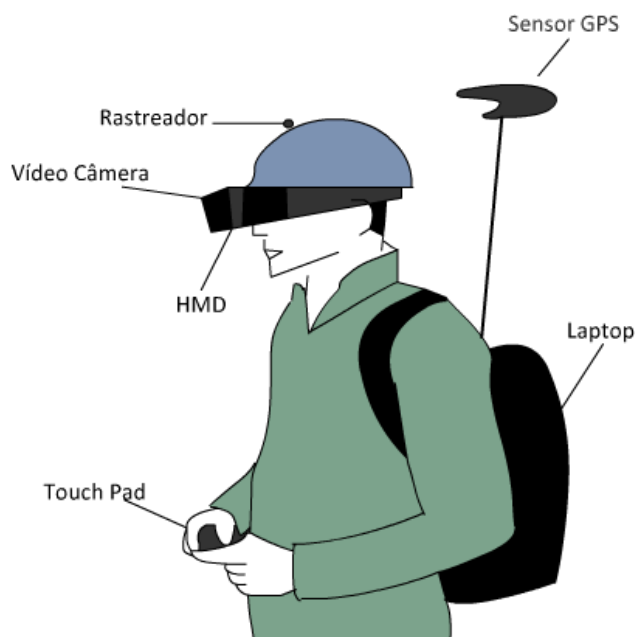
### 1.2. Sistema de Realidade Aumentada Móvel

A técnica Walking, descrita por Kelner e Teichrieb (2008), permite o andar físico em um ambiente virtual. Para tanto, podem ser usados um conjunto de wearable computers com *head-mounted displays*, rastreadores e *Global Positioning System* (GPS), como, também, os atuais dispositivos móveis como *Tablets* e *Smartphones*.

O fato de os computadores terem se tornado mais poderosos, apesar de menores em tamanho físico, possibilitou novas aplicações móveis através da combinação de tecnologias, tais como: rastreamento global, comunicação wireless, comunicação baseada em localização e serviços e o uso de trajes, que se tornaram viáveis, podendo ser usadas por qualquer pessoa e em qualquer lugar (HÖLLERER; FEINER, 2004). O usuário “veste” o computador e usa um equipamento para visualização, como um capacete ou HMD (*see-through HMD*), permitindo que este se movimente livremente e tenha sua localização correta através da tecnologia de GPS para possibilitar os sistemas de RA Móveis (THOMAS; PIEKARSKI; GUNTHER, 1999). A Figura [3] mostra o detalhamento dos equipamentos basicamente usados para este tipo de aplicações de RA, segundo Behzadan, Timm e Kamat (2008).

**FIGURA 3**  
Componentes básicos de hardware de um sistema de RA móvel

Fonte: adaptado de BEHZADAN; TIMM; KAMAT, 2008, p. 91 e 94



Esta forma de utilização de RA tem sido estudada há tempos, como mostra a pesquisa de Thomas, Piekarski e Gunther (1999), que descreve um destes sistemas desenvolvido na Universidade da Austrália para auxiliar pessoas na visualização de projetos arquitetônicos em seu contexto físico externo. Quando um observador utiliza o HMD enxerga uma sobreposição de desenhos ao seu campo de visão. Com o uso do GPS e de um compasso digital, o usuário torna-se hábil a registrar linhas de contorno do edifício com precisão, enquanto observa a construção. As linhas verdes representam uma reforma proposta e o usuário está livre para caminhar em torno da intervenção e avaliar a forma e o tamanho propostos, permitindo visualizar o contexto geral da reforma.

Outros exemplos de uso de equipamento para aplicações de RA Móvel podem ser encontrados em artigos de autores como Höllerer e Feiner (2004), Guo et al. (2008), Behzadan e Kamat, (2005), Behzadan e Kamat (2009), entre outros que tratam do tema.

Com o surgimento de Tablets e Smartphones, dotados de conexão wireless e GPS, tornou-se possível utilizar a RA Móvel de uma forma mais simplificada. Um exemplo disto foi desenvolvido pelos autores do presente trabalho através do uso do aplicativo Junaio<sup>1</sup> para simular uma marcação de um ambiente que sofreria reformas. A localização georreferenciada dos pontos foi determinada de antemão e, em cada um dos locais, foi exibida uma etiqueta com informações do serviço a ser feito. A próxima Figura [4] mostra o recente teste feito para simulação de reforma no Departamento de Arquitetura e Construção (IE). A primeira Figura [4-a] traz o dispositivo utilizado, um iPad 3, exibindo a camada de informação de RA inserida no ambiente para a simulação das ações de reforma (pintar, construir, demolir) e a outra Figura [4-b] mostra um detalhe de especificação em forma de link existente em cada etiqueta.

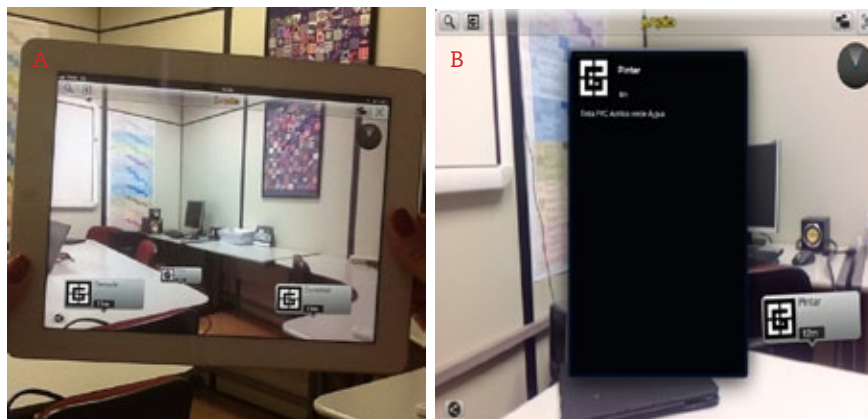
FIGURA 4

Teste de uso do aplicativo Junaio para simulação de camada virtual de informação de RA, descrevendo ações de reforma em um ambiente real.

Fonte: autores, 2012

a - Tela do iPad3 exibindo as tags (etiquetas) com as ações da reforma.

b - Detalhe de link na tag (etiqueta) "Pintar" com informações específicas sobre esta ação.



1. Disponível em: <[www.junaio.com](http://www.junaio.com)>



No sistema de RA Móvel, é possível utilizar esta técnica em momentos diferenciados no processo de projeto, de acordo com o nível de detalhe do modelo virtual. Se o modelo contiver somente o volume da edificação serve para um estudo da volumetria e implantação. Assim, na fase de estudo de implantação, é possível posicionar o modelo 3D da edificação a ser construída em escala real no ambiente. Isto possibilita a avaliação do impacto da futura edificação em termos da volumetria e interação com as edificações circundantes no ambiente real. Com o projeto pronto e o modelo 3D detalhado, um sistema de RA Móvel pode ser usado para marketing de vendas, possibilitando que clientes visualizem e/ou interajam com o edifício, ainda virtual, no espaço físico.

O sistema de RA Móvel com o uso de georreferenciamento, quando usado com tags (etiquetas) contendo texto descritivo/explicativo, pode especificar determinados Pontos de Interesse (POIs). Os POIs podem conter informações sobre resultados de Avaliação Pós-Ocupação (APO), dados para reforma, indicações em canteiro de obras – como disposição dos elementos no espaço.

Um uso interessante para sistemas de RA Móvel é a simulação de visão de raio x em edificações prontas. Tal procedimento permite a visualização das redes embutidas (elétrica, hidráulica, ar condicionado), virtualmente, através da alvenaria. Isto pode ser feito para checagem antes da utilização da edificação ou durante o uso/operação para detectar prováveis patologias ou manutenção de acordo com o projeto as built.

### 1.3. Interação por Controles Remotos

Esta técnica foi descrita por Kelner e Teichrieb (2008) como Reconhecimento de Gestos Pen-Stroke, uma vez que era baseada no reconhecimento do movimento de uma caneta sobre uma tela sensível ao toque. Atualmente, com a evolução das formas de interação, além de telas sensíveis ao toque, são encontradas pesquisas utilizando controles remotos de videogames, por exemplo, do console do Nintendo Wii.

O Virtual Innovation in Construction (VIC) é um projeto que busca desenvolver uma metodologia, VIC-MET, suportada pela Tecnologia da Informação e Comunicação, desenvolvido por Christiansson et al. (2011). O projeto busca envolver a participação dos usuários finais da edificação em cada fase do processo de projeto. O método visa capturar e formular as necessidades desses usuários, que podem ser incorporadas aos edifícios, além de requisitos das próprias edificações e suas funcionalidades.

O ambiente virtual inclui *Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)* e *Panorama*, uma solução de jogo baseada no Nintendo Wii e em um mundo virtual no *Second Life*.

Esse sistema tem sido mais utilizado em Realidade Virtual, propiciando controle da interação com o ambiente sintético. Em Realidade Aumentada, porém, o uso desses dispositivos ainda não é uma solução muito explorada. Porém,

vislumbra-se o uso de controles para movimentar modelos virtuais e, por meio de óculos de RA, visualizar a mistura dos mundos. Desta maneira, será possível realizar alterações no modelo virtual e visualizá-las em tempo real.

#### 1.4. Interfaces Tangíveis

A técnica de Interfaces Tangíveis permite a manipulação de objetos virtuais por meio de objetos físicos. Na interface com usuário tangível, conhecida como *Tangible User Interface* (TUI), os objetos físicos são usados para manipular dados digitais. A metáfora de TUI pode ser aplicada também para interfaces de RA, conhecida como RA Tangível (HALLER; BILLINGHURST; THOMAS, 2007). As interfaces tangíveis baseiam-se em toque para seu funcionamento. Nesta situação, objetos virtuais são conectados com objetos reais, por exemplo, o movimento de caixas numa mesa causa a movimentação de objetos no espaço virtual (HANZL, 2007).

Na RA Tangível, os objetos físicos e as interações são tão importantes quanto a imagem virtual e fornecem uma forma intuitiva de interagir com a interface de RA. A Figura [5] é um exemplo da RA Tangível. Nela, o usuário está usando um *Head-Mounted Display* que tem uma câmera anexada em frente a ele. Quando o usuário olha para uma página real do livro por meio do dispositivo, vê o objeto virtual pulando para fora dela. Como o objeto iate está endereçado à página física do livro, o usuário pode movê-lo e rotacioná-lo simplesmente movimentando o livro.

Nas RA Tangíveis, os elementos virtuais podem ser ligados com interfaces tangíveis para manipulação semelhante à de objetos reais, assim, são utilizados objetos físicos para interagir com conteúdo virtual (HALLER; BILLINGHURST; THOMAS, 2007; SCHNABEL, 2009).

Uma interface de RA Tangível fornece o registro espacial e apresenta os objetos virtuais em qualquer lugar no ambiente físico, enquanto permite que os usuários interajam com este conteúdo virtual, usando as mesmas técnicas que eles

FIGURA 5

Exemplo de Realidade Aumentada Tangível

Fonte: Lee, Kim e Billinghurst, 2007, p. 262



usariam com um objeto físico real (BILLINGHURST; KATO; POUPYREV, 2008). Assim, interfaces de RA Tangíveis fornecem manipulação intuitiva e efetiva de objetos virtuais por aproveitarem o imediatismo e a familiaridade de objetos físicos comuns. Essa manipulação direta reduz a carga cognitiva e diminui a curva de aprendizado do uso da interface (BELCHER; JOHNSON, 2008).

No objeto físico utilizado para interagir com o sistema de RA Tangível, devem ser observadas questões como aparência, as propriedades físicas, as representações semânticas, as relações espaciais e a habilidade para ajudar a manter o foco de atenção, não no sistema, mas no projeto que se está desenvolvendo (KATO et al. 2000).

O projeto MR Tent, desenvolvido por Wagner et al. (2009), busca usar tecnologias que possibilitam a participação em combinação com métodos para preparar e habilitar um grupo heterogêneo de participantes a criar uma visão de um projeto urbano. O objeto de estudo é localizado na cidade de Pontoise, a 40 km de Paris, França. O local tem 13 hectares e, desde 2005, abriga um departamento de polícia e é usado como campo de treinamento para brigada de incêndio. Nele, deseja-se construir 2000 unidades habitacionais, uma zona comercial, um centro de convenções e exposições.

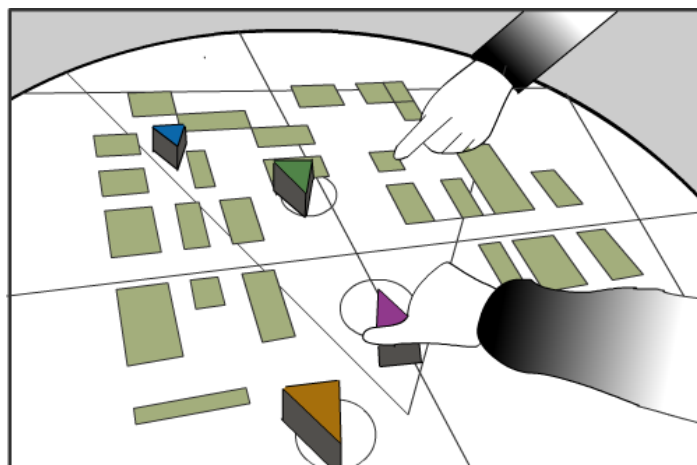
A infraestrutura técnica é alocada em uma tenda projetada especificadamente para as oficinas de projeto. A forma com que o espaço, os materiais e diferentes tipos de conteúdo afeta a participação dos colaboradores e o debate de questões urbanas é observada e discutida.

Para decidir o tipo e os locais das futuras edificações no projeto, os participantes colocavam objetos coloridos no mapa. Tais objetos eram associados aos elementos virtuais pela leitura do código de barras da carta escolhida [Figura 6]. A grande vantagem do uso dessa tecnologia foi trazer as pessoas ao redor da mesa e fornecer a elas ferramentas fáceis de aprender e manusear de uma forma interativa, de maneira que elas pudessem rapidamente desenvolver uma boa forma de trabalharem juntas.

FIGURA 6

Co-construção pela gesticulação e conversa

Fonte: WAGNER et al., 2009, p. 189



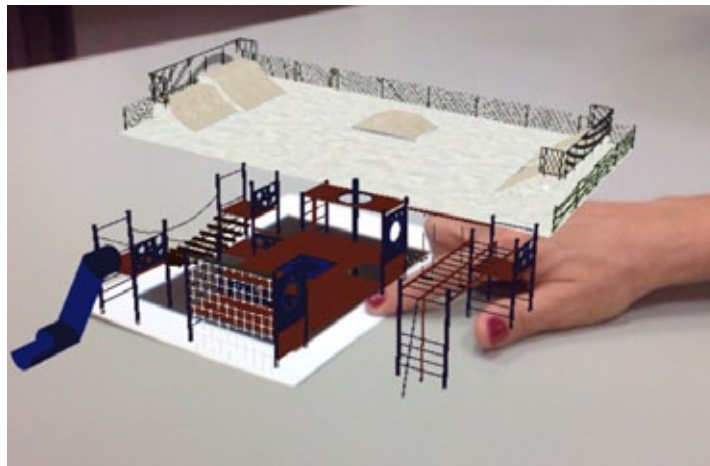
Em aplicações de RA Tangíveis, que utilizam dispositivos de visualização direta (como Head Mounted Display), o objeto virtual é visualizado na mesma posição e orientação que sua contraparte física, formando um mapeamento direto de suas propriedades, como posição e orientação (HALLER; BILLINGHURST; THOMAS, 2007). Assim, com o uso de dispositivos de visualização direta, não há desconexão entre o espaço em que se está desenvolvendo atividades e o espaço de exibição.

Essa técnica pode ser utilizada na fase de concepção de projeto. Uma pesquisa em desenvolvimento pelos autores foca o uso de RA no Projeto Participativo, utilizando essa técnica para concepção de projeto de uma área de lazer de um Conjunto Habitacional de Interesse Social. A Figura [7] mostra imagens que funcionam como marcadores sendo manipulados por um usuário. As imagens são superpostas pelo modelo virtual de um campo de skate e um parque infantil, respectivamente.

FIGURA 7

Projeto Participativo  
com uso de RA tangível

Fonte: autores, 2012



A RA Tangível também pode ser utilizada como ferramenta de marketing, permitindo que clientes manipulem e visualizem uma edificação virtual de forma direta, sem necessidade de conhecimentos aprofundados de informática.

## 2. Dispositivos de Visualização

Existem vários dispositivos de visualização que têm sido usados para RA. Cada dispositivo tem sua vantagem e desvantagem de uma perspectiva do suporte à de colaboração. Kiyokawa (2007) destaca como dispositivo de visualização: Volumetric Display, IllusionHole, Virtual Showcase, Optical STHMD, Vídeo STHMD, Projective HMD, Handheld vídeo ST, Projection-based (KIYOKAWA, 2007). Bimber e Raskar (2005) categorizam os dispositivos de visualização como head-attached displays, *hand-held displays* e dispositivos espaciais. Neste texto, é utilizada a nomenclatura *Smartphones* e *Tablets* para os dispositivos *hand-helds*, uma vez que são os dispositivos móveis comumente utilizados.

## 2.1. Head-attached displays

Os *head-attached displays* requerem que o usuário use o sistema de visualização em sua cabeça. Existem três tipos diferentes, dependendo da tecnologia: *head-mounted displays*, dispositivos de retina e *head-mounted projectors*.

De acordo com Bimber e Raskar (2005), os *head-mounted displays* são os dispositivos de visualização mais usados para aplicações, pois utilizam algum tipo de *Head-attached display*. Os HMDs fazem parte de uma classe de dispositivos imersivos, utilizados em RA, caracterizados pela habilidade de permitir ao observador ver diretamente, através da mídia, o mundo a seu redor, alcançando a máxima possibilidade de presença e nível de qualidade imagética. Milgram et al. (1995) chamam atenção para o fato de que tais dispositivos óticos necessitam do rastreamento preciso e com baixa latência dos movimentos da cabeça do usuário. Ainda ressaltam que é importante observar a exatidão na calibração do ponto de vista e na adequação do campo de visão, além do desconforto ao usar o dispositivo.

Existem duas tecnologias diferentes de *head-mounted display*: *optical-based* e *video-based* (MACCHIARELLA; LIU; VINCENZI, 2009; SCHMORROW et al. 2009; BIMBER; RASKAR, 2005). Sistemas *optical-based* tipicamente usam dispositivos formados por lentes que permitem que o usuário veja o mundo real com o mundo virtual projetado nas lentes, que são posicionadas em frente dos olhos. As lentes translúcidas permitem que o usuário olhe diretamente por ela para ver o mundo real. Assim, o usuário vê o mundo virtual superposto ao físico. Sistemas *video-based* usam câmeras de vídeo que fornecem ao usuário uma visão do mundo real. O vídeo dessas câmeras é combinado com imagens virtuais, gerando a cena misturada entre o mundo real e o virtual. O resultado pode ser visualizado por meio do *head-mounted display* que fornece uma visão fechada por meio de monitores em frente dos olhos dos usuários.

Os *head-attached displays* requerem que o usuário use o sistema de visualização em sua cabeça. Schmorrow et al. (2009) e Bimber e Raskar (2005) apresentam uma forma exótica de *head-attached display*, um dispositivo de escaneamento de retina que usa laser de baixa potência para projetar luzes diretamente na retina do usuário. Dentre os *head-attached displays*, há ainda os dispositivos *head-mounted projectors*, que fazem uso de projetores em miniatura, ou painéis LCD em miniatura, com luz de fundo e imagens projetadas na superfície do ambiente real.

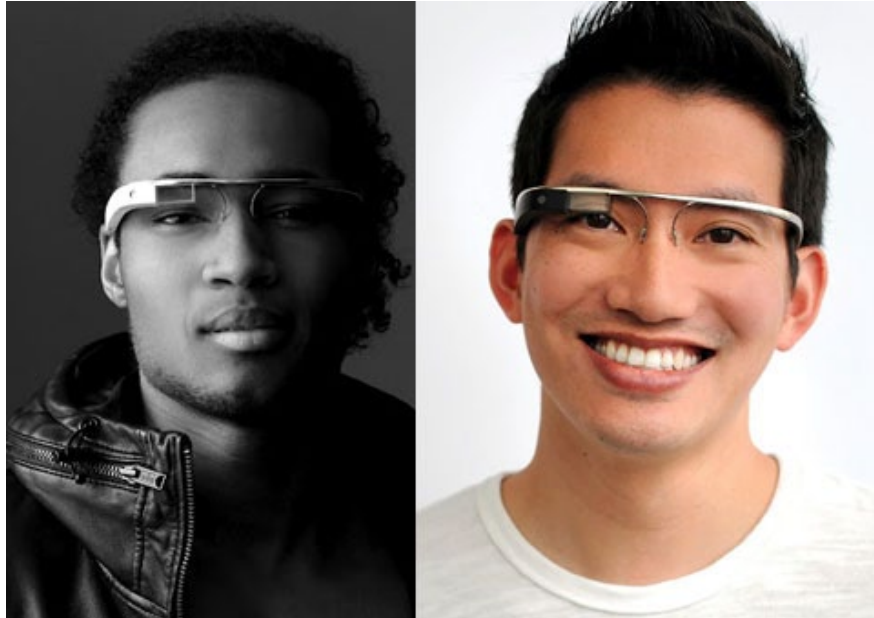
A Google está desenvolvendo o Project Glass<sup>2</sup> que foca no uso de Realidade Aumentada com óculos mais modernos, discretos e leves do que os atualmente disponíveis no mercado. O protótipo do dispositivo tem um *display* e uma câmera para captar imagens. A Figura [8] exibe uma imagem divulgada pela empresa para promoção do equipamento.

2. Disponível em: <<https://plus.google.com/111626127367496192147/posts>>

FIGURA 8

Protótipo do óculos de Realidade Aumentada do Google.

Fonte: Google, 2012, <https://plus.google.com/111626127367496192147/posts>.



Broll et al. (2004) desenvolveram o sistema ARTHUR, um sistema de RA que fornece um ambiente e ferramentas que suportam a colaboração entre os especialistas envolvidos no processo de projeto arquitetônico. ARTHUR tenta preservar a comunicação natural e a colaboração entre os usuários. Faz uso de dispositivos óticos *wireless*, como os *Head Mounted Displays*, para permitir a visão 3D natural. Os objetos virtuais são exibidos através de visualização estereoscópica para integrá-los ao ambiente físico.

O cenário de aplicação do sistema em um contexto urbano da cidade de Londres, Inglaterra, serviu como teste para projeto arquitetônico e urbano. Um modelo de Londres é exibido no tampo de uma mesa redonda, permitindo que os usuários encontrem um lugar apropriado para determinada edificação. Isso inclui a possibilidade de remover prédios existentes para criar um espaço apropriado para a nova edificação. Os usuários podem introduzir o novo edifício (que foi criado fora do ambiente ARTHUR) e manipulá-lo por meio de objetos que funcionam como marcadores. O ARTHUR, segundo os autores, fornece aos projetistas um novo instrumento que conecta os modelos 3D a mecanismos de interação similares àqueles do mundo real.

Para o projeto arquitetônico, o uso de *head-attached displays* em sistemas de RA permite grande liberdade de movimentação dos envolvidos e fornece, aos participantes, uma visualização individualizada e direta sobre seus olhos. Desta forma, cada usuário tem as mãos livres para manipular os modelos virtuais.

## 2.2. Smartphones e Tablets

Atualmente, com a disponibilidade de equipamentos móveis, tais como smartphones e tablets, pesquisas têm sido conduzidas fazendo uso desses meios para desenvolver aplicações de RA, aumentando a versatilidade na utilização dessa tecnologia (RÖSLER, 2009), o que pode indicar um aumento da gama de possíveis aplicações.

Os dispositivos móveis combinam, em um único aparelho, o processador, a memória, a visualização, a tecnologia de interação, GPS e compasso digital. Nesses sistemas, câmeras integradas capturam o vídeo do ambiente real e processam a mistura dos ambientes antes de exibi-las (BIMBER; RASKAR, 2005).

O Shimmer é um programa para iPad/iPhone que permite que os usuários utilizem modelos COLLADA (DAE), Wavefront (OBJ), 3D Studio (3DS) e DirectX (X) em Realidade Aumentada. O sistema utiliza notas bancárias como marcadores. As notas atualmente aceitas são de 1, 5 e 20 dólares americanos e algumas notas como a de 5 Euros, entre outras de outros países asiáticos. O usuário pode carregar modelos próprios que estão no aplicativo Dropbox ou em servidores de email. O modelo pode demorar a carregar dependendo da conexão wireless disponível. Para o teste apresentado neste texto, a seguir, um modelo de edifício foi desenvolvido em REVIT Architecture (Autodesk), exportado para o formato de arquivo FBX, importado para o 3D Max e exportado para COLLADA para ser inserido no Dropbox [Figura 9].

FIGURA 9

Modelo de edificação de edifício visualizado utilizando o aplicativo Shimmer para iPad

Fonte: autores (2012)



Algumas empresas desenvolvedoras, como Metaio, String, Qualcomm<sup>3</sup> disponibilizam Software Development Kits (SDKs) para RA em smartphones e tablets, que permitem o desenvolvimento de aplicativos customizados. Esses SDKs ampliam o uso desses equipamentos para RA, uma vez que possibilitam vasta gama de aplicabilidade.

3. Disponíveis em: <<http://www.metaio.com/>>, <<http://www.poweredbystring.com/>> e <<https://ar.qualcomm.at/>>.

Aplicativos para *smartphones* e *tablets* como Junaio, Layar e Wikitude<sup>4</sup> funcionam como navegadores de RA. Tais sistemas possuem documentação da *Application Programming Interface* (API) que possibilita a rápida interação com a programação, facilitando a implementação de ações com RA.

### 2.3. Dispositivos Espaciais

Os dispositivos espaciais, em contraste com os dispositivos anteriores, integram o elemento virtual ao ambiente real de maneira que o usuário não necessite usar (vestir) equipamentos, pois estes estão conectados a ele. Nesta categoria estão, de acordo com Bimber e Raskar (2005): *spatial optical see-through displays* e *projection-based spatial displays*, *screen-based vídeo see-through displays*. Os *spatial optical see-through displays* geram imagens que são alinhadas com o ambiente físico. Utilizam combinação ótica espacial como espelhos planos ou curvos, telas transparentes ou hologramas óticos. Os *projector-based spatial displays* usam a projeção frontal para projetar imagens diretamente nas superfícies de objetos físicos. Para essa técnica, são usados projetores estáticos individuais, ou estéreos, ou múltiplos. Os sistemas *screen-based video see-through displays* fazem uso de uma câmera para captar o mundo real, processam as informações e exibem as imagens misturadas em um monitor regular ou projetam a cena composta em uma tela plana (como o monitor de um computador ou uma tela com projeção de datashow). Essa forma de experimentar RA fornece um baixo nível de imersão, o que, nesses ambientes, é comumente ligado ao campo de visão do observador. Nesse caso, o campo de visão é limitado e restrito ao tamanho do monitor ou da tela. Essa é uma técnica comum para experimentar RA, pois não demanda equipamentos dispendiosos, somente um computador, web câmera e monitor, oferecendo, assim, o melhor custo-benefício.

## 3. Rastreamento

O registro correto e consistente entre os objetos virtuais e o ambiente real é uma das mais importantes tarefas da RA. O rastreamento e o registro são os maiores desafios da pesquisa em RA atualmente. No que diz respeito ao método usado para calcular onde se adicionará o objeto virtual e a forma de rastreamento, Bimber e Raskar (2005) destacam a utilização de: marcadores, tecnologia de sistema de posicionamento global (GPS) e sensores infravermelhos. Esforços têm sido feitos para melhorar a performance, a precisão e o custo de sistemas de rastreamento. Tais sistemas visam determinar, continuamente, a posição do usuário ou objeto real a ser usado para sobrepor o virtual no ambiente físico. Conforme Kirner e Siscoutto (2008), o rastreamento tem a função de identificar a posição da mão, da cabeça, do próprio usuário ou de algum

4. Disponíveis em: <[www.junaio.com](http://www.junaio.com)>, <<http://www.layar.com/>> e <<http://www.wikitude.com/>>.



objeto ligado a ele. Assim, é possível que o usuário controle o posicionamento de objetos virtuais e, com isso, possa movimentar-se de maneira a agarrá-los, movê-los ou soltá-los, por exemplo.

O rastreamento ótico é muito popular. Este tipo de rastreamento permite extrair de forma rápida a posição e orientação de marcadores e, para tanto, pode ser usado apenas com uma *web* câmera simples, representando uma opção de baixo custo (BIMBER; RASKAR, 2005). Por meio de um marcador, é possível alterar determinados atributos como a visibilidade, translação, rotação e escala dos objetos virtuais. Ainda por meio de *script* específico, é possível associar um movimento do marcador com alguma parte de uma animação específica (SANTIN; KIRNER, 2008). Nas RA Tangíveis, o uso de marcadores é o método mais comum para interação. Assim, por meio do rastreamento óptico, não é preciso usar dispositivos como luvas com sensores, nem *wearable computers*; os usuários interagem com a interface usando as mãos livres. Isso faz com que os usuários sintam-se à vontade para manipular marcadores que estão associados a objetos virtuais.

Um marcador é uma imagem com certo padrão visual reconhecido pelo sistema de RA, conforme a Figura [10], que serve para orientar e posicionar objetos virtuais na cena. Com isto, o marcador passa a ser o meio de interação entre o usuário e o sistema, possibilitando que o usuário manipule o marcador e, ao fazer isto, execute ações nos objetos virtuais exibidos na cena. Os marcadores permitem a localização precisa de pontos no espaço real e sua associação com o objeto virtual. Existem dois tipos de marcadores: fiducial e natural. O fiducial possui certo padrão gráfico em preto e branco, já o marcador natural pode ser uma imagem fotográfica ou um objeto físico.

Para a visualização da RA com marcadores, comumente são utilizados dispositivos especiais como *head-mounted displays*, dispositivos móveis (ex. smartphones e tablets), monitores de computador e projeções em telas. A Figura [11] mostra o uso de marcadores e, como dispositivo de visualização, a imagem projetada em uma tela (*técnica de screen-based video see-through displays*).

FIGURA 10

Exemplo de marcador  
fiducial

Fonte: ArToolKit



FIGURA 11

Utilização de marcadores e, como dispositivo de visualização, a imagem projetada na tela

Fonte: autores (2011)



De acordo com Bimber e Raskcar (2005), soluções de rastreamento que não requerem marcadores, *markerless tracking*, são as mais desafiadoras e as mais promissoras para aplicações de RA futuras. Alta qualidade de rastreamento em grandes ambientes, como os externos, é ainda difícil de alcançar, mesmo com tecnologia de GPS.

Quando não existe um elemento 2D que faça a associação do elemento virtual com o real, torna-se necessária a captura das coordenadas reais do usuário no mundo físico, o que permite que este caminhe pelo espaço visualizando as informações relacionadas ao ambiente, por exemplo: localizações de restaurantes, lojas, bares, entre outras funcionalidades [Figura 12]. As informações são atualizadas em tempo real, ou seja, refletem ao usuário a visão real durante o passeio de acordo com seus movimentos, através do recebimento de sinal de GPS enquanto veste um HMD (BONSOR, 2009).

Um exemplo que emprega o GPS do iPhone (Apple Inc.) para ler latitude, longitude e elevação para obtenção dos dados de posição do equipamento, representando as coordenadas X, Y e Z, é o sistema chamado MOOAR system (*Multi-Object Oriented Augmented Reality system*) (CHANG; TAN, 2010). Além dessas

Figura 12

Uso prático de RA em ambiente externo

Fonte: BONSOR, 2009, <http://computer.howstuffworks.com/augmented-reality.htm>

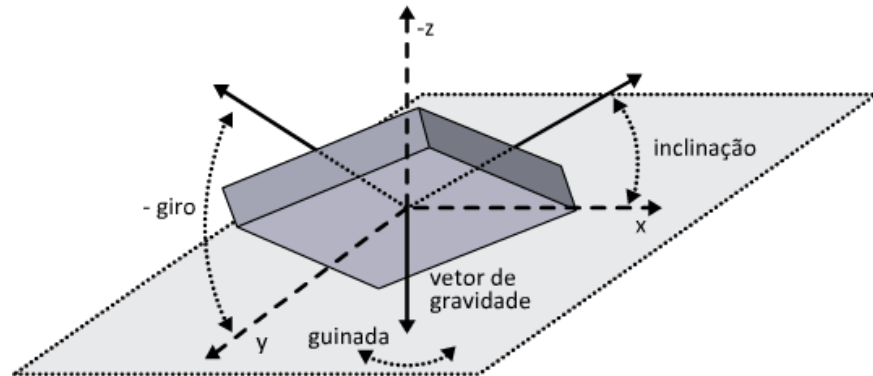


coordenadas, a bússola digital e o acelerômetro do iPhone são usados para detectar a orientação do dispositivo. A Figura [13] mostra as coordenadas detectadas pelo GPS do iPhone para obter os 6 graus de liberdade, o que é fundamental para permitir interação de RA no sistema móvel.

FIGURA 13

Os 6 graus de liberdade (6DOF) do iPhone

Fonte: CHANG; TAN, 2010, p. 22



Atualmente os equipamentos para RA que usam sinal de GPS para rastrear a posição do usuário são usados com certa confiabilidade em áreas externas. Em ambientes internos, nos quais a localização exata do usuário pode não ser confiavelmente detectada pelo sinal de GPS (sinal via satélite), é mais comum o uso de marcadores, como foi mencionado, porém já existem tecnologias sendo desenvolvidas para se obter o mesmo resultado (KHOURY; KAMAT, 2009). As restrições relativas ao rastreamento devem evoluir à medida que as tecnologias forem desenvolvidas com o propósito de proporcionar maior precisão e liberdade ao usuário.

## Considerações Finais

Este artigo faz uma revisão do estado da arte atual das tecnologias utilizadas para Realidade Aumentada e sua aplicação atual e futura em Arquitetura, Engenharia e Construção. Considera-se que a RA é uma tecnologia que se adequa ao processo de modernização dos métodos de construção que envolve as áreas de AEC.

Conforme exemplificado neste texto, algumas pesquisas têm usado RA, especialmente, na fase de concepção de projeto em AEC. Nota-se, porém, que pode contribuir em todos os estágios da construção, desde o projeto até as fases de operação e manutenção. Notavelmente, para apresentação das propostas da edificação, a RA pode propiciar um maior entendimento, favorecendo assim, a discussão - seja entre a equipe de projeto ou entre equipe e usuários, nos casos que envolvam sua participação. Na fase de vendas das edificações, a RA pode ser voltada para o marketing. Durante a fase de operação e manutenção de um edifício também faz-se possível utilizar RA para exibição de dados de

APO e simulação de visão de raio x – visualização de redes embutidas (elétrica, hidráulica, ar condicionado).

Cabe dizer que as ferramentas para desenvolvimento de aplicações de RA estão em constante melhoria, de acordo com as necessidades dos desenvolvedores e usuários. Dentre as ferramentas já testadas pelos autores, tendo em vista a utilização em AEC, faz-se necessário que os sistemas possuam Interface com o Usuário amigável. Além disso, são necessárias mais informações técnicas sobre tratamento do modelo virtual (tanto no tocante à vértices do modelo quanto no tratamento das imagens usadas como texturas). Isto porque, para desenvolver tais aplicativos é necessário conhecimento tanto de programação quanto de modelagem, além do normalmente requerido pelos profissionais da área.

Muito já foi desenvolvido, mas, com a evolução da tecnologia o uso da RA pode expandir-se ainda mais. Novas possibilidades surgem e, com elas, novas maneiras de interagir e manipular os objetos virtuais presentes nestes ambientes são criadas. Atualmente há vários focos de desenvolvimento de RA no Brasil, não necessariamente voltados à AEC. Este artigo, no entanto, mostra experimentos realizados no país, no âmbito de pesquisas acadêmicas, que significam um avanço neste campo.

## Agradecimentos

À Fapesp, por possibilitar as pesquisas de doutorado e pós-doutorado que embasaram este texto.

## Referências

BELCHER, D.; JOHNSON, B. R. ARchitectureView. In: Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe Conferences - eCAADe, 26., 2008. Proceedings... Antwerpen, Belgium. pp. 561-568.

BEHZADAN, A.H.; KAMAT, V.R. Visualization of Construction Graphics in Outdoor Augmented Reality. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2005, Piscataway. Proceedings... Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) - M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds, 2005. pp. 1914-1920. Disponível em: <<http://pathfinder.engin.umich.edu>>. Acesso em: 10 maio 2012.

\_\_\_\_\_. Interactive Augmented Reality Visualization for Improved Damage Prevention and Maintenance of Underground Infrastructure. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2009, Seattle. Proceedings... Seattle: American Society of Civil Engineers, 2009. pp. 1214-1222. Disponível em: <<http://pathfinder.engin.umich.edu>>. Acesso em: 20 mai. 2012.

BEHZADAN, A.H.; TIMM, B.W.; KAMAT, V.R. General-Purpose Modular Hardware and Software Framework for Mobile Outdoor Augmented Reality Applications in Engineering. In: **Advanced Engineering Informatics**. Amsterdam, v. 22, n. 1, January 2008. pp. 90-105. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu>>. Acesso em: 28 abr. 2010.

BILLINGHURST, M.; KATO, H.; POUPYREV, I. Tangible augmented reality. In: SIGGRAPH ASIA 2008. **International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques**. ACM: New York, n. 7, 2008. Disponível em: <<http://portal.acm.org/>>. Acesso em: 03 out. 2010.

BIMBER, O; RASKAR, R. **Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds**. Wellesley: A K Peters, Ltd., 2005, 369p.

Bonsor, K. How Augmented Reality Will Work. 2009. Disponível em: <http://computer.howstuffworks.com/augmented-reality.htm> . Acesso em: 09 mar. 2012.

BROLL, W. et al. ARTHUR: A Collaborative Augmented Environment for Architectural Design and Urban Planning. **Journal of Virtual Reality and Broadcasting**, v. 1, n. 1, pp. 1-10, 2004. ISSN 1860-2037. Disponível em: < [http://www.cs.wpi.edu/~gogo/hive/papers/broll\\_JVRB2004.pdf](http://www.cs.wpi.edu/~gogo/hive/papers/broll_JVRB2004.pdf) >. Acesso em: 24 mai. 2011.

BROLL W. et al. An Infrastructure for Realizing Custom-Tailored Augmented Reality User Interfaces. In: **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 11, n. 6, pp. 722-733, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/>>. Acesso em: 09 ago. 2012.

CHANG, W.; TAN, Q. Augmented Reality System Design and Scenario Study for Location-based Adaptive Mobile Learning. In: IEEE International Conference on Computational Science and Engineering, 13., Hong Kong, China. **Proceeding...** Hong King, december 2010, pp. 20 - 27.

CHRISTIANSSON, P. et al. User participation in the building process. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 16, pp. 309-334, 2011. ISSN 1874-4753. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2011/20>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

D'STRICT. **Hyper Presentation**. <http://global.dstrict.com/hyperpresentation/>. Augmented Reality business presentation platform with full gesture sensing control, 2012. Acesso em: 10 jun. 2012.

FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. C. **Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura**. *arquiteturarevista*, v.6: 127-135 pp. 2010.

GUO, Y. et al. Application of Augmented Reality GIS in Architecture. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 21., 2008, Beijing. **Artigo Técnico...** Beijing: ISPRS - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2008. V. XXXVII. pp. 331 - 336. Disponível em: <<http://www.isprs.org>>. Acesso em: 14 abr. 2012.

HANZL, M. Information technology as a tool for public participation in urban planning: a review of experiments and potentials. **Design Studies**, v. 28, n. 3, pp.

289-307, maio 2007. Obtido via base de dados SCIENCE DIRECT. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 09 set. 2010.

HALLER, M.; BILLINGHURST, M.; THOMAS, B. **Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design**. Idea Group Publishing, 2007. 415 ISBN 1-59904-066-2.

HÖLLERER, T. H., FEINER, S. K., Mobile Augmented Reality. In: *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services*. **Artigo Técnico...** London: H. Karimi and A. Hammad editors/Taylor and Francis Books Ltd, 2004. p. 1-39. Disponível em: <<http://www.cs.ucsb.edu/>>. Acesso em 20/04/2012.

KATO, H. *et al.* **Virtual object manipulation on a table-top AR environment**. (ISAR 2000). Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2000. p.111-119.

KELNER, J.; TEICHRIEB, V. Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada. In: SISCOOTTO, R. e COSTA, R. (Ed.). **Realidade Virtual e Aumentada: Uma Abordagem Tecnológica**. João Pessoa - PB: Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2008. p.45-65.

KIYOKAWA, K. Human Communication in Collaborative Augmented Reality Systems. In: HALLER, M.; BILLINGHURST, M.; THOMAS, B. **Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design**. Idea Group Publishing, 2007, cap XII, p. 236-260. ISBN 1-59904-066-2.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: SISCOOTTO, R. e COSTA, R. (Ed.). **Realidade Virtual e Aumentada: Uma Abordagem Tecnológica**. João Pessoa - PB: Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2008. p.1-20.

KHOURY, H.; KAMAT, V. Evaluation of position tracking technologies for user localization in indoor construction environments. **Automation in Construction**, Amsterdam, v 18, n. 4, 2009, p. 444--457.

LEE, G., KIM, G. and BILLINGHURST, M. Interaction Design for Tangible Augmented Reality Applications. In M. Haller, M. Billinghurst and B. Thomas (Ed.), **Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design**: 261-282. Hershey, PA: Idea Group. 2007. (Capítulo de livro)

MACCHIARELLA, N. D.; LIU, D. VINCENZI, D. A. Augmented Reality as a Mens of Job Task Training in Aviation. In: VINCENZI, D. A. *et al.* **Human factors in Simulation and Training**. New York: 2009. p.201-228. ISBN 9781420072839.

MILGRAM, P. *et al.* **Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum**. Proceedings of the SPIE Conference on Telemanipulator and Telepresence Technologies, 1995. p.282-292.

RÖSLER, A. Augmented Reality Games on the iPhone. 36 p. Thesis (BA). Blekinge Institute of Technology, Karlskrona. 2009.

SANTIN, R.; KIRNER, C. ARToolkit: Conceitos e Ferramenta de Autoria Colaborativa. In: SISCOOTTO, R. e COSTA, R. (Ed.). **Realidade Virtual e Aumentada: Uma Abordagem Tecnológica**. João Pessoa - PB: Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2008. p.178-276.

SCHMORROW, D. et al. Virtual Reality in the Training Environment. In: VINCENZI, D. A. et al. **Human factors in Simulation and Training**. New York: 2009. p.201-228. ISBN 9781420072839.

SCHNABEL, M. A. Framing Mixed Realities. In: WANG, X.; SCHNABEL, M. A (Ed.). **Mixed Reality in Architecture, Design & Construction**: Springer, 2009. cap. 1, p.13-21. ISBN 978-1-4020-9087-5.

THOMAS, B.; PIEKARSKI, W.; GUNTHER, B. Using Augmented Reality to Visualize Architecture Design in an Outdoor Environment. In: Design Computing on the Net: DCNET, 1999, Sidney. **Artigo Técnico...** Sidney, 1999. 8 p. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu>>. Acesso em 03/05/2012.

WAGNER, I. et al. **Supporting community engagement in the city**: urban planning in the MR-tent. Proceedings of the fourth international conference on Communities and technologies, 2009. University Park, PA, USA. ACM. p.185-194.

WANG, X. Agent-based Augmented Reality System for Urban Design: Framework and Experimentation. In: CAADRIA 2007 - **Proceedings of the International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia**, 12. Nanjing (China). 2007. p.561-568.

WANG, X.; GU, N.; MARCHANT, D. An Empirical Study on Designers' Perceptions of Augmented Reality within an Architectural Firm. **Electronic Journal of Information Technology in Construction ITcon**, 13 (special issue), 2008, p. 536-552. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2008/33>>. Acesso em: 17/10/2011.

ZORZAL, E.R. et al. Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Aumentada. In: Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - WRVA 2010, 6, Santos - SP. **Anais...** Porto Alegre - RS : SBC, 6 p., 2010.