

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA PROJETIVA COM APLICAÇÃO EM EDUCAÇÃO

---

ALUNO: RAFAEL ROBERTO  
ORIENTAÇÃO: VERONICA TEICHRIEB

RECIFE, 1 DE MARÇO DE 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE INFORMÁTICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE REALIDADE  
AUMENTADA PROJETIVA COM APLICAÇÃO EM  
EDUCAÇÃO

RAFAEL ALVES ROBERTO  
(rar3@cin.ufpe.br)

Este trabalho foi apresentado à Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

ORIENTADO PELA PROFA. DRA. VERONICA TEICHRIEB

**Catalogação na fonte  
Bibliotecária Jane Souto Maior, CRB4-571**

**Roberto, Rafael Alves**

**Desenvolvimento de sistema de realidade aumentada  
projetiva com aplicação em educação / Rafael Alves  
Roberto. - Recife: O Autor, 2012.**

**53 folhas: il., fig.**

**Orientador: Verônica Teichrieb.**

**Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Pernambuco. CIn, Ciência da Computação, 2012.  
Inclui bibliografia.**

**1. Realidade aumentada. 2. Educação. 3. Interface tangível. 4.  
Interação homem - máquina. I. Teichrieb, Verônica (orientadora).  
II. Título.**

**006.8**

**CDD (23. ed.)**

**MEI2012 – 038**

*"Na mudança do presente a gente molda o futuro."*

- Gabriel, o Pensador

# AGRADECIMENTOS

---

Mais uma etapa concluída. Termino este mestrado com a satisfação de quem passou dois anos pesquisando algo que gosta e a sensação de dever cumprido por ter conseguido aplicar este conhecimento adquirido em algo que pode contribuir para uma área tão nobre quanto a educação.

Para isso, um dos maiores clichês se aplica: *eu não conseguia ter feito isso sozinho*. Assim, eu gostaria de agradecer à minha família, especialmente aos meu pais, por terem me dado todas as condições para conduzir este trabalho.

Gostaria de agradecer aos meus amigos. Mesmo alguns estando distantes, na geografia ou no conteúdo deste trabalho, me ouviram e deram conselhos preciosos. Com eles eu adquiri experiência de vida que contribuíram enormemente no desenvolvimento técnico.

Aqui também cabe uma menção aos amigos que fiz no GRVM/GPRT. Lá fui muito bem acolhido e tive as portas abertas para a pesquisa com realidade aumentada. Algumas das ideias para este trabalho surgiram enquanto eu ainda estava lá, o que mostra a importância que este grupo representou para mim.

Hoje o Voxar Labs é praticamente uma segunda casa para mim, um lugar que vem me dando toda a estrutura para crescer como pesquisador, profissional e pessoa. Nele fiz novos amigos com os quais tivemos muitos debates produtivos, que ajudaram enormemente em muitas das decisões que moldaram esta pesquisa. Por me propiciar este excelente ambiente de trabalho eu agradeço a professora Veronica, que além disso foi uma grande orientadora.

Deixo meus sinceros agradecimentos a Daniel e a Maõzinha, que com o olhar de designer fizeram preciosas observações neste trabalho e ainda me ensinaram a pensar “fora da caixa”.

Por último, mas não menos importante eu gostaria de agradecer a todos os professores que puderam contribuir com este trabalho, seja participando de alguma entrevista ou conversa informal de corredor, em especial a Manu, cuja influência neste projeto foi inestimável. Além de uma grande consultora foi uma **“pequena”** companheira em toda esta etapa.

# RESUMO

---

A tecnologia vem tendo um papel muito importante no ensino por trazer uma valiosa contribuição na possibilidade de estabelecer uma relação entre o conteúdo e o aluno, que é uma necessidade da educação atual. Deste modo, é natural pensar que inserir computadores na sala de aula é uma boa alternativa. Entretanto, só é possível classificar como um ambiente de aprendizagem informatizado aquele onde o recurso tecnológico está integrado ao plano de aula do educador, funcionando como instrumento pedagógico. Além disso, apesar das vantagens providas pelos sistemas computacionais, estes por vezes ainda possuem limitações em relação à experiência de uso do aluno, especialmente quando se trata de crianças.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo conduzir uma pesquisa acerca do uso de soluções que utilizem realidade aumentada projetiva e interfaces tangíveis como instrumento para auxiliar os professores no processo de construção do aprendizado dos alunos. Deste modo, foi desenvolvido o ARBlocks, uma plataforma de blocos dinâmicos voltada para atividades educacionais infantis. Diferentemente dos conjuntos de blocos tradicionalmente usados em sala de aula, o protótipo criado não tem nenhuma informação gravada em suas faces, sendo ela inserida dinamicamente durante o seu uso. Para que isto ocorra, os blocos são rastreados utilizando um marcador de borda concebido pelo autor e o conteúdo correspondente projetado apenas na sua superfície utilizando uma técnica de calibração de projetores.

Por ser um sistema computacional tangível, o ARBlocks possui algumas vantagens em relação aos blocos tradicionais, como a versatilidade de em um único conjunto de blocos conseguir executar várias atividades diferentes ou fornecer estímulos visuais e auditivos para as crianças. Estes benefícios são alcançados sem perder as características positivas dos objetos manipuláveis, já que os pequenos alunos desenvolvem importantes habilidades a partir do manuseio de artefatos.

Foram realizadas duas análises sobre o ARBlocks. A primeira, computacional, mostrou que o alinhamento do sistema câmera-projetor é realizado automaticamente e que a ferramenta fornece rastreamento em tempo real. Estes fatores permitem que os alunos e professores interajam com os blocos como se as informações digitais inseridas estivessem realmente gravadas neles. Num segundo momento, professores avaliaram positivamente o uso desta ferramenta como instrumento para a educação infantil.

# ABSTRACT

---

Technology is having a very important role in education because it gives a valuable contribution in the possibility of establishing a relationship between the content and the student, which is a requirement of modern education. Thus, it is natural to think that inserting computers in the classroom is a good alternative. However, you can only classify as a computerized learning environment that where technology is integrated with the teacher's lesson plan, working as an educational tool. Moreover, despite the advantages provided by computer systems, sometimes they still have limitations regarding students' experience, especially when it comes to children.

In this context, this work aims to conduct a research on the use of projective augmented reality and tangible interfaces solutions as a tool to assist teachers in the student learning construction process. Thus, we developed the ARBlocks, a dynamic blocks platform for children educational activities. Different from the blocks sets traditionally used in classrooms, the prototype created does not have images on the blocks faces, being inserted dynamically during the use. To achieve this, the blocks are tracked using a frame marker designed by the author and the corresponding content is projected only on its surface using a projector calibration technique.

Since it is a tangible computer system, the ARBlocks has some advantages over the traditional blocks, such as the versatility of performing numerous different activities with a single set of blocks and the possibility of providing visual and auditory feedback for children. These benefits are achieved without losing the known positive characteristics of manipulable objects, since the young students develop important skills by handling artifacts.

Two different analysis were performed of the ARBlocks. The first one, regarding computational metrics, showed that the alignment of the camera-projector system is performed automatically and the tool performs a real-time tracking. These factors allow students and teachers to interact with the blocks like the digital information projected were actually printed on their faces. The second one was regarding educational aspects, and the teachers positively evaluated the use of this system as an educational tool.

# ÍNDICE

---

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVO .....	2
1.2. ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	2
<b>2. EDUCAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
2.1. EDUCAÇÃO LÚDICA .....	5
2.1.1. INTERFACES TANGÍVEIS NA EDUCAÇÃO.....	6
2.1.2. ATIVIDADES COM BLOCOS.....	7
2.2. TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO.....	7
<b>3. REALIDADE AUMENTADA PROJETIVA.....</b>	<b>9</b>
3.1. RASTREAMENTO .....	10
3.1.1. RASTREAMENTO COM MARCADORES .....	11
3.1.2. RASTREAMENTO SEM MARCADORES .....	15
3.2. VISUALIZAÇÃO .....	18
3.2.1. DISPLAY ANEXADO À CABEÇA.....	19
3.2.2. DISPLAY AO ALCANCE DAS MÃOS .....	20
3.2.3. DISPLAY BASEADO EM TELAS .....	21
3.2.4. DISPLAY ESPACIAL .....	21
3.3. INTERAÇÃO.....	24
3.4. ALINHAMENTO .....	25
3.5. REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO .....	27
<b>4. ARBLOCKS: PLATAFORMA DE BLOCOS DINÂMICOS .....</b>	<b>30</b>
4.1. ANÁLISE DE CONCORRENTES .....	32
4.2. DESIGN DO ARBLOCKS.....	33
4.2.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	33
4.2.2. COLETA DE DADOS .....	33
4.3. DESENVOLVIMENTO DO ARBLOCKS.....	35
4.3.1. ARQUITETURA DO SISTEMA .....	36
4.3.2. IMPLEMENTAÇÃO .....	37
4.4. ESTUDO DE CASO .....	40
4.5. RESULTADOS.....	41

4.5.1. RESULTADOS COMPUTACIONAIS.....	42
4.5.2. RESULTADOS EDUCACIONAIS.....	44
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<hr/>	
<b>5.1. CONTRIBUIÇÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2. TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

---

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1: o computador pode ser um importante elemento pedagógico. Porém, tecnologia na educação vai muito além de inserir máquinas na sala de aula.	1
Figura 2: educação gera conhecimento e sabedoria, mas para muitos alunos o processo de aprender é doloroso e frustrante. A tecnologia, quando bem usada por educadores, pode ser um instrumento para engajar os alunos nesta caminhada.	3
Figura 3: gráfico mostrando o resultado do aumento do desempenho a partir do uso do aplicativo no lugar de livro.	8
Figura 4: os <i>head-up displays</i> , já encontrados em muitos aviões nos dias de hoje, são um bom exemplo para ilustrar a utilização da realidade aumentada projetiva. As informações virtuais são inseridas diretamente no mundo real através de projetores.	9
Figura 5: exemplo de um marcador fiducial.	11
Figura 6: exemplo de um marcador baseado em ID.	12
Figura 7: exemplo de um marcador <i>Data Matrix</i> .	12
Figura 8: exemplo de um <i>QR Code</i> .	12
Figura 9: exemplo de um marcador separado.	13
Figura 10: exemplo de um marcador de borda.	13
Figura 11: exemplo de um marcador por pontos aleatórios em formato de estrela.	13
Figura 12: no topo do infográfico, a sequência básica de passos para o rastreamento de marcadores; abaixo, uma comparação entre seus vários tipos.	14
Figura 13: imagem representando uma reconstrução usando SfM. Nela pode-se ver as <i>features</i> extraídas, suas correspondentes nos quadros seguintes, os pontos 3D obtidos a partir delas e a relação entre uma câmera e outra.	17
Figura 14: infográfico mostra a taxonomia das técnicas de realidade aumentada sem marcadores, assim como um exemplo de seus usos.	18
Figura 15: as formas como o usuário pode visualizar a cena numa aplicação de realidade aumentada.	19
Figura 16: exemplo, acoplado a um óculos, de um <i>display de retina</i> que projeta a informação diretamente nos olhos do usuário.	19
Figura 17: em cima, um exemplo de um HMD <i>video see-through</i> , enquanto embaixo, um HMD <i>optical see-through</i> é mostrado.	20
Figura 18: celular com uma aplicação de realidade aumentada utilizando informação da câmera e dos sensores do aparelho.	20

Figura 19: o Sonic Flashlight é um exemplo de equipamento com um <i>display</i> ao alcance da mão que integra o real com o virtual por meio ótico. ....	20
Figura 20: monitor de computador sendo usado como <i>display</i> baseado em tela. ....	21
Figura 21: o HoloDesk, da Microsoft, é um exemplo de <i>display</i> espacial ótico que usa uma tela transparente para criar a sensação de hologramas. ....	22
Figura 22: exemplo de aplicação de realidade aumentada projetiva, onde o usuário interage com informações projetadas sobre um modelo de um carro sem textura. ....	22
Figura 23: exemplo de aplicação de realidade aumentada projetiva onde há rastreamento de acordo com o ponto de vista do usuário. ....	22
Figura 24: no topo, crianças interagem numa partida de futebol projetada no chão. Abaixo e à esquerda as veias de um paciente são mostradas utilizando um projetor. Já à direita uma cliente interatua com uma vitrine virtual. ....	23
Figura 25: nesta aplicação o usuário, a partir da sua sombra, precisa montar um quebra-cabeça. ....	24
Figura 26: o <i>ARHockey</i> utiliza interface tangível com sensores em aplicações de realidade aumentada projetiva. ....	25
Figura 27: a cor do objeto sobre o púlpito representa produtos que o usuário troca com os índios na simulação de um escambo. ....	25
Figura 28: tanto a camera como o projetor possuem seus próprios sistemas de coordenadas em relação ao sistema de coordenadas de mundo, no qual o objeto está presente. ....	25
Figura 29: alinhamento de projetores em sistema com mais de um deles. Em cima, antes do alinhamento e embaixo após esta etapa. ....	27
Figura 30: o <i>Volcano on a Book</i> é um exemplo de livro aumentado. ....	27
Figura 31: no <i>StreetMuseum</i> o usuário pode ver fotos históricas sobrepondo a imagem capturada pela câmera do celular. ....	28
Figura 32: o <i>Letters Alive</i> dá vida à animais na tela do computador e ajuda as crianças a formularem sentenças. ....	28
Figura 33: <i>Augmented Chemistry</i> em uso. Nele pode ser visto a garra na mão direita do usuário e o cubo que indica a orientação na mão esquerda. No canto inferior esquerdo da imagem está o catálogo de elementos e no inferior direito da figura, vemos a molécula montada pelo aluno. ....	28
Figura 34: ao usarem o <i>mirracle</i> , os estudantes podem ver um órgão posicionado corretamente sobreposto a eles, escolher um corte longitudinal ou latitudinal do seu corpo e outras funções. ....	29
Figura 35: software para a criação de ambientes com RA do <i>Augmented Reality Scratch</i> . Nele a criança pode inclusive programar interações entre os elementos virtuais. ....	29
Figura 36: blocos dinâmicos conseguem agregar todos os benefícios que as interfaces tangíveis tem para a educação com a flexibilidade de um sistema computacional que pode ser moldado às necessidades de professores e alunos. ....	30
Figura 37: conjunto de blocos contendo letras, no qual a criança desenvolverá a habilidade linguística. ....	31

Figura 38: de acordo com o seu conceito, o ARBlocks faz uso das vantagens da realidade aumentada projetiva para adaptar os tradicionais jogos de blocos.....	31
Figura 39: dois Sifteos juntamente com um dispositivo para conectá-los ao computador.....	32
Figura 40: Mesa Educacional Alfabeto, da Positivo, sendo aplicada numa sala de aula.....	33
Figura 41: fontes usadas no ARBlocks para garantir sua legibilidade.....	34
Figura 42: ossos da mão com o terceiro metacarpal em destaque.....	35
Figura 43: rascunhos iniciais e um protótipo em papel das alternativas finalistas.....	35
Figura 44: modelo 3D da solução selecionada para o ARBlocks.....	35
Figura 45: fluxo de execução do ARBlocks.....	37
Figura 46: marcador concebido para o ARBlocks.....	38
Figura 47: no topo à esquerda é visto a imagem original, capturada pela câmera; ao seu lado é mostrado o resultado da segmentação; na linha central é mostrada uma imagem com todas as linhas, extraídas com o Canny, e outra contendo apenas os potenciais marcadores; ao final, apenas o padrão proposto permanece.....	38
Figura 48: luzes estruturadas emitidas em sequência para que o alinhamento seja realizado.....	39
Figura 49: protótipo em isopor, onde no topo aparece o <i>menu</i> principal e abaixo um exemplo da atividade de formação de palavras.....	41
Figura 50: modelo tridimensional simulando a atividade proposta: no topo o exercício de associação de palavras e embaixo o de formação.....	41
Figura 51: configuração provisória, feita com canos de PVC. Nela o projetor consegue iluminar uma boa área da mesa, assim como a câmera, posicionada abaixo dele, é capaz de capturar toda a área de projeção.....	43
Figura 52: à esquerda é possível ver um bloco contendo uma informação projetada dentro da área vazia. Já na foto da direita o sistema está dando um retorno positivo para o usuário por ele ter juntado corretamente dois blocos correspondentes.....	44
Figura 53: ao unir ferramentas visuais e tecnológicas com o programa educacional do professor é possível ter crianças mais motivadas nas escolas.....	46

# 1. INTRODUÇÃO

---

Figura 1: o computador pode ser um importante elemento pedagógico. Porém, tecnologia na educação vai muito além de inserir máquinas na sala de aula.



Por um longo período de tempo, confundiu-se ensino com transmissão de conhecimentos. Desse modo, os alunos eram considerados passivos, sendo responsáveis apenas pela memorização dos conteúdos transmitidos pelo professor. Atualmente, porém, essas teorias foram derrubadas no sentido de que não há ensino sem aprendizagem e de que o conhecimento é encarado como um processo de construção.

Essa ideia de um ensino despertado pelo interesse do aluno acabou transformando o sentido do que se entende por material pedagógico. Nesse contexto, os objetos manipuláveis entram em cena, por serem bons facilitadores da aprendizagem. As atividades com este tipo de ferramenta tornaram-se bastante relevantes no contexto educacional ao se considerar as ideias Piagetianas. Sob a perspectiva de Jean Piaget, é possível constatar o quanto estes instrumentos contribuem para o desenvolvimento motor e cognitivo infantil [1].

Deste ponto de vista, as interfaces tangíveis são um bom instrumento para a criação de um material pedagógico que satisfaça grande parte das necessidades dos professores, pois são ferramentas palpáveis que conseguem auxiliar no processo de desenvolvimento dos alunos, contribuindo para a melhoria dos aspectos motores, das atividades colaborativas e da compreensão do mundo ao seu redor. Um material que se destaca por possuir essas características são os blocos interativos.

Outra ferramenta com a capacidade de preencher parte das necessidades dos professores são os computadores, que recentemente passaram a ser amplamente utilizados em sala de aula, especialmente como instrumento para simular as atividades que as crianças já exerciam no seu dia a dia.

Uma área de estudo da computação bastante promissora em relação a isto é a realidade aumentada [2]. Também conhecida como RA, ela consiste em inserir elementos virtuais em cenas reais, de modo que eles possam coexistir

sem que seja notado qual é o virtual e qual o real. Além disso, o usuário poderá interagir em tempo real com os objetos reais e virtuais.

Como forma de eliminar a necessidade de possuir algum dispositivo para visualizar a cena aumentada, por exemplo um *head-mounted display*, foi introduzida a realidade aumentada espacial, onde o ambiente físico do usuário é aumentado com imagens integradas diretamente a ele [3]. Um tipo particular de realidade aumentada espacial é aquele em que os elementos virtuais são inseridos por meio de projetores de imagens, chamada de realidade aumentada projetiva.

Apesar de possuir recursos visuais atrativos e ser interativo o suficiente para prender a atenção dos alunos, os programas executados por essas máquinas não conseguem estimular tão bem quanto os objetos palpáveis algumas habilidades importantes, já que funcionam basicamente como um dedo digital sobre uma superfície plana.

## 1.1. OBJETIVO

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma pesquisa sobre o potencial do uso de aplicações de realidade aumentada projetiva em sala de aula como um instrumento capaz de auxiliar os professores e alunos no processo de construção do conhecimento. Utilizando o resultado dessa investigação, foi desenvolvido o ARBlocks, o protótipo de uma plataforma de blocos dinâmicos voltada para atividades educacionais de crianças e que utiliza como base realidade aumentada projetiva e interfaces tangíveis.

Para tornar este projeto possível foi desenvolvido um marcador especial para esta aplicação, assim como um rastreador para ele. Foi necessário também solucionar o problema do alinhamento de um sistema câmera-projetor. Além disso, os blocos foram cuidadosamente pensados para suprir as necessidades das crianças, especialmente aquelas ligadas à

ergonomia e segurança. E como este conceito tem como objetivo ser utilizado em sala de aula, todo o processo de desenvolvimento foi centrado nos educadores e nas crianças.

## 1.2. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Os capítulos seguintes desta dissertação foram divididos da seguinte maneira: no segundo, os conceitos educacionais que serviram como base para a pesquisa são expostos; no capítulo três, é apresentado o estado da arte da realidade aumentada, focando na projetiva; no capítulo quatro, é apresentado o ARBlocks, solução proposta nesta pesquisa como ferramenta educacional utilizando realidade aumentada projetiva, assim como os seus resultados são discutidos; o quinto mostra as conclusões e contribuições deste trabalho.

## 2. EDUCAÇÃO

---

Figura 2: educação gera conhecimento e sabedoria, mas para muitos alunos o processo de aprender é doloroso e frustrante. A tecnologia, quando bem usada por educadores, pode ser um instrumento para engajar os alunos nesta caminhada.



A educação está presente de diferentes formas na vida de todos desde o nascimento, pois não há um único modo ou modelo de ensino, do mesmo modo que as instituições como conhecemos hoje não detêm a exclusividade de ser o lugar onde ela acontece. O mesmo pode-se dizer do professor, que não é o único praticante do processo de educar [4].

Como um exemplo, pode-se tomar as sociedades indígenas, onde a educação dos curumins era responsabilidade de todos da comunidade. Não havia um tempo especialmente dedicado para o ato de ensinar. O aprendizado era obtido através do convívio com os outros membros mais maduros da aldeia. As crianças aprendiam através da observação e das tentativas. Deste modo, pode-se perceber que a educação tribal é difusa e administrada por todos os membros da sociedade, na qual o aprendizado estava presente em todos os lugares, nas ruas, na família, nos jogos.

O ensino como conhecido hoje, também chamado como educação formal, surgiu na Grécia e foi para Roma ao longo de muitos séculos de história. Deles deriva a estrutura básica do nosso sistema educacional. Com o ensino formal, a educação se sujeita à pedagogia e cria situações próprias para seu exercício. Deste modo, surgem os conceitos de escola, aluno e professor [4].

A educação grega, assim como a atual, era dividida em *tecne* e teoria. A primeira era formada pelas práticas do ofício, voltadas para os trabalhadores manuais, tanto os livres como os escravos. Já a teoria continha as normas da vida, voltada para os homens livres e nobres.

Por volta de 600 A.C., com a necessidade da democratização do conhecimento, é criada em Atenas a escola primária, com o objetivo de ensinar as primeiras letras e contas às crianças livres. Por ela os nobres passavam rapidamente para aprender as teorias e tornar-se um adulto educado nas artes, músicas e filosofia. Já os

plebeus, após esse estágio, iam desenvolver suas habilidades em áreas mais práticas, como a agricultura enquanto os escravos sequer frequentavam as casas de primeiras letras.

Na Grécia, a educação não era considerada um direito, mas sim um dever imposto pelo estado aos homens livres. Acreditava-se que a sua prática modelaria o homem para se tornar um cidadão maduro a serviço da comunidade. Com o passar do tempo a educação passa a ser um direito provido pelo estado ao ponto que, por volta de 300 A.C., atrás das tropas de Alexandre, o Grande, a escola grega é levada para todos os territórios conquistados. Esta atitude é uma forma de fortalecer a cultura da pátria e não deixar que ela se perca entre os costumes e conhecimentos do povo dominado.

Já em Roma, a educação ficou sob responsabilidade das próprias famílias por mais tempo. Lá, as escolas primárias surgiram por volta de 400 A.C. sendo mantidas pela iniciativa particular. Apenas por volta do século IV D.C., o estado passou a administrar. Foram os romanos que, de forma simples, criaram a estrutura de ensino que temos até hoje. Nela as crianças entre sete e doze anos aprendiam as letras, dela até os 16 aprendiam a gramática e a partir dela os ofícios.

Os romanos copiaram alguns elementos do sistema de educação grego, como a separação em oficina de trabalho, onde os filhos de escravos e servos aprendiam os ofícios manuais, e escola livresca, local que recebe os futuros funcionários do estado e homens de negócios particulares. Assim como os gregos, os romanos levaram seu modelo de escola aos territórios conquistados, primeiro para educar os filhos da pátria que estavam longe e segundo para impor a cultura.

Deste modo, é notório que a estrutura educacional de uma determinada sociedade depende das necessidades dela, já que o ensino é, dentre outras coisas, uma forma de desenvolver nos jovens as capacidades físicas,

intelectuais e morais que a comunidade julga precisar.

Porém, esse processo nem sempre ocorre de maneira satisfatória, pois diversos fatores internos e externos à escola influenciam na construção do aprendizado por parte dos alunos. Atualmente, muitos países, incluindo o Brasil, enfrentam uma crise em seus sistemas de ensino, causada justamente pela mudança nas necessidades da sociedade, que está exigindo das escolas algo que ela não consegue fornecer.

Assim como na Grécia e em Roma, até pouco tempo apenas as pessoas vindas das classes mais altas precisavam passar por uma educação formal completa. Dos trabalhadores comuns, que representavam a grande maioria da população, era exigido apenas que aprendessem o necessário para executar as suas atividades.

Entretanto, após o fim da segunda guerra mundial, se difundiu a ideia de uma sociedade moderna, justa e democrática, onde os indivíduos tinham oportunidade de ascensão social a partir de seus próprios méritos. Nela, a escola era considerada um ambiente que daria iguais oportunidades e aqueles com melhor desempenho teriam melhores postos, causando uma expansão no sistema de ensino [5].

Este fato acarretou em problemas que são comuns ainda hoje, como a necessidade de contratar professores que não estão completamente qualificados para a prática do ensino, salas de aula com mais alunos do que o suportado e infra-estrutura comprometida. Nos anos de 1960 a geração resultado desta expansão vê a desvalorização de seus diplomas e títulos dado a massificação do acesso à educação. A frustração das expectativas de mobilidades sociais por meio da escola, juntamente com os problemas estruturais encontrados, gerou uma crítica ao sistema de ensino.

A desvalorização do professor é refletida também em seus salários, obrigando a maioria

dos educadores a possuir uma jornada de trabalho sobre-humana, impossibilitando que estes tenham acesso a vários instrumentos necessários para a prática de uma boa aula, como conteúdos culturais e capacitação.

Deste modo, ao não se sentir valorizado e sem uma estrutura mínima capaz de prover as condições necessárias para uma boa aula, os professores têm ficado cada vez mais desmotivados, o que acaba refletindo no interesse dos alunos.

Uma das consequências da crise atual é a falta de motivação, em particular por parte dos alunos, pois estes têm a tendência a realizar com mais vontade as atividades nas quais eles possuem mais aptidão. Mesmo para estes exercícios, a motivação não depende exclusivamente do aluno, pois ter um contexto favorável é primordial [6]. Deste modo, é papel do educador criar um ambiente no qual o estudante se sentirá estimulado a realizar as tarefas e persistir naquelas em que eles não têm tanta habilidade.

Os alunos agem por diferentes objetivos. Pode ser pela satisfação de aprender algo novo ou pelo simples fato de não tirar nota baixa. Assim, o professor deve tentar ajudá-los a descobrir o que os motiva para que, mesmo que os educadores falhem, os estudantes saibam como agir. Os professores podem estimular os alunos de várias formas. No início da aula, por exemplo, podem atrair a atenção ao despertar a curiosidade ao mostrar um fato curioso ou relevante sobre o que irão aprender. Outra forma é organizar as atividades de modo a promover interações positivas entre o aluno e seus colegas e também entre ele e o próprio exercício. Mas, talvez o fator alheio ao aluno mais importante para a motivação é a forma como a atividade é avaliada [6].

## 2.1. EDUCAÇÃO LÚDICA

Para crianças uma boa ferramenta motivacional está presente nas atividades lúdicas. Essas

atividades têm como característica ser espontâneas para os pequenos, e consequentemente, satisfatórias. Elas estão presentes, especialmente, em brincadeiras e jogos, funcionando como instrumento para incentivar ainda mais nos temas que os alunos possuem afinidade e para romper uma imagem negativa cristalizada do conhecimento em relação aos tópicos que eles têm menos aptidão.

As atividades lúdicas são algo natural para as crianças [7] e quando elas chegam à escola trazem um vasto conhecimento adquirido deste tipo de atividades. Os professores devem aproveitar este conhecimento, unindo-o com o escolar. Desse modo, os pequenos ficarão mais à vontade de modo a permitir que o saber e a imaginação fluam naturalmente.

Esse fato corrobora com a ideia de que a inserção do elemento lúdico em sala de aula somente contribui para o aumento do interesse e participação do aluno no processo de aprendizagem. Nesse sentido, já em 1999, os Parâmetros Curriculares Nacionais para a educação infantil, ao estabelecer os fundamentos que devem nortear as propostas pedagógicas das creches e pré-escolas, mencionou a ludicidade como um dos princípios que devem nortear a educação infantil [8].

Esses parâmetros dizem que a brincadeira, como uma representação do lúdico, é uma linguagem infantil. No ato de brincar, os sinais, gestos, objetos e espaços possuem um significado além do que aparecem. Assim, por esses atos, as crianças recriam e repensam os acontecimentos previamente vividos, transformando-os em conceitos gerais. Estes atos contribuem para a interiorização de determinadas características que ela desenvolverá até chegar à fase adulta.

Com isso, no ato de brincar a criança estabelece vínculos entre as características do papel assumido na atividade lúdica, as competências necessárias para desempenhar a

brincadeira e exercitam as relações com outros papéis. Ao tomar consciência disto, ela irá generalizar estes atos para as situações que enfrentará no seu cotidiano.

Assim, o lúdico quando utilizado como elemento pedagógico, além de contribuir com a motivação e o aprendizado, possibilita que o professor deixe a sua aula mais dinâmica e prazerosa. Para isso, o educador deve possibilitar que o aluno se envolva no processo [9]. Assim, é papel do mestre guiar os estudantes para que a aquisição do conhecimento esteja alinhada com os objetivos pedagógicos [7].

### **2.1.1. INTERFACES TANGÍVEIS NA EDUCAÇÃO**

Interfaces tangíveis são recursos amplamente utilizados no cenário educacional, pois funcionam como um instrumento de aprendizagem, permitem uma melhor absorção do conhecimento, além de servir como um importante elemento motivacional.

Podemos considerar tangível qualquer utensílio palpável ou tocável. Deste modo, uma interface tangível é aquela em que a pessoa interage com uma atividade, seja ela digital ou não, a partir de dispositivos físicos manuseáveis. Nos sistemas digitais estes dispositivos garantem uma interação bem mais realista entre o usuário e o computador, pois dão vida às metáforas que os softwares utilizam para tornar o seu uso mais amigável.

Os dispositivos tangíveis provêm três facilidades básicas [10]. A primeira é a interatividade, quando um contato físico com o equipamento é mapeado em uma ação que ocorre em tempo real no meio digital. Outra característica é a praticidade, pois o usuário fará a interação como se estivesse utilizando o equipamento real. Por fim, este tipo de interface promove a colaboração, já que os usuários poderão trabalhar mais facilmente de forma colaborativa, sem precisar dividir um teclado, por exemplo. Um exemplo disto são os simuladores de instrumentos musicais para

karaokê, pois neles o jogador envia comandos que manipulam uma determinada música ao manusear uma guitarra fictícia de modo semelhante ao instrumento real e esta atividade é realizada facilmente com vários outros jogadores, cada um com a representação do seu instrumento.

Na educação, um exemplo de interface tangível são os manipulativos, objetos que representam conceitos abstratos de forma concreta [11], muito comuns na matemática. Tais objetos são amplamente utilizados em salas de aula, sendo aqueles destinados a crianças com cores e formas bem atrativas.

A utilização de interfaces tangíveis na educação não é recente e precede o uso dos computadores. Entre os primeiros pensadores e projetistas destacam-se Friedrich Fröbel e Maria Montessori [12]. Fröbel, que foi o inventor do jardim de infância, projetou os Presentes de Froebel para o seu jardim de infância. Estes objetos para brincadeiras acompanham o desenvolvimento cognitivo das crianças. Apesar do tempo em que foram projetados, ainda são comercializados [13]. Maria Montessori estendeu as ideias de Fröbel para que os objetos fossem utilizados por crianças mais velhas. Suas ideias, que visavam auxiliar o desenvolvimento das capacidades sensoriais das crianças, foram implementadas em diversas escolas no mundo, incluindo o Brasil.

Existem três grandes vantagens em utilizar interfaces tangíveis na educação [14]. Primeira, este tipo de interação resulta em um forte engajamento sensorial, especialmente em relação às crianças, que aprendem de uma forma natural e usando vários sentidos em um processo construtivo. Um outro ponto é que a utilização destas interfaces estimula a acessibilidade para crianças mais novas, principalmente quando essas possuem dificuldades de aprendizado. E por fim, elas promovem o aprendizado em grupo ao permitir que várias mãos sejam utilizadas trabalhando

como colaboradores na criação, facilitando a interação e promovendo discussões em grupo.

### **2.1.2. ATIVIDADES COM BLOCOS**

Uma interface tangível bastante comum em atividades educacionais são as baseadas em blocos. Estes são brinquedos famosos, onde letras, números e símbolos são marcados em suas faces. Dada sua extrema simplicidade e facilidade de manipulação, tornaram-se aliados importantes no desenvolvimento de crianças.

Esse blocos são muito utilizados atualmente como uma das ferramentas concretas que auxilia no desenvolvimento do pensamento abstrato, especialmente em se tratando de crianças. Com a liberdade que esse brinquedo proporciona, os pequenos compreendem e resolvem problemas a partir da movimentação dos blocos e do agrupamento de elementos comuns.

Dependendo das imagens presentes nos blocos, diversas habilidades podem ser desenvolvidas, como conceitos matemáticos e raciocínio lógico, além de aperfeiçoar a linguagem falada, a ampliação do vocabulário e o desenvolvimento criativo das crianças.

## **2.2. TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO**

O recurso tecnológico possui um grande valor motivacional para os alunos. Quando um computador ou qualquer outro dispositivo é inserido no ambiente escolar, é possível aumentar as chances de uma interação mais ampla entre o conteúdo e o aluno [15]. Outra contribuição importante é que ele também consegue se adaptar aos ritmos e às características de cada estudante. Deste modo, os desafios, compassos e ajudas podem ser adaptados individualmente para cada aluno.

Assim, as novas tecnologias vem provocando mudanças na forma de aprender e conhecer, possibilitando o exercício colaborativo e cooperativo dos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem. Deste modo, quando há

um plano pedagógico consistente e motivador, o uso da tecnologia torna o ensino e a aprendizagem mais eficientes [16]. A utilização do laboratório de informática é uma excelente ferramenta de aprendizagem que estimula a participação efetiva dos estudantes nas atividades pedagógicas, melhorando várias de suas competências, inclusive a relação interpessoal [17].

Recentemente uma entrevista realizada com professores dos Estados Unidos comprovou que a categoria realmente acredita no potencial do uso da tecnologia em sala de aula. Para 93% dos educadores daquele país o uso de tecnologia na sala de aula pode melhorar o desempenho dos alunos e 95% dos mestres acreditam que o uso dessas ferramentas pode engajar mais o aluno nas atividades de sala de aula [18].

Algumas iniciativas já são capazes de comprovar este potencial. Numa pesquisa realizada na Universidade Cristã de Abilene, nos EUA, todo o material da disciplina de estatística foi colocado dentro de um *software* que rodava em dispositivos móveis, como celulares e *tablets*, e o seu uso foi observado por dois anos [19]. Ao final do primeiro, os alunos que tinham acesso ao aplicativo testemunharam que praticamente não leram o livro didático, utilizando apenas o aplicativo juntamente com as anotações feitas em sala de aula e ao final da pesquisa as notas na disciplina aumentaram em quase 70%, como pode ser visto na Figura 3. Além disso, 91% dos alunos informaram que preferiam ler usando um *tablet* em relação a um livro texto normal e 77% deles disseram preferir estudar usando aplicativos como o da pesquisa em detrimento ao uso de livro texto.

Outro ponto positivo do uso da tecnologia é o de permitir a construção de um modelo virtual que representa a realidade [15]. Isto possibilita a simulação de vários processos e atividades que, por suas características, não podem ser realizadas em sala de aula, seja porque são bastante complexas de ser reproduzidas,

perigosas para os alunos, ou extremamente custosas para a instituição.

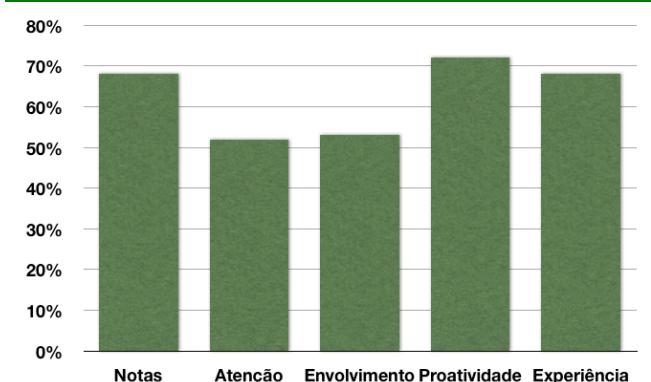


Figura 3: gráfico mostrando o resultado do aumento do desempenho a partir do uso do aplicativo no lugar de livro.

Entretanto, por serem recursos que estão se popularizando em várias regiões do mundo, a tecnologia vem sendo mal utilizada em alguns lugares. Uma pesquisa realizada com 41 professores, 4 coordenadores e 8 alunos de 4 escolas municipais de Recife constatou que, mesmo tendo conhecimento de informática básica, os professores não estão preparados para utilizar o computador como recurso didático-pedagógico na construção do conhecimento [20]. Assim, esta ferramenta muitas vezes vem sendo usada apenas como um instrumento ilustrativo, dissociado do conteúdo trabalhado na sala de aula da capital pernambucana.

Mais um ponto negativo a ser observado é que os alunos estão ficando cada vez mais dependentes dos seus dispositivos digitais. 27% dos alunos norte-americanos disseram que o item mais importante para os seus estudos era o *notebook*, três vezes mais do que aqueles que escolheram o livro texto [21]. Esta mesma pesquisa mostrou que 38% dos alunos não conseguem ficar mais de 10 minutos sem consultar algum de seus aparelhos e que 70% dos estudantes preferem fazer as suas anotações de aula usando algum meio digital em relação à utilização de um caderno.

Uma tecnologia que se popularizou nos últimos anos, revolucionando várias áreas, incluindo a educação, foi a internet. Em relação

ao ensino, ela democratizou o acesso a conteúdos, deixando informações ao alcance de várias pessoas, sendo muitas vezes de forma gratuita. De acordo com uma pesquisa, apenas nos Estados Unidos existem cerca de 25 mil cursos *online* ensinando a aproximadamente três milhões de estudantes que só assistem aulas *online* [22]. Só o iTunes U, uma iniciativa da Apple em parceria com mais de 800 universidades do mundo, incluindo Stanford e Oxford, disponibiliza mais de 350 mil aulas gratuitamente destas instituições. Ao todo, nos últimos quatro anos, foram realizados cerca de 700 milhões de *downloads* de aulas nesta plataforma [23].

Uma outra vantagem apontada por alguns educadores sobre a educação através da internet é que dentre todas as tecnologias esta é aquela que oferece mais possibilidades para o aluno acompanhar o curso no seu próprio ritmo.

Uma forte característica dos educadores é a de procurar melhorar constantemente as suas aulas. Com isso, os professores têm começado a olhar com mais atenção para uma outra ferramenta bem recente, mas já comum entre os jovens, que são as redes sociais. Uma pesquisa revelou que 61% dos professores norte americanos possuem conta no Facebook e 12% deles utilizam a rede social para interagir com os alunos [24].

Por parte dos estudantes o uso das redes sociais é ainda mais evidente. Uma outra pesquisa revelou que 96% dos estudantes dos Estados Unidos possuem pelo menos uma conta em alguma rede social e que 1/3 deles as usam para propósitos educacionais, sendo esta uma das principais fontes de notícias por parte dos alunos [25].

Assim, utilizar recursos tecnológicos para captar a realidade potencializa o envolvimento do aluno [15], já que traz para a sala de aula um universo que o estudante já está acostumado a encontrar fora dos muros da escola.

# 3. REALIDADE AUMENTADA PROJETIVA

Figura 4: os *head-up displays*, já encontrados em muitos aviões nos dias de hoje, são um bom exemplo para ilustrar a utilização da realidade aumentada projetiva. As informações virtuais são inseridas diretamente no mundo real através de projetores.



O ser humano vive numa época onde a demanda por informação alcançou níveis altíssimos. Hoje em dia não basta apenas ver um objeto ou ouvir seu som para identificá-lo, é preciso ter todos os dados possíveis sobre ele e a forma como este influencia e é influenciado por outros ao seu redor. Em determinados meios, como numa sala de cirurgia ou numa cabine de avião, possuir todo este conteúdo pode ser vital no momento de tomar uma decisão crítica. Existem diversas maneiras para isto. Um piloto de avião, por exemplo, tem o auxílio dos instrumentos de bordo e dos controladores de voo.

Entretanto, é bastante comum que boa parte desses dados não esteja ao alcance direto dos olhos e o acesso a eles pode ocasionar um momento de distração precioso em um instante crítico. No caso do piloto de avião, mencionado

anteriormente, que ao realizar um procedimento, como o de pouso, por exemplo, precisa de informações que estão na pista e nos painéis de instrumentos mais abaixo do para-brisa, esta situação fica bem evidente. Deste modo, formas mais diretas de exibir informações têm sido estudadas e a tecnologia conhecida como realidade aumentada vem se mostrando promissora para atender esta demanda em vários domínios.

Realidade aumentada, ou simplesmente RA, é uma área da ciência da computação capaz de exibir de maneira coerente elementos virtuais com reais, criando um ambiente misto onde o usuário pode interagir em tempo real tanto com o mundo real, como o virtual [26]. Em um exemplo usando o caso do piloto, os dados mais críticos localizados no painel de instrumentos podem ser exibidos no para-brisa

da aeronave. Deste modo, o comandante será capaz de visualizar essas informações juntamente com o que é visto pela janela, como mostrado na Figura 4. Assim, diminui a necessidade dele desviar o olhar para obter essas informações, conseguindo assim preciosas frações de segundos que podem ser cruciais em uma situação de emergência.

O objetivo na realidade aumentada é que a informação digital fornecida para o usuário seja imperceptível para ele, ou porque o conteúdo virtual é tão realístico que ele não consegue distinguir o virtual do real, ou porque ele está tão bem contextualizado no ambiente que se torna parte dele. Para que ambos os casos sejam alcançados, alguns pontos precisam ser levados em conta.

O primeiro deles é o rastreamento, ou seja, o entendimento da cena real para que o elemento virtual possa ser inserido de forma coerente. Exemplificando, é ele que registra onde a linha representando o horizonte da aplicação ilustrada na Figura 4 vai ser exibida no para-brisa do avião.

Outro ponto importante é que o usuário precisa ser capaz de visualizar esta informação virtual. Existem várias maneiras de realizar esta tarefa, e usar um monitor é a forma mais comum. Na realidade aumentada projetiva, entretanto, esses dados são inseridos através de projetores, como no caso do sistema do avião, e a visualização ocorre através da superfície escolhida para receber a projeção, como é o caso do *head-up display* ilustrado na Figura 4.

Por fim, o usuário precisa ser capaz de interagir com essas informações virtuais em tempo real, já que elas devem estar sempre contextualizadas com o mundo real. Assim, ao inclinar a aeronave para cima, por exemplo, o horizonte virtual precisa ser deslocado para permanecer alinhado ao horizonte real no para-brisa.

Para ser considerada realidade aumentada uma aplicação deve contemplar essas três características, rastreamento da cena real, visualização dos elementos virtuais sobre o ambiente e interação em tempo real com as informações virtuais. Este capítulo detalha cada uma destas etapas e ao final fala sobre como RA pode ser aplicada na área de educação.

### 3.1. RASTREAMENTO

Também conhecido como registro ou *tracking*, esta etapa é a responsável por fazer com que a aplicação de realidade aumentada “conheça” o ambiente real para que os elementos virtuais possam ser inseridos coerentemente.

O rastreamento é tão importante para a realidade aumentada que é a área de pesquisa com o maior número de trabalhos publicados no ISMAR (sigla em inglês para Simpósio Internacional de Realidade Mista e Aumentada) [27], a maior conferência na área, indicando ser esta uma das etapas onde reside o maior número de desafios em aberto.

Existem várias formas de se obter o registro da cena real. Uma delas é utilizando sensores, como o do Sistema de Posicionamento Global, mais conhecido como GPS, de um celular, que determina a posição geográfica do usuário e insere os elementos virtuais de acordo com isto.

A maneira mais comum, entretanto, é utilizando técnicas de processamento de imagens e visão computacional para determinar a pose da câmera, que é representada por uma matrix  $3 \times 4$  composta pelos parâmetros intrínsecos, como a distância focal, o *aspect ratio* e o ponto principal da câmera, e pelos extrínsecos, que são os movimentos de rotação e translação da câmera [28]. De posse dessas informações, o elemento virtual pode ser inserido coerentemente na cena.

Há também a forma híbrida, que alia as duas anteriores. Neste trabalho, apenas o registro baseado em visão será detalhado, sendo este dividido em duas grandes áreas: rastreamento

com marcadores, quando um elemento conhecido é inserido no ambiente para que as informações de câmera sejam encontradas, e rastreamento sem marcadores, quando apenas as informações da cena são utilizadas para realizar esse cálculo.

### 3.1.1. RASTREAMENTO COM MARCADORES

Em sua essência, os marcadores são padrões conhecidos previamente que são inseridos numa cena de modo a facilitar o registro desta. Eles são elementos muito importantes para a realidade aumentada, pois serviram para popularizar RA numa época em que nem as técnicas de rastreamento baseadas em visão, juntamente com os hardwares para processar este tipo de informação, possuíam uma maturidade suficiente para serem usadas com precisão em aplicações [29], e nem os sensores eram baratos e diminutos ao ponto de poderem ser usados fora de um laboratório.

Desta forma, os marcadores revolucionaram a realidade aumentada [30], pois conseguiram amenizar a demanda de processamento gerada pelos algoritmos de visão computacional necessários para calcular a pose da câmera. Com isso, tornou possível a criação de aplicações nos hardwares de processamento mais restritos da época e suas câmeras de baixa resolução e taxa de captura. Além disso, possuem um baixo custo, já que para serem produzidos é necessária apenas uma impressora para que eles possam ser gravados numa folha de papel em branco, tornando-os bastante escaláveis, pois com essa praticidade, tantos quantos forem necessários podem ser inseridos na cena.

#### 3.1.1.1. TIPOS DE MARCADORES

Graças às suas características, várias aplicações de realidade aumentada baseadas em marcadores foram desenvolvidas, tornando esta abordagem bastante difundida. Como consequência, diversos tipos foram propostos numa forma de suprir necessidades específicas de cada projeto. Dentre os mais comuns estão

os marcadores fiducial, baseado em ID, *Data Matrix*, separado e de borda, além do QR Code e o recente marcador por pontos aleatórios.

##### 3.1.1.1.1. MARCADOR FIDUCIAL

Este foi um dos primeiros marcadores a ser utilizado em aplicações de realidade aumentada. Ele é composto por um quadrado com bordas pretas e em seu centro localiza-se um padrão, também conhecido como *template*, específico que o torna único e distinguível de outros marcadores. Um exemplo de marcador fiducial é mostrado na Figura 5.



Figura 5: exemplo de um marcador fiducial.

Qualquer informação pode ser usada como padrão, seja uma letra, número, nome ou até imagem e a identificação do marcador é realizada comparando o *template* capturado pela câmera com um banco de dados de marcadores até que um deles seja similar o suficiente à região central.

Um ponto negativo deste tipo de marcador é a escalabilidade, já que um rastreador para ele precisa realizar várias comparações. Assim, as aplicações que utilizam o marcador fiducial podem ter problemas com performance ao rastrear alguns poucos marcadores simultaneamente. Por isto, o ARToolKit [31], uma das bibliotecas de realidade aumentada mais famosas e que utiliza estes marcadores, limita a quantidade deles que podem ser rastreados ao mesmo tempo em no máximo 20.

### 3.1.1.1.2. MARCADOR BASEADO EM ID

Este tipo de marcador foi desenvolvido com o intuito de resolver o problema de escalabilidade dos marcadores fiduciais. O princípio dele é que o código, que antes poderia ser qualquer informação, agora é representado por uma matriz de quadrados pretos e brancos, como mostrado na Figura 6. Deste modo, o rastreamento deixa de ser feito por comparação de imagens e passa a ser realizado através da leitura direta de cada elemento da matriz, de onde o código é extraído.

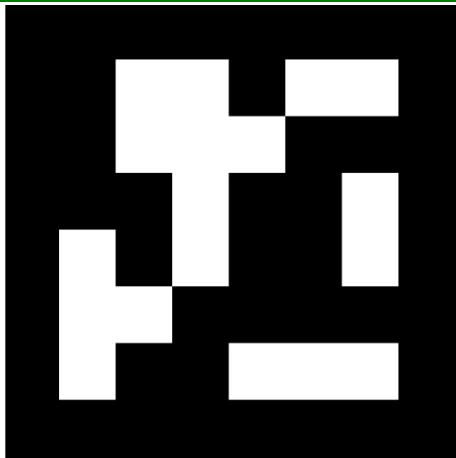


Figura 6: exemplo de um marcador baseado em ID.

Graças à diminuição da carga de processamento, o número de marcadores rastreado simultaneamente aumentou bastante. O ARTag [32], uma outra biblioteca para se fazer aplicações de realidade aumentada, mas que utiliza este tipo de marcadores, possui exemplos onde mais de 100 deles são rastreados ao mesmo tempo.

### 3.1.1.1.3. MARCADOR DATA MATRIX

O marcador *Data Matrix* é bastante semelhante ao descrito anteriormente, ficando a diferença apenas na codificação da matriz que representa o identificador. Enquanto neles qualquer matriz pode ser usada para representar um determinado código, o marcador *Data Matrix* segue um padrão comum aos códigos de barra 2D, determinados pela ISO/IEC 16022:2006 [33], conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 7: exemplo de um marcador *Data Matrix*.

O fato de possuir uma codificação padronizada influencia no número máximo de um conjunto de marcadores. Enquanto no baseado em ID, dependendo do tamanho da matriz utilizada, qualquer quantidade de marcadores pode ser criada, no *Data Matrix* esse valor é fixo em 2235 códigos.

### 3.1.1.1.4. QR CODE

Assim como o *Data Matrix*, o *QR Code* também é um código de barras bidimensional. Desenvolvido pela Toyota para rastrear veículos durante a sua fabricação [34], esse tipo de marcador, mostrado na Figura 8, ganhou muitos adeptos fora da indústria automobilística por conseguir armazenar uma grande quantidade de dados, podendo assim ter praticamente o dobro da quantidade de marcadores se comparado com o *Data Matrix*.



Figura 8: exemplo de um *QR Code*.

Atualmente ele é bastante utilizado como armazenador de endereços, em revistas, por

exemplo, servindo como um *link* para que o usuário possa acessar mais informações, especialmente via celular.

#### 3.1.1.1.5. MARCADOR SEPARADO

Este é um tipo especial de marcador baseado em ID, pois o código está localizado em duas de suas extremidades, separado por uma área livre entre elas, conforme ilustrado na Figura 9. Assim, qualquer informação pode ser inserida nesta região central.

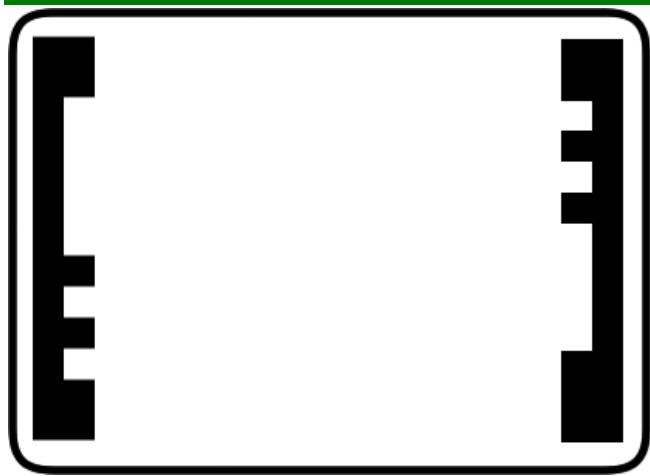


Figura 9: exemplo de um marcador separado.

Este tipo de marcador foi desenvolvido pela Sony para o jogo “Eye of Judgment” [35], de modo que as informações dos personagens pudessem ser impressas na carta sem atrapalhar o rastreamento, necessário para exibir o modelo 3D animado do personagem quando o cartão é utilizado na partida.

#### 3.1.1.1.6. MARCADOR DE BORDA

Também baseado em ID, o marcador de borda é semelhante ao marcador separado, diferenciado deste pelo fato do código estar em todas as bordas e não apenas em duas [36]. Deste modo, graças à redundância de informação em mais lados, o rastreamento fica mais robusto em relação ao separado, sem perder a área livre do padrão. Um exemplo é mostrado na Figura 10 e nele pode ser observada uma borda fina e contínua que delimita o marcador, onde internamente a ela está o código.

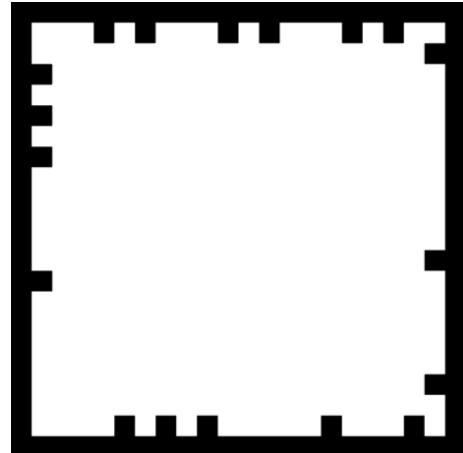


Figura 10: exemplo de um marcador de borda.

#### 3.1.1.1.7. MARCADOR POR PONTOS ALEATÓRIOS

Diferenciando-se dos demais por não precisar de uma borda ou estar na forma de um quadrilátero, como os listados até o momento, este marcador é composto por um conjunto de pontos distribuídos aleatoriamente em qualquer forma, como a estrela vista na Figura 11.

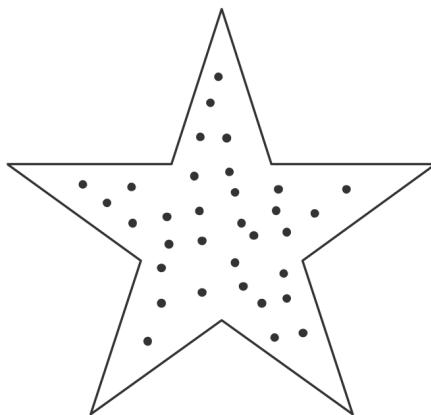


Figura 11: exemplo de um marcador por pontos aleatórios em formato de estrela.

Graças à sua característica, este marcador possui algumas vantagens em relação aos comuns, como o fato de ser menos intrusivo e mais robusto a oclusão parcial [37].

### 3.1.1.2. RASTREAMENTO DE MARCADORES

O fato do marcador ser um objeto previamente conhecido faz com que o rastreamento utilizando este recurso seja mais simples e menos custoso computacionalmente. Foi por esse motivo que este elemento se tornou tão popular nas aplicações de realidade aumentada.

O rastreamento utilizando os padrões é, em sua essência, bastante semelhante para todos

os tipos de marcadores, variando em algum detalhe específico do marcador em si ou melhorias relativas ao aplicativo no qual será utilizado. Deste modo, será empregado o exemplo de *tracking* do ARToolKit como base para explicar o registro de uma cena que utiliza esse recurso.

Após capturar a imagem do mundo real, que será convertida para preto e branco, o rastreador procurará por quadrados de bordas pretas, ou seja, indícios de que há um marcador na cena. Se algum for encontrado, a posição e a orientação da câmera, relativa ao quadrilátero, é calculada. Em seguida, o símbolo encontrado dentro deste quadrado é comparado com um banco de dados previamente armazenado na memória e caso haja um casamento entre ele com algum dos padrões amazenados, o objeto identificado é considerado um marcador válido. De posse da transformação que define a câmera, ela é aplicada ao objeto virtual referente àquele marcador encontrado, que será desenhado na mesma posição e orientação. Esse fluxo de execução é melhor ilustrado na Figura 12.

A saída, portanto, nada mais é do que a imagem virtual correspondente ao código encontrado, exibida sobre o marcador com a mesma transformação relativa à câmera que o padrão possui. Assim, o resultado é a aparência para o usuário, que observa pelo mesmo ponto de vista da câmera, de que o objeto virtual está realmente grudado ao marcador.

Esta sequência de passos descreve uma implementação comum para um rastreador utilizando marcadores e as variações de cada implementação ocorrem para satisfazer necessidades específicas das aplicações para as quais os padrões serão utilizados.

## Tipos de marcadores



**Fiducial:** o primeiro marcador a ser amplamente utilizado.



**ID Based:** possui um rastreamento bastante eficiente.



**Datamatrix:** codificação padronizada por ISO.



**Separado:** tem área livre para inserção de elementos gráficos.



**Borda:** acréscimo de estabilidade por pouco menos de área livre.



**Pontos aleatórios:** o marcador menos intrusivo.

## Fluxograma de RA

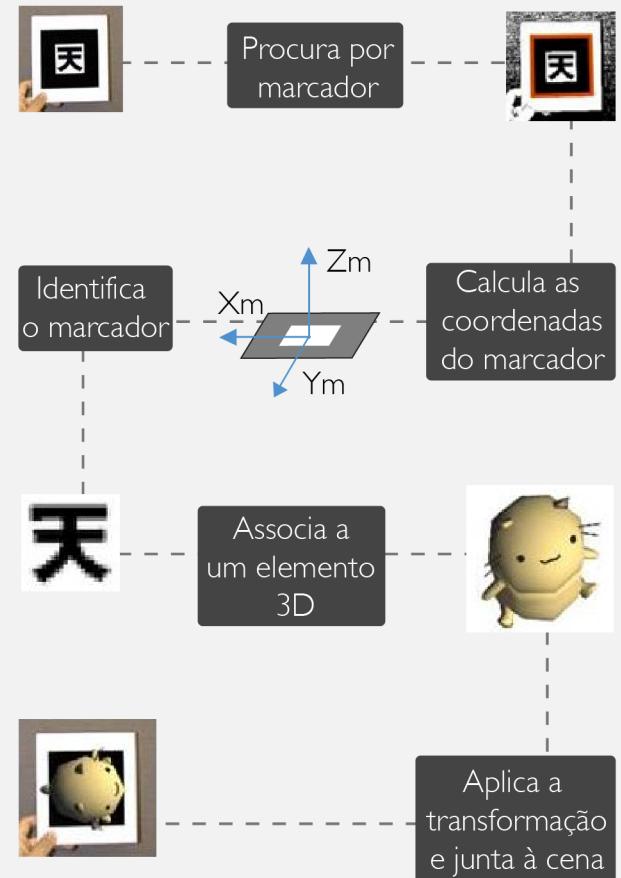


Figura 12: no topo do infográfico, a sequência básica de passos para o rastreamento de marcadores; abaixo, uma comparação entre seus vários tipos.

Por exemplo, o ARToolKitPlus utiliza a técnica de limiar adaptativo, que consiste em perceber alterações de iluminação no ambiente capturado pela câmera, tornando a detecção robusta a este tipo mudança [38], além da capacidade de realizar uma compensação sobre as imagens de câmeras que geram uma queda radial de luminância. Este fato ocorre em algumas delas, onde a captura é mais escura nos cantos, fazendo com que os padrões situados nessas regiões não sejam detectados. Esta biblioteca também oferece suporte ao usuário para utilizar marcadores com borda de largura variável. Desta forma pode-se diminuir a largura da borda, aproveitando melhor o espaço para codificação, fazendo com que marcadores menores possam ser detectados.

### 3.1.2. RASTREAMENTO SEM MARCADORES

Apesar de serem bastante utilizados por facilitar o rastreamento, os marcadores são elementos intrusivos inseridos à cena e, por isso, têm alguns fortes pontos negativos. Tomando como exemplo o avião do início do capítulo, vemos que é praticamente impossível o uso de marcadores naquele sistema de orientação do piloto. Caso um padrão tivesse sido utilizado, ele poderia obstruir o ambiente externo do piloto, por exemplo. Deste modo, torna-se necessário que o registro da câmera possa ser realizado sem a ajuda de nenhum elemento artificial inserido na cena, utilizando apenas as suas características naturais.

Nos sistemas de realidade aumentada sem marcadores, a integração dos objetos virtuais inseridos no ambiente real é realizada a partir da análise das características naturais presentes na cena, tais como arestas ou texturas. Assim, o próprio ambiente funciona como um marcador.

Uma outra vantagem de se utilizar as próprias características do ambiente para o rastreamento é que estas são menos suscetíveis a interferências, tornando-o mais robusto. Por outro lado, o custo computacional e a complexidade desta abordagem pode ser alta.

Assim, uma solução é utilizar sistemas com uma única câmera, ou seja, monoculares, que além de mais compactos, também possuem uma calibração mais simples.

As técnicas desenvolvidas para realidade aumentada monocular sem marcadores em tempo real podem ser classificadas em dois tipos principais: baseadas em modelo e sem modelo [39]. No primeiro grupo de técnicas, um conhecimento prévio sobre o mundo real é necessário antes do rastreamento ocorrer, sendo armazenado em modelos tridimensionais que são usados para estimar a pose da câmera. Na segunda abordagem, o movimento da câmera ao longo dos quadros é estimado sem nenhum conhecimento prévio sobre a cena, e as informações da câmera são adquiridas durante o rastreamento.

#### 3.1.2.1. RASTREAMENTO BASEADO EM MODELO

Neste tipo de rastreamento, um modelo tridimensional de algum objeto presente na cena é utilizado para guiar o registro. Ele é alinhado com a imagem capturada pela câmera em duas dimensões e como resultado a posição e a orientação da câmera em relação ao objeto é calculada. Esta etapa, que é a de calibração da câmera, é quase sempre *offline*, enquanto que a fase do rastreamento propriamente dito ocorre em tempo real e consiste em relacionar o modelo com a imagem durante a utilização da aplicação, onde o objeto ou a câmera podem estar em movimento.

Uma das grandes vantagens de se usar uma técnica baseada em modelos está na possibilidade de interação entre o ambiente real e os elementos virtuais, como oclusão e colisão [40]. Para isso, é necessário encontrar a pose correta durante o rastreamento e que a estrutura do objeto presente na cena seja definida corretamente pelo modelo 3D.

O fato desta abordagem necessitar de um treinamento inicial *offline* faz com que ela não possa ser utilizada em ambientes que não foram preparados previamente. Outra desvantagem é

que esta etapa de calibração geralmente é manual. Estes problemas são críticos para aplicações de realidade aumentada, já que qualquer falha no registro obrigará que o usuário refaça a calibração. Além disso, o objeto rastreado precisa estar sempre visível para a câmera, caso contrário a *pose* não poderá ser calculada.

Considerando a natureza do rastreamento, as técnicas de realidade aumentada sem marcadores baseadas em modelo podem ser classificadas em duas categorias: rastreamento recursivo, onde a pose anterior da câmera é utilizada como estimativa para calcular a pose atual da mesma [41], e rastreamento por detecção, onde é possível calcular as informações da câmera sem nenhuma estimativa prévia, permitindo inicialização e recuperação automática após falhas [42].

Além disto, se for levado em consideração o tipo de característica usada no rastreamento, as técnicas baseadas em modelo também podem ser categorizadas por baseadas em aresta, onde a pose da câmera é estimada relacionando um modelo 3D aramado de um objeto com a informação de aresta da imagem do mundo real [40], e baseadas em textura, que levam em consideração a informação de textura presente nas imagens para o rastreamento [43].

No rastreamento baseado em arestas o relacionamento mencionado é realizado ao projetar o modelo sobre a imagem e minimizar a distância entre o modelo projetado e a aresta na imagem. Entretanto, um bom chute inicial para a pose é necessário, sendo esta inicialização feita manualmente. Quando os parâmetros de câmera são encontrados, eles são usados para projetar o modelo no quadro de imagem seguinte. Essa informação da câmera é usada como palpite inicial para que a pose atual seja encontrada.

Uma das grandes vantagens das técnicas baseadas em arestas é sua fácil implementação e alta performance, tanto que esta foi a primeira

abordagem de rastreamento 3D em tempo real [44]. Outra importante característica é ela conseguir fazer o *tracking* de objetos especulares, já que utiliza apenas informações de arestas. Entretanto, este método não funciona bem em situações onde a câmera se move rapidamente, já que o palpite inicial, proveniente da pose anterior da câmera, estará muito distante da pose atual.

Um exemplo de rastreamento recursivo baseado em aresta são as técnicas de amostragem de pontos, que selecionam alguns pontos de controle ao longo das arestas do modelo 3D aramado e compararam suas projeções com gradientes fortes presentes na imagem [45]. Já uma técnica por detecção baseada em aresta é a baseada em vistas, onde o quadro atual é casado com visões 2D do objeto previamente obtidas de diferentes posições e orientações [46].

O rastreamento baseado em textura, como já mencionado, utiliza as características de textura da cena para determinar as informações da câmera. Quando o registro é recursivo, temos dois exemplos de como encontrar a *pose* a partir da textura. A primeira é por casamento de *template* [47], que consiste em procurar pelos parâmetros da função que mapeiam todo o padrão na imagem capturada. Sua grande vantagem é a capacidade de tratar modelos complexos, entretanto a técnica apresenta problemas quando submetida à variação de iluminação e oclusão parcial.

A segunda é a técnica baseada em pontos de interesse [41], que utiliza a correspondência das *features*, pontos de alto contraste em relação aos seus vizinhos, em vários quadros da imagem para encontrar a *pose*. A grande vantagem desta abordagem em relação à anterior está na sua velocidade de execução. Por outro lado, os dois tipos de rastreamento não conseguem se recuperar quando há falhas no rastreamento. Assim, nessas situações, é necessário que o sistema seja reinicializado, para que a fase de estimativa inicial da

informação da câmera seja novamente executada.

A técnica de pontos chave é um exemplo de rastreamento por detecção baseado em textura [48]. Nela um conjunto de *features* invariantes a escala, iluminação e ponto de vista é encontrado em cada quadro de imagem e feita a correspondência destas com outros pontos chave obtidos numa fase de treinamento *offline*, que já possuem um ponto 3D correspondente. Como é possível estimar os pontos 3D das *features* extraídas, um algoritmo de reprojeção 2D-3D determina a pose da câmera. Ao contrário das abordagens recursivas, esta consegue se recuperar quando há falha no rastreamento, mas para isso possui um alto tempo de execução quando comparado às anteriores.

### 3.1.2.2. RASTREAMENTO SEM MODELO

As técnicas baseadas em modelos possuem alguns pontos negativos, como o de só conseguir rastrear o ambiente quando o objeto modelado estiver visível. Isto pode ser solucionado com técnicas que não utilizam informações previamente obtidas sobre a cena e nem necessitam de uma etapa prévia de treinamento *offline*. Em geral, essas técnicas de rastreamento sem marcadores estimam o movimento da câmera utilizando informações coletadas da cena em tempo de execução, a exemplo do *Structure from Motion*.

Um ponto positivo extra destas abordagens é que elas também são capazes de recuperar a estrutura da cena em tempo real, com diferentes níveis de detalhe, dependendo da abordagem usada. Assim, apesar de serem abordagens bastante complexas e de possuírem restrições relacionadas ao fato de rodarem em tempo real, com elas é possível reconstruir um ambiente totalmente desconhecido quando necessário.

O *Structure from Motion* [49], também chamada de SfM, é uma técnica bastante consolidada e admite várias formas de implementação. Uma delas consiste numa

sequência de quatro etapas bem definidas: primeiro, uma sequência de imagens ou os quadros de um vídeo são analisados em busca de *features*; em seguida, as *features* em diferentes imagens correspondentes aos mesmos pontos da cena são relacionadas entre si, podendo assim serem rastreadas ao longo da sequência de imagens; após esta etapa é realizada uma reconstrução projetiva, onde os pontos 3D da cena a menos de uma transformação projetiva e uma matriz que relaciona cada imagem, chamada de Fundamental, são encontrados, juntamente com a informação de como cada uma das câmeras se moveu em relação às outras, ou seja, os parâmetros extrínsecos; por fim, uma decomposição na matriz Fundamental fornece os parâmetros intrínsecos das câmeras, que resulta em pontos 3D numa reconstrução métrica. Este processo é ilustrado na Figura 13.

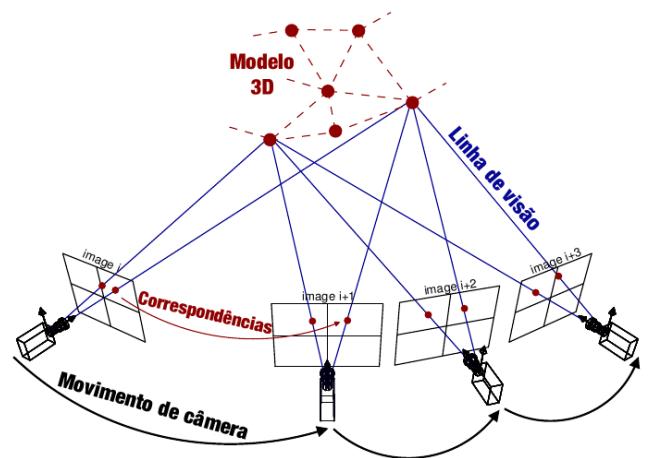


Figura 13: imagem representando uma reconstrução usando SfM. Nela pode-se ver as *features* extraídas, suas correspondentes nos quadros seguintes, os pontos 3D obtidos a partir delas e a relação entre uma câmera e outra.

Nesta etapa, já é possível obter um modelo simples da cena, com uma quantidade de pontos na ordem das centenas, e as poses de todas as câmeras utilizadas. Entretanto, com mais duas etapas um modelo 3D mais detalhado pode ser encontrado, caso este seja desejado. Primeiro, de posse das informações de câmera de cada quadro e de como estas se relacionam, é realizada uma reconstrução densa, que aumenta a quantidade de pontos 3D

reconstruídos para, em seguida, ser gerada uma malha entre eles e esta ser texturizada.

Um outro exemplo de técnica de rastreamento sem marcadores é o *Simultaneous Localization and Mapping* [50], ou simplesmente SLAM, que utiliza uma abordagem semelhante ao SfM. Uma imagem de referência é dividida em várias janelas aleatoriamente posicionadas e as melhores *features* de cada uma delas são extraídas. Uma profundidade, associada a um grau de incerteza, é estimada para esses pontos e a medida que eles são rastreados nos quadros seguintes esses valores são refinados.

Um diagrama contendo a taxonomia das técnicas de realidade aumentada sem marcadores, assim como alguns exemplos, pode ser visto na Figura 14.

## 3.2. VISUALIZAÇÃO

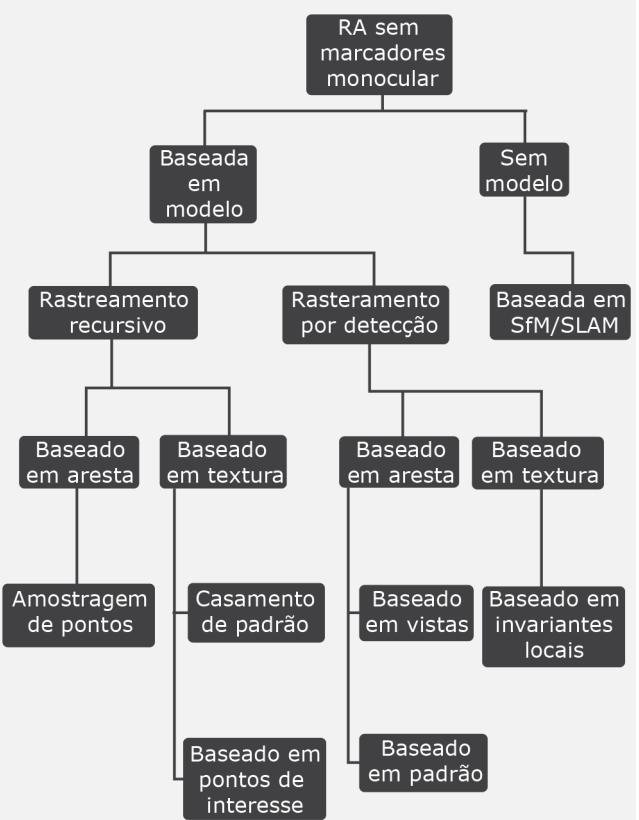
Uma vez que a cena a ser aumentada já foi rastreada e já é conhecido como o objeto virtual será inserido de modo a ficar coerente com o ambiente real, é necessário utilizar algum tipo de *display* para que o usuário possa visualizar a cena aumentada.

Juntamente com um rastreamento coerente, a forma como o usuário vai exergar os objetos virtuais é muito importante para fornecer as sensações de realismo e imersão tão almejadas pela realidade aumentada.

Baseado em [3], pode-se dizer que existem quatro formas do usuário visualizar a informação. Os mais vistos nos filmes de ficção científica são os *displays* anexados à cabeça, onde os representantes mais conhecidos são os *head-mounted displays* e os *displays* em lentes de contato.

Uma outra forma de visualização é a partir de *displays* ao alcance das mãos, modo que está ficando cada vez mais comum graças à popularização e ao aumento do poder de processamento dos *smartphones*.

## Taxonomia



## Exemplos



Figura 14: infográfico mostra a taxonomia das técnicas de realidade aumentada sem marcadores, assim como um exemplo de seus usos.

Possivelmente o modo mais comum de se visualizar aplicações de realidade aumentada hoje em dia é por meio de *displays* baseados em telas, como o monitor de um computador.

Desses, um tipo de *display* que vem se popularizando é o espacial, onde o objeto virtual é inserido diretamente no ambiente em que o usuário se encontra, comumente utilizando projetores.

A Figura 15 ilustra essas formas de visualizar a informação do ponto de vista do usuário.



Figura 15: as formas como o usuário pode visualizar a cena numa aplicação de realidade aumentada.

### 3.2.1. DISPLAY ANEXADO À CABEÇA

Como o próprio nome já diz, a principal característica dos *displays* enquadrados nesta categoria é que eles precisam ser “vestidos” pelo usuário em sua cabeça [3]. De acordo com a forma como eles são utilizados, podem ser divididos em três tipos: os *displays* de retina, os *head-mounted displays* e os *head-mounted projectors*.

Os *displays* de retina utilizam uma tecnologia capaz de exibir a informação virtual diretamente no olho do usuário, o que produz uma imagem mais nítida e com melhor brilho em relação a um monitor. Além disso, possuem a vantagem de propiciarem um maior ângulo de visão. A grande maioria dos aparelhos nesta forma de visualizar utilizam *laser* semicondutor de baixa potência [51], como visto na Figura 16, mas recentemente pesquisadores da Universidade de Washington

desenvolveram e testaram com sucesso em coelhos uma lente de contato baseada em biosensores capaz de exibir informações diretamente nos olhos de quem a usa [52]. Por outro lado, este tipo de *display* tem a desvantagem de exibir apenas informações em vermelho, já que os *lasers* de outras cores ainda são bastante caros, e de não conseguir fazer ajuste de foco automaticamente.



Figura 16: exemplo, acoplado a um óculos, de um *display* de retina que projeta a informação diretamente nos olhos do usuário.

Dentre os *displays* anexados à cabeça, os *head-mounted displays*, ou simplesmente HMD, são os mais utilizados nas aplicações de realidade aumentada. Estes vêm em dois tipos: os *optical see-through*, onde a informação do mundo real é combinada com os elementos virtuais por meio de espelhos semi-translúcidos ou telas de LCD transparentes; e os *video see-through*, onde a imagem do mundo real é capturada por uma câmera no dispositivo e combinada à informação virtual para ser exibida ao usuário por meio de telas em miniatura [3]. A Figura 17 mostra um exemplo dos dois tipos. Apesar de já estar relativamente bem popularizado por ser uma solução com um poder de proporcionar uma sensação de imersão grande para o usuário, estes dispositivos ainda apresentam alguns problemas que dificultam o seu uso, sendo a relação entre a ergonomia e o preço o seu principal entrave.

Já os *head-mounted projectors* possuem pico-projetores, geralmente um para cada olho, que incidem as informações num espelho semi-translúcido e as refletem para uma superfície na frente do usuário [53]. Esta solução é interessante por permitir que os objetos virtuais possam ser visualizados numa grande área.

Porém, este resultado só pode ser obtido a depender das condições de iluminação do ambiente e da intensidade luminosa dos projetores. Assim, os HMPDs como são chamados, só podem ser utilizados em espaços internos, onde os fatores mencionados podem ser controlados.



Figura 17: em cima, um exemplo de um HMD *video see-through*, enquanto embaixo, um HMD *optical see-through* é mostrado.

### 3.2.2. DISPLAY AO ALCANCE DAS MÃOS

Graças ao aumento do poder de processamento e da quantidade de memória e miniaturização das câmeras, além das constantes inovações nas telas multi-toque e nos sensores, como GPS e acelerômetro, os celulares se tornaram capazes de suportar aplicações de realidade aumentada, tanto com e sem marcadores. Esses recentes avanços aliados à queda constante de preços foram os principais fatores responsáveis pela popularização destes dispositivos, que juntamente com tablets são os principais representantes dos displays ao alcance das mãos, ilustrados na Figura 18.



Figura 18: celular com uma aplicação de realidade aumentada utilizando informação da câmera e dos sensores do aparelho.

Praticamente todas as iniciativas relacionadas a este tipo de *display* são através de vídeos, ou seja, a câmera do dispositivo captura a cena, que é utilizada para fazer o rastreamento, integrada aos objetos virtuais e em seguida exibida na tela do aparelho. Porém, também há dispositivos ao alcance da mão por meio ótico. Como exemplo há um equipamento para exibir resultados de ultrassonografia que são mostrados numa tela semi-translúcida segurada pelo médico [54], como visto na Figura 19.



Figura 19: o Sonic Flashlight é um exemplo de equipamento com um *display* ao alcance da mão que integra o real com o virtual por meio ótico.

Outra característica dos aparelhos com este tipo de *display* é a sua mobilidade, que aliada aos sensores presente na maioria deles, permite que o usuário tenha experiências que são muito difíceis de serem conseguidas com outros tipos de telas, como aplicações de realidade aumentada por geolocalização.

Por outro lado, os aparelhos com este tipo de *display* não propiciam uma experiência visualmente tão imersiva quando comparado aos HMDs. Eles também possuem uma tela relativamente pequena, não maior que 11 polegadas para os *tablets*, mas geralmente entre três e quatro polegadas nos celulares. Além disto, o ângulo de visão é muito pequeno em relação ao olho humano, sendo necessário mover o dispositivo para enxergar todo o objeto virtual sobreposto a um marcador grande, por exemplo.

### 3.2.3. DISPLAY BASEADO EM TELAS

Este tipo de *display* é muitas vezes chamado de “janela para o mundo” [55], pois usa monitores comuns para exibir as informações virtuais alinhadas à cena real, dando a sensação para o usuário semelhante a de olhar para uma janela na qual ele observa um mundo novo e diferente. Graças às técnicas de realidade aumentada baseadas na internet, onde o software com RA é executado pelo navegador do usuário, este tipo de *display* se popularizou bastante nos últimos anos. Um exemplo de monitor sendo usado numa aplicação de realidade aumentada pode ser visto na Figura 20.



Figura 20: monitor de computador sendo usado como *display* baseado em tela.

A grande vantagem deste tipo de *display* está no seu custo, já que para o usuário não é necessário nenhum equipamento extra além do monitor que ele já possui. Assim, utilizar as telas é possivelmente a forma com o melhor custo-benefício para exibir o conteúdo virtual em aplicações de realidade aumentada [3]. Mesmo

em situações especiais, onde se faz necessária a aquisição de um monitor, o seu preço é bem inferior aos HMDs ou *smartphones*.

Entretanto, assim como os *displays* ao alcance das mãos, os baseados em tela também não propiciam uma sensação de imersão tão grande para o usuário como os anexados à cabeça e também possuem um pequeno ângulo de visão.

### 3.2.4. DISPLAY ESPACIAL

Esta é a forma de visualização mais distante dos olhos do usuário, onde os elementos virtuais são inseridos de forma integrada com o ambiente no qual ele se encontra e não apenas ao campo visual do observador [56], que neste caso não precisa usar ou portar nenhum aparelho para conseguir ver os elementos gráficos adicionados. Esta inserção pode ser feita por meio ótico ou com projeções.

O *display* espacial ótico, assim como o HMD e o *display* ao alcance das mãos equivalente, exibe a informação virtual por meio de uma superfície ótica onde o usuário pode ver o elemento inserido ao mesmo tempo em que visualiza o ambiente real, sem que este esteja sendo gravado e exibido por meio de uma reprodução de vídeo.

Os elementos ópticos capazes de exibir os elementos virtuais juntamente do real já visualizado pelo usuário podem ser espelhos semi-translúcidos [57], como o HUD visto na Figura 4, ou telas transparentes [58], que são capazes de criar a sensação de hologramas, como visto na Figura 21. Com isso, os *displays* espaciais ópticos, especialmente os holográficos, dão uma sensação de realismo bem maior, apesar de ter a desvantagem de ter a sua área de visualização limitada ao tamanho do elemento óptico, o que pode levar a cortes não naturais do objeto virtual.



Figura 21: o HoloDesk, da Microsoft, é um exemplo de *display* espacial ótico que usa uma tela transparente para criar a sensação de hologramas.

Já o segundo tipo de *displays* espaciais, como o próprio nome já diz, utiliza projeções diretamente numa superfície ou objeto físico presentes no ambiente, como ilustrado na Figura 22. Esta forma de visualização vem se tornando tão comum que as aplicações que fazem uso dela já ganharam uma classificação especial, chamada de realidade aumentada projetiva.

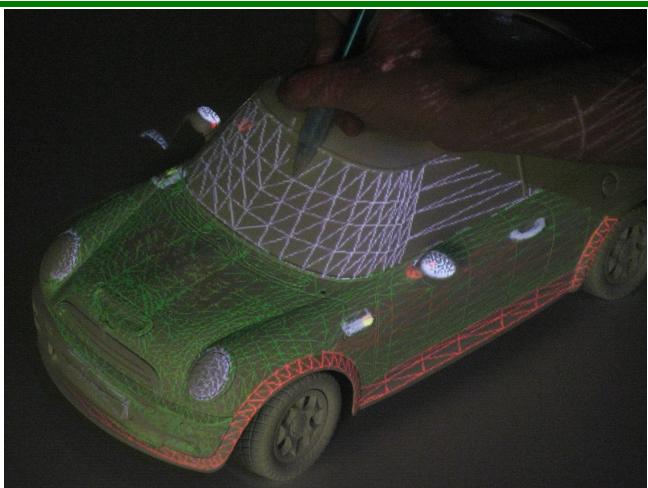


Figura 22: exemplo de aplicação de realidade aumentada projetiva, onde o usuário interage com informações projetadas sobre um modelo de um carro sem textura.

As aplicações de realidade aumentada projetiva possuem algumas características peculiares em relação àquelas que possuem outras formas de visualização, a começar pelo rastreamento. Para os outros tipos de telas, a imagem virtual é anexada a porções do ambiente que compreendem apenas o ponto de vista do usuário, diferentemente das que usam o *display* espacial projetivo, onde a informação é

atribuída ao ambiente inteiro [3]. Assim, é feito o registro do espaço e de todos os objetos que o compõem e, independente da movimentação da pessoa e de como ela o observa, as informações virtuais estarão presentes no ambiente.

Entretanto, para algumas aplicações é importante que a projeção mude à medida que o observador se movimenta, o que pode prover, entre outras coisas, noção de profundidade ou sensibilidade a contexto. Para isto, é necessário que não só o ambiente esteja registrado, mas também que haja um rastreamento do ponto de vista do usuário, que pode ser feito utilizando sensores presos à cabeça do mesmo, como mostrado na Figura 23. Outra forma de obter profundidade para o observador é utilizando projeções estéreo e óculos polarizados, como nas salas de cinema atuais.

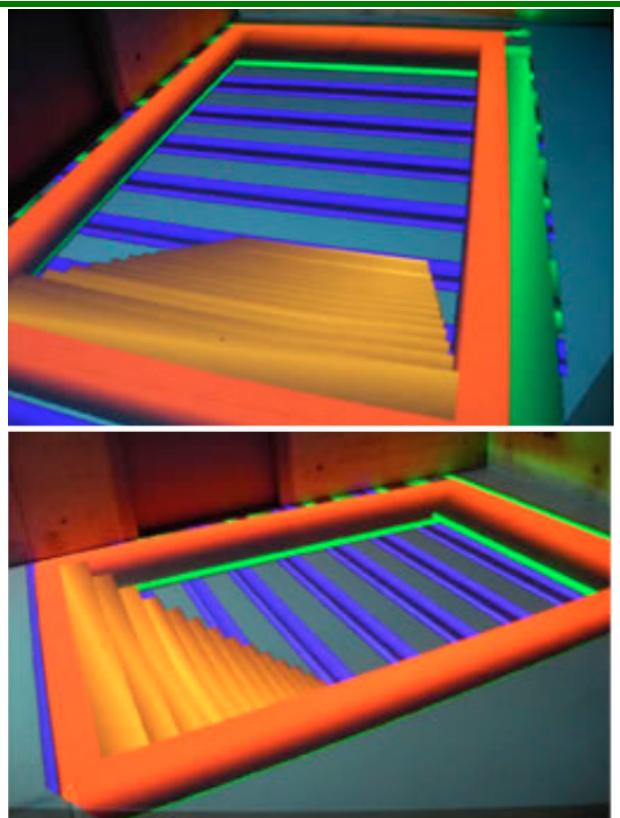


Figura 23: exemplo de aplicação de realidade aumentada projetiva onde há rastreamento de acordo com o ponto de vista do usuário.

Outra peculiaridade se dá em relação à oclusão, pois na realidade aumentada projetiva os elementos virtuais podem facilmente ser ocluídos por objetos reais, porém nunca se sobreporão a eles, ao contrário das aplicações

de realidade aumentada com outras formas de visualização, onde ocultar os elementos virtuais é bastante complexo, mas estes se justapõem sobre os objetos reais.

Um ponto negativo da realidade aumentada projetiva é que esta é bastante dependente da superfície de projeção e das condições do ambiente. Caso o local de projeção não seja difuso, de cor clara e uniforme, a qualidade da imagem exibida poderá ser comprometida. Do mesmo modo que a nitidez das cores também está diretamente relacionada à luminosidade do ambiente e da intensidade do projetor. Ainda em relação às cores, é preciso tomar cuidado com a coloração dos objetos virtuais, pois esta característica pode ser modificada no momento da projeção dependendo das cores da superfície onde será exibida. Assim, quanto mais escuro, melhor será a qualidade das cores, eliminando a necessidade de projetores potentes.

Outro problema reside nas sombras, tanto do usuário quando este se posiciona entre o projetor e a superfície de projeção, como do próprio ambiente e dos objetos que o compõem, que podem bloquear parte da luz. Isto pode ser resolvido basicamente de duas formas: uma é procurar posicionar muito bem os projetores, como por exemplo, deixá-lo num ponto alto e próximo da superfície de projeção, onde dificilmente o usuário conseguirá permanecer entre eles; já a outra é utilizando múltiplos projetores, que precisam estar alinhados para que o conteúdo seja uniformemente visualizado.

Em contrapartida, o fato de o objeto virtual ser inserido sobre ou próximo ao real, e da imagem não incidir diretamente no olho do usuário, e sim através de uma reflexão vinda de uma superfície pouco reflexiva, como uma parede, torna este tipo de *display* agradável ao olho humano.



Figura 24: no topo, crianças interagem numa partida de futebol projetada no chão. Abaixo e à esquerda as veias de um paciente são mostradas utilizando um projetor. Já à direita uma cliente interata com uma vitrine virtual.

Deste modo, um dos grandes benefícios da realidade aumentada projetiva é a capacidade de prover a interação dos elementos virtuais com os reais de forma imersiva para o usuário sem a necessidade dele vestir ou carregar nenhum *display*. Hoje já existem diversas iniciativas comerciais que utilizam esta forma de visualização. Como exemplos há as vitrines de lojas interativas [59], onde os produtos são projetados no mostruário e o cliente interage com as ofertas, possibilitando que ele veja roupas sobrepostas a seu corpo ou até realize a compra de um produto, entrando na loja apenas para recebê-lo. A área médica também já faz uso de aplicações com este tipo de *display*. Como exemplo há um dispositivo que projeta precisamente sobre o paciente as suas veias e artérias, facilitando assim o encontro destas para o uso em procedimentos clínicos [60]. Uma das áreas que faz mais uso de projeções é a publicidade. Há muitas iniciativas voltadas para a divulgação de marcas, produtos e conteúdo, como os pisos e paredes interativos [61], projeções de animações sobre os próprios produtos e exposição em feiras. A Figura 24 mostra alguns desses exemplos.

### 3.3. INTERAÇÃO

O fato de o ambiente real se relacionar diretamente com os elementos virtuais influencia bastante na forma como o usuário interage com a aplicação. Assim, as características da realidade aumentada projetiva praticamente impõem uma interação mais natural [62], fugindo do tradicional mouse e teclado.

Dentre as várias formas de interação natural, algumas já estão bem consolidadas nas aplicações de realidade aumentada projetiva. Um exemplo são as interações com a sombra que o próprio usuário faz ao se posicionar entre o projetor e a superfície [63]. Nela, em geral, uma câmera captura toda a superfície de projeção e subtrai a imagem que foi obtida por uma de referência, previamente adquirida sem

possuir nenhuma sombra. Como resultado desta operação temos uma imagem que possui apenas as sombras. Em seguida a sombra é tratada como um corpo rígido e intransponível e utilizada como entrada para algum algoritmo de simulação física 2D, fazendo com que a sombra do usuário interaja com os objetos projetados, como mostrado na Figura 25.

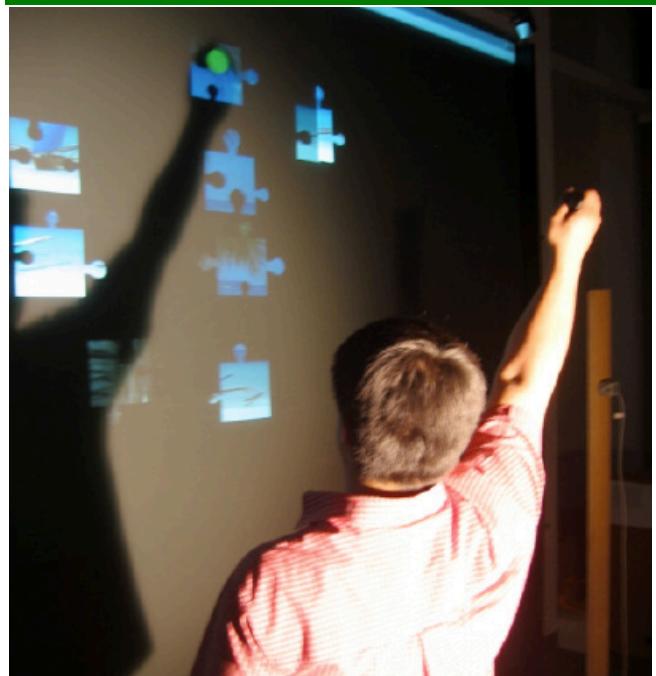


Figura 25: nesta aplicação o usuário, a partir da sua sombra, precisa montar um quebra-cabeça.

Outro tipo de interação bastante utilizado é a partir do rastreamento do corpo do próprio usuário. Ela ocorre de forma semelhante ao uso das sombras para este fim, onde uma câmera captura a imagem da pessoa e a partir de operações de processamento de imagem e simulação física, determina como a aplicação irá responder aos movimentos [64]. Entretanto, possui a vantagem sobre a anterior de não ter a necessidade do usuário ocultar a projeção, o que melhora a visualização. Recentemente, com a popularização do Kinect, este dispositivo passou a ser utilizado como forma de rastrear o corpo no uso de aplicações interativas [65].

Os objetos tangíveis também são bastante utilizados como dispositivos de entrada para aplicações de realidade aumentada projetiva, e muitas vezes também como interfaces de saída. Estes podem fazer uso de sensores para facilitar

o rastreamento, como no *ARHockey* [66], que utiliza emissores infra-vermelho nos batedores de um jogo de *Air Hockey*, onde o disco e a mesa são virtuais, inseridos via projetor, como visto na Figura 26.

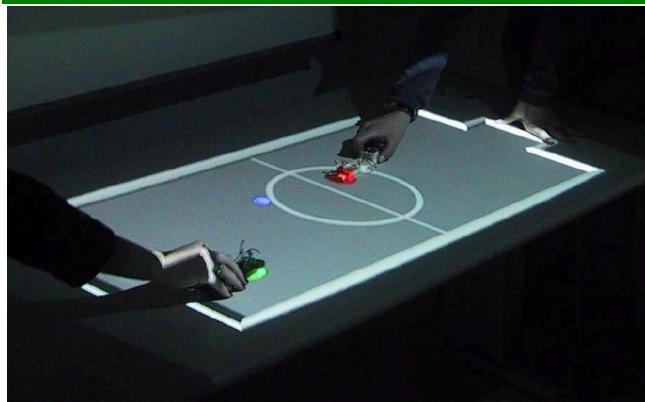


Figura 26: o *ARHockey* utiliza interface tangível com sensores em aplicações de realidade aumentada projetiva.

Outras interfaces tangíveis não utilizam sensores, mas sim a imagem extraída por câmeras, que em geral requer um processamento maior para gerar resultados tão precisos como as interfaces que utilizam os sensores, mas em compensação possuem mais flexibilidade em relação à montagem do sistema por não necessitar de aparelhos eletrônicos. Um exemplo foi utilizado no Centro Interpretativo de Belmonte, um museu português dedicado a Pedro Alvares Cabral, onde o usuário pode simular operações de escambo com a projeção de índios ao exibir um objeto para a câmera, cujas cores representam diferentes produtos [67], como visto na Figura 27.



Figura 27: a cor do objeto sobre o púlpito representa produtos que o usuário troca com os índios na simulação de um escambo.

### 3.4. ALINHAMENTO

As aplicações de realidade aumentada projetiva possuem uma peculiaridade a nível de implementação em relação às aquelas com outros tipos de *displays*, que é a necessidade de realizar uma etapa de alinhamento entre a câmera e o projetor. Também chamada de calibração, ela é necessária porque a câmera que captura a imagem real possui um sistema de coordenadas diferente do projetor, fato que não ocorre quando a informação é exibida com as outras telas, que possuem o mesmo sistema da câmera.

Nos *displays* mais tradicionais, como os monitores e celulares, a informação virtual é inserida sobre elementos, como um marcador, por exemplo, presentes na imagem que foi capturada e processada durante o registro. Já nas aplicações de realidade aumentada projetiva os elementos gráficos são inseridos sobre objetos reais que foram filmados e rastreados por uma câmera que está numa posição diferente do projetor, como mostrado na Figura 28. Além disso, há aplicações de RA projetiva que necessitam que a projeção simule uma forma tridimensional para, por exemplo, aplicar uma textura à superfície real, como no carro da Figura 22.

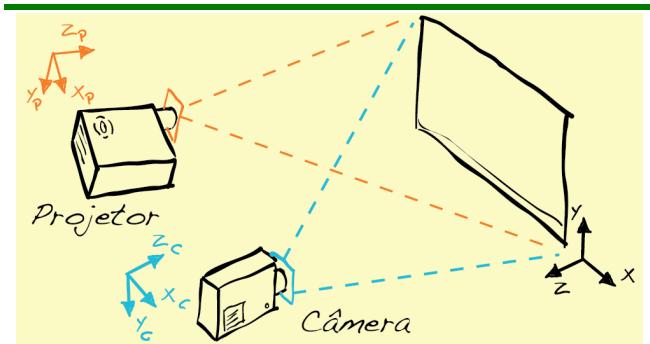


Figura 28: tanto a câmera como o projetor possuem seus próprios sistemas de coordenadas em relação ao sistema de coordenadas de mundo, no qual o objeto está presente.

Para que a informação a ser exibida seja corretamente posicionada sobre o objeto, é necessária uma transformação que leve o sistema de coordenadas da câmera para o do projetor, utilizando os parâmetros intrínsecos e

extrínsecos da câmera. A operação converte os pontos do sistema de coordenadas de imagem para as coordenadas de mundo e, em seguida, utilizando os parâmetros do projetor, que pode ser encarado como uma câmera invertida, onde a imagem é emitida a partir do foco, levar os pontos das coordenadas de mundo para as do projetor. Como esta operação é invertível, também é possível encontrar a matriz que leva os pontos das coordenadas de projetor para as da câmera, quando necessário.

Este problema de alinhar um sistema formado por uma câmera e um projetor é bastante estudado na busca de uma solução totalmente automática para realizar esta tarefa. Uma das formas mais comuns é utilizando sensores, sendo o mais comum o infravermelho por ser invisível ao olho humano, dando a impressão que nenhum elemento intrusivo foi inserido na cena. Estes são corretamente posicionados de acordo com a forma e a superfície de projeção, funcionando como pontos de controle [68]. Assim, o alinhamento é calculado usando-os como base.

Uma outra forma de realizar o alinhamento da câmera com o projetor é utilizando elementos gráficos, como marcadores ou pontos fixados à cena [69]. Assim, como no caso dos sensores, este tipo de calibração pode ser implementado rápido o suficiente para ocorrer em tempo real, e havendo qualquer mudança na posição da câmera ou do projetor o alinhamento é corrigido automaticamente.

Entretanto, essas técnicas possuem a desvantagem de necessitar inserir um elemento intrusivo à cena. Uma alternativa é a técnica de luzes estruturadas, na qual o projetor emite um padrão de luz conhecido na cena. A câmera captura a reflexão desta luz nos objetos da cena e a partir da forma como ela se deformou executa o alinhamento dos dois [70].

Uma maneira semelhante à de luzes estruturadas é a que utiliza uma imagem com padrões também conhecidos exibida entre

frames num vídeo de alta frequência [71]. A imagem exibida por muitos projetores hoje possui uma taxa de atualização maior que 60Hz, ou seja 60 frames por segundo, que é mais rápido do que o olho da maioria dos seres humanos consegue perceber. Deste modo, quando o padrão é exibido no instante de tempo de apenas um quadro o olho humano não consegue notá-lo, entretanto se uma câmera com a mesma taxa de captura for sincronizada, esta conseguirá capturar este frame específico. De posse desta imagem, a distorção da imagem é analisada da mesma forma como ocorre com as luzes estruturadas.

Outra forte característica das aplicações de realidade aumentada projetiva é a possibilidade de utilizar múltiplos projetores, seja para ampliar a área de exibição ou para que estes alcancem várias áreas de um objeto. Esta propriedade requer que a calibração leve em conta não apenas a relação câmera e projetor, mas também o alinhamento dos projetores entre si, de modo que uma imagem não se sobreponha a outra ou que haja diferença na intensidade luminosa. A Figura 29 ilustra essa diferença, pois nela pode-se observar que antes do alinhamento as imagens dos projetores se intersectam, formando uma região que é mais clara onde a informação se sobrepõe. Abaixo, após o alinhamento, a imagem fica uniforme, como se saído de um único projetor [72].

Como os projetores podem ser considerados câmeras invertidas, o alinhamento entre eles ocorre de forma semelhante ao dos sistemas câmera-projetor, como sensores [68] ou luzes estruturadas [72]. Entretanto, é necessário levar em conta não apenas o alinhamento geométrico destes, mas também a intensidade luminosa. Uma forma de realizar essa unificação é aplicar diferentes valores de transparência a partes das imagens de cada projetor a depender da intensidade da luz [73].

Além do alinhamento do projetor com outros e com a câmera, estes também podem ser alinhados com um objeto de forma não trivial, de

modo a simular textura, como na Figura 22. Para este caso também é possível utilizar luzes estruturadas, que serão responsáveis por determinar a geometria da cena, para em seguida uniformizar a intensidade luminosa e por fim tratar a auto-occlusão [74].

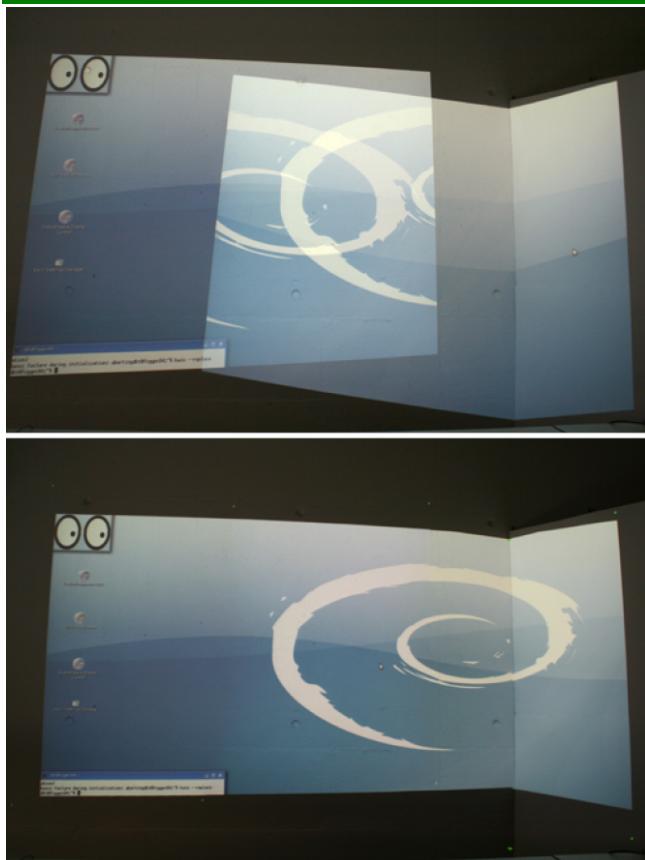


Figura 29: alinhamento de projetores em sistema com mais de um deles. Em cima, antes do alinhamento e embaixo após esta etapa.

### 3.5. REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO

De acordo com professores consultados durante a pesquisa, duas características da realidade aumentada são grandes atrativos para que esta possa ser usada nas salas de aula: primeiro que o uso de RA proporciona uma melhor visualização dos conteúdos e segundo porque ela fomenta a interatividade entre os envolvidos no processo de ensino-aprendizagem.

Um bom exemplo de como a realidade aumentada pode incrementar o modo como os alunos veem o conteúdo pode ser visto no que vem sendo chamado de livros aumentados [75]. Neles, o estudante posiciona na frente de uma webcam uma página de um livro possuindo a

imagem de uma figura geométrica, por exemplo, que funcionaria como um marcador, e sobre ela é mostrada por um monitor a representação tridimensional dela, um conceito ilustrado na Figura 30. Caso ele move ou rotacione a página, poderá ver o elemento geométrico 3D por todos os ângulos, enxergando-o em sua plenitude, o que pode ajudar bastante aqueles alunos que possuem dificuldade de visualizar formas espaciais quando estas estão no papel representadas em 2D.



Figura 30: o *Volcano on a Book* é um exemplo de livro aumentado.

Como o aluno pode mover livremente as páginas do livro que contém o elemento 3D inserido, ele tem a sensação de que está segurando a figura geométrica em suas mãos, manipulando o virtual da mesma forma que faria com o real. Essa interatividade torna o aluno um elemento ativo no processo educacional.

Um outro exemplo é uma aplicação chamada *StreetMuseum* do Museu de Londres [76], que mostra os locais exatos onde fotos históricas da capital inglesa foram tiradas usando GPS. Os alunos, usando smartphones, podem se locomover fisicamente até esses lugares e visualizar essas imagens antigas, como pode ser visto na Figura 31. Desse modo, os estudantes precisam se deslocar e explorar a cidade em busca do conteúdo.

Pelo fato da realidade aumentada ser uma área recente, ainda não existem trabalhos consolidados que a relacionam com educação, especialmente no que se refere a uma avaliação se RA consegue realmente motivar os alunos,

melhorando o seu desempenho escolar, sendo pioneiras as iniciativas aqui mencionadas.



Figura 31: no *StreetMuseum* o usuário pode ver fotos históricas sobrepondo a imagem capturada pela câmera do celular.

Entretanto, tudo indica que não será preciso esperar muito para ver essa tecnologia de fato aplicada nas salas de aula. De acordo com um relatório da *New Media Consortium*, um consórcio de organizações não governamentais que explora o uso de novas mídias e tecnologias, em parceria com a *EDUCASE Learning Initiative*, uma organização formada por ONGs e instituições de ensino dedicadas a desenvolver o aprendizado através do uso de tecnologias inovadoras, a realidade aumentada é uma tecnologia em desenvolvimento que terá grande impacto na educação já a partir de 2013 ou 2014 [2].

Para que a realidade aumentada alcance o amadurecimento suficiente para tornar real todo este potencial, mais iniciativas e experimentos precisarão ser conduzidos, como no caso do *Letters Alive*, voltada para crianças que estão aprendendo a ler [77]. Nela, as crianças colocam cartões contendo letras e um animal cujo nome começa com a respectiva letra aparece pelo monitor sobre o papel. Em seguida, elas devem montar frases sobre este bicho, usando outros cartões com palavras, da maneira que é mostrado na Figura 32. Caso acertem, os alunos recebem um retorno positivo por parte do programa.

Outra aplicação, desta vez voltada para crianças de até 12 anos, chama-se *Buffalo Hunt*, que usa um jogo de realidade aumentada para celular com o objetivo de aprofundar os

conhecimentos dos alunos acerca da história dos nativos norte-americanos, ao mesmo tempo que tenta mapear as suas atividades com habilidades que os pequenos precisam aprender [78].



Figura 32: o *Letters Alive* dá vida a animais na tela do computador e ajuda as crianças a formularem sentenças.

Mais uma aplicação interessante é o *Augmented Chemistry*, que usa a realidade aumentada a partir de interfaces tangíveis para auxiliar no ensino da química [79]. Nela, o aluno, usando uma espécie de garra, pega os elementos da tabela periódica de um catálogo e assim vai montando a molécula desejada, que pode ser visualizada através de um monitor. O aplicativo também possui um cubo que ao ser girado livremente movimenta da mesma maneira a molécula formada pelo estudante, dando ao mesmo uma visão de qualquer ângulo da substância, como pode ser visto na Figura 33.



Figura 33: *Augmented Chemistry* em uso. Nele pode ser vista a garra na mão direita do usuário e o cubo que indica a orientação na mão esquerda. No canto inferior esquerdo da imagem está o catálogo de elementos e no inferior direito da figura, vemos a molécula montada pelo aluno.

O apelo visual da realidade aumentada não é um estímulo apenas para crianças. O *mirracle* é uma aplicação de RA que mostra a estrutura

interna de um corpo humano em monitor com o usuário interagindo a partir de gestos [80], como visto na Figura 34. Ele foi concebido para ser usado como ferramenta no ensino do curso de anatomia. Grandes universidades já estão utilizando este programa, como o Centro Acadêmico de Medicina da Universidade de Amsterdã e no curso de medicina da Universidade Técnica de Munique.



Figura 34: ao usarem o *mirracle*, os estudantes podem ver um órgão posicionado corretamente sobreposto a eles, escolher um corte longitudinal ou latitudinal do seu corpo e outras funções.

De fato, o potencial para uso de realidade aumentada aplicada à educação é tanto que algumas das principais universidades do mundo estão conduzindo pesquisas sobre o tema. É o caso das universidades de Camberra e Macquarie, ambas na Austrália, que montaram em conjunto o InSPIRE, um laboratório de pesquisa voltado para desenvolver aplicações de realidade aumentada aplicada à educação. O primeiro projeto a ser desenvolvido por essa parceria é o ARstudio, que tem como objetivo desenvolver um conjunto de ferramentas onde o professor pode criar conteúdo com RA para usar em suas aulas [81].

O Georgia Institute of Technology, uma das principais universidades a trabalhar com RA no mundo, também vem conduzindo pesquisas com realidade aumentada aplicada à educação. Um exemplo está no *Augmented Reality Scratch*

[82], um software que permite a crianças criarem ambientes que misturam elementos virtuais com reais, onde elas interagem com o primeiro a partir da manipulação do segundo, desenvolvendo assim várias habilidades como a noção espacial e conhecimentos básicos de programação, como pode ser visto na Figura 35.



Figura 35: *software* para a criação de ambientes com RA do *Augmented Reality Scratch*. Nele a criança pode inclusive programar interações entre os elementos virtuais.

Outra importante instituição que está conduzindo pesquisas com realidade aumentada é o MIT. Através do programa STEP, que tem o objetivo de formar professores para dar aulas de matemática e ciência a alunos do ensino fundamental, o MIT vem desenvolvendo pesquisas com o intuito de criar tecnologias capazes de ensinar de forma divertida [83]. Um dos projetos desenvolvidos pelo STEP é o MITAR, que simula um vazamento tóxico e os alunos, portando um dispositivo móvel com GPS, precisam realizar medidas e análise de dados para impedir o vazamento. Os resultados preliminares desse projeto estão indicando que essa forma de ensinar está sendo bem sucedida em engajar os alunos e estimular a investigação científica [84].

# 4. ARBLOCKS: PLATAFORMA DE BLOCOS DINÂMICOS

---

Figura 36: blocos dinâmicos conseguem agregar todos os benefícios que as interfaces tangíveis têm para a educação com a flexibilidade de um sistema computacional que pode ser moldado às necessidades de professores e alunos.



Com o objetivo de integrar os conhecimentos vistos nos capítulos anteriores, foi proposto o desenvolvimento do conceito de um produto fechado para realizar atividades educacionais. Este irá utilizar realidade aumentada e sua interação será através de interfaces tangíveis. Por ser voltado principalmente para crianças entre quatro e oito anos, com essas características este conceito poderá explorar os benefícios das atividades lúdicas para a educação.

Dentre as várias possibilidades de aplicativos que contemplam este propósito, as atividades baseadas em blocos foram as escolhidas. Isto ocorreu pois, como foi mostrado anteriormente, quando as crianças estão brincando com este tipo de brinquedo, na realidade elas estão aprendendo ludicamente a pensar e resolver problemas que podem estar presentes no seu dia a dia no futuro, influenciando diretamente no

modo como elas veem e compreendem o mundo ao seu redor.

Deste modo, as atividades baseadas em blocos são muito utilizadas como brinquedos educativos, pois servem como instrumento para o aprendizado, especialmente para crianças de até oito anos. Dependendo do seu tipo, o professor pode usá-los para que as crianças desenvolvam o raciocínio lógico e matemático, assim como o vocabulário, a coordenação motora e a criatividade. Entretanto, como os blocos tradicionais possuem suas faces estáticas, é necessário ter um conjunto diferente para cada uma das atividades que o tutor queira executar, limitando suas possibilidades. Desta forma, existem muitos brinquedos baseados em blocos com um único propósito, como visto na Figura 37.

Neste trabalho foi proposto o ARBlocks, uma solução que visa resolver esta limitação a partir do desenvolvimento de blocos dinâmicos, onde

qualquer informação desejada possa ser exibida em suas faces durante a atividade, desde uma simples letra ou número, como nos tradicionais, até um conteúdo dinâmico ou retorno positivo quando o aluno acertar a atividade. Dessa forma, as possibilidades dos professores aumentam substancialmente e eles podem usar sua criatividade para criar diversas atividades, desde as mais comuns, como juntar as letras para formar uma palavra, até outras mais complexas que utilizam a orientação de um bloco para ajudar o aluno a contar, por exemplo.



Figura 37: conjunto de blocos contendo letras, no qual a criança desenvolverá a habilidade linguística.

Para o ARBlocks, a necessidade da interação ser através de interfaces tangíveis por meio dos blocos físicos praticamente impôs que a forma de visualização ocorresse através de um *display*

espacial, neste caso o projetor. Isto porque a utilização de HMDs, além de elevar bastante o custo da solução, criaria um desconforto nas crianças, especialmente as menores pelo fato delas precisarem utilizar este dispositivo. A utilização de um monitor foi descartada por não ser natural o fato de manipular um objeto e precisar olhar para outro lugar a fim de ver o resultado, principalmente para os mais novos.

Cada um dos blocos possui um marcador em suas faces que será rastreado por uma câmera comum, diferenciando-o dos demais. De posse das posições e orientações de cada objeto, o conteúdo de cada um deles será projetado apenas na sua face, funcionando assim como um *display*, pois irá exibir a informação para o usuário, e um dispositivo de entrada, já que a sua manipulação influenciará na atividade e no que será mostrado. Por se tratar de um bloco físico, todos os benefícios já mencionados associados aos brinquedos tradicionais são preservados. Entretanto, como ele é um sistema computacional, outros pontos positivos são acrescidos, como a possibilidade de retorno sonoro e o enriquecimento do retorno visual que pode ser animado, por exemplo. Seu conceito é mostrado na Figura 38.



Figura 38: de acordo com o seu conceito, o ARBlocks faz uso das vantagens da realidade aumentada projetiva para adaptar os tradicionais jogos de blocos.

O processo de pesquisa e desenvolvimento desta plataforma foi dividido em quatro etapas, que são detalhadas neste capítulo. Primeiro ocorreu um estudo sobre o design do ARBlocks, onde foram conhecidos os principais concorrentes do produto e o contexto onde ele será inserido de modo a desenvolver um artefato que se adeque às necessidades da educação infantil. Em seguida, foi realizada uma pesquisa técnica, permitindo o desenvolvimento da tecnologia que tornou este produto possível. Posteriormente, um aplicativo que use a plataforma foi proposto com o objetivo de validar os blocos dinâmicos. Por fim, foram conduzidos testes com professores de modo a verificar com eles o potencial uso do ARBlocks em salas de aula.

## 4.1. ANÁLISE DE CONCORRENTES

A utilização de blocos interativos não é novidade na educação. Este tipo de atividade logo se tornou um grande aliado dos professores pelo modo como desenvolve a linguagem, estimula a criatividade e o raciocínio lógico, além de outras várias habilidades das crianças [85].

Hoje eles existem em vários tamanhos, formas e materiais. Para cada atividade que se propõem, existe um conjunto específico de blocos. Deste modo, caso o professor queira ensinar matemática, ele utilizará um material feito exclusivamente para este propósito, contendo números, símbolos matemáticos ou figuras geométricas. Num outro momento, quando a atividade tiver como objetivo desenvolver a linguagem, serão utilizados outros blocos contendo letras. Assim, as escolas muitas vezes possuem vários conjuntos de jogos, um para cada fim.

Quando este tipo de recurso não pode ser utilizado foi observado através de entrevista com professores que eles procuram fazer uso de diversos recursos multimídia, como músicas, sons e vídeos, de modo a chamar a atenção das crianças, já que os pequenos gostam quando

são expostos a situações que estimulam vários de seus sentidos.

Como já foi exposto, recentemente os computadores passaram a ser utilizados muitas vezes como instrumento para simular as atividades que as crianças já exerciam no seu dia a dia [86]. Apesar de prender a atenção dos pequenos, os programas executados por essas máquinas não conseguem estimular tão bem quanto os objetos palpáveis algumas habilidades importantes, já que a característica dos monitores, que funcionam a base de um apontador digital sobre uma tela plana, elimina qualquer forma de interação manuseável.

Com o barateamento e desenvolvimento da tecnologia, começaram a surgir soluções que utilizam objetos palpáveis como modo de fornecer entrada ou saída para uma atividade educacional. São os manipulativos digitais. Entretanto, ainda é visível a falta de aplicativos interessantes capazes de suprir as necessidades de ensino para crianças [11].

Um bom exemplo de manipulativos digitais é o Sifteo [87], computadores de 3,5 centímetros de lado, que possuem uma tela LCD e sensores para interagir com outros, como visto na Figura 39.



Figura 39: dois *Sifteos* juntamente com um dispositivo para conectá-los ao computador.

Desenvolvidos pelo MIT, eles são uma solução muito boa em relação ao uso de interface tangível digital para educação, porém seu custo o torna inviável para muitas escolas, como as brasileiras. Um único bloco é comprado por US\$ 45,00, sem impostos, enquanto que um conjunto com três deles mais alguns acessórios, como carregador e equipamento para transferir dados entre eles e o

computador, custa mais de US\$ 129,00. Deste modo, caso uma escola deseje comprar um conjunto com 12 blocos ela precisará investir quase US\$ 540,00 mais os impostos.

Outro exemplo interessante de manipulativo digital é a Mesa Educacional Alfabeto [88], da Positivo. Nela o aluno dispõe de vários blocos contendo letras. Ao colocá-los num painel eletrônico, um evento relacionado à letra é exibido em um monitor. Desta forma, o aluno pode construir palavras e sentenças. Existe também uma versão voltada para a matemática, com números e símbolos matemáticos nos blocos, que ao serem colocados no painel exibem operações aritméticas. Um exemplo dela pode ser visto na Figura 40.



Figura 40: Mesa Educacional Alfabeto, da Positivo, sendo aplicada numa sala de aula.

## 4.2. DESIGN DO ARBLOCKS

Do problema inicial ao produto final, existem vários passos a serem dados para garantir o seu sucesso, tanto com relação ao usuário como ao mercado [89]. No caso do ARBlocks, que possui um conceito bem definido, foi necessário transformar isto num produto que agrupa usabilidade e ergonomia usando as necessidades infantis como guia. Assim, nesse projeto foram selecionadas e aplicadas técnicas muito comuns em metodologias de *design* consolidadas [90].

### 4.2.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

É a partir da fase de definição do problema que é possível formular as condições de suas soluções [91]. De acordo com o método cartesiano, para melhor entender e resolver um problema, ele deve ser dividido no máximo de subproblemas possíveis e estes devem ser solucionados um a um. Desta forma, o processo se torna mais intuitivo quando comparado com a resolução direta do problema por inteiro [89].

Com este raciocínio em mente, o ARBlocks pode ser dividido na solução de três problemas essenciais: forma, tipografia e material. Por se tratar de um projeto com público alvo bem específico, a coleta de dados é uma etapa crucial na determinação de uma solução ótima para os subproblemas, tornando-se, assim, base para as outras fases.

### 4.2.2. COLETA DE DADOS

Esta coleta de dados pode ser organizada na análise de similares e em uma pesquisa sobre tipografia e ergonomia voltadas para o público infantil.

#### 4.2.2.1. ANÁLISE DE SIMILARES

Por ser uma versão tecnológica dos blocos de madeira, que é um brinquedo bem conhecido, a análise de similares do ARBlocks focou nesse objeto que possui funções formais, práticas e simbólicas bem similares entre si [92]. A grande parte dos objetos estudados possui um tamanho relativamente pequeno, baixa complexidade e são facilmente manipuláveis e aplicados à educação. Ao estudá-los foi possível conhecer melhor os competidores de forma a analisar suas características e evitar possíveis reinvenções [90].

Com a análise foi observado que o material mais usado na confecção dos blocos foi a madeira, mas também é muito comum encontrar versões feitas de plástico e, em menor escala, isopor. Um grande diferencial encontrado em alguns blocos foi o uso de ímãs, que facilita para as crianças os juntarem. Além disso a sua forma

é quase sempre cúbica, que permite seis tipos diferentes de informações, uma para cada face. Esta característica é bastante explorada, assim o mesmo bloco possui uma sequência formada por números, letras, cores, imagens, formas, entre outros. Em alguns casos as informações da face formam um quebra-cabeça que o aluno precisa montar.

Como todos os objetos analisados foram feitos para crianças, foram encontradas algumas características fundamentais usadas para garantir a segurança delas. Por exemplo, os cantos arredondados evitam acidentes para as idades onde os pequenos ainda não possuem a coordenação motora totalmente desenvolvida. O tamanho dos blocos também possui algumas regras, pois eles não podem ser tão grandes de modo que a criança não consiga segurar ou tão pequena que ela possa engolir.

Outra característica observada e que se aplica ao problema do ARBlocks em específico é a necessidade dele possuir uma face lisa e de cor uniforme de modo que a informação possa ser impressa sem deformação.

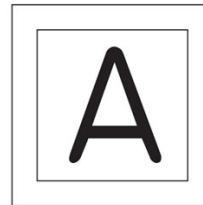
#### 4.2.2.2. TIPOGRAFIA PARA CRIANÇAS

Ao escolher fontes para auxiliar crianças no processo de alfabetização é muito comum pensar que as mais apropriadas são aquelas com formas mais “engraçadas”, como referência ao imaginário que temos sobre os temas infantis. Entretanto, estudos indicam o contrário [93]. Eles chegam à conclusão que as crianças atuais, por serem constantemente estimuladas pela leitura nos mais diversos meios, como placas, revistas, televisão e outros, já estão habituadas com a “tipografia adulta”. Deste modo, o fator citado foi levado em conta e não foi realizada nenhuma adaptação que não resultasse exclusivamente na melhoria da legibilidade das letras e das palavras.

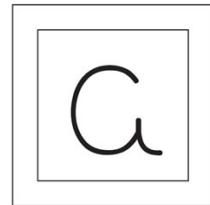
Assim, seguindo esta linha de raciocínio, alguns *designers*, tipógrafos e pedagogos criaram fontes que incorporaram melhorias no tamanho, largura, terminações e outras

características, sendo algumas dessas tipografias usadas nos programas educacionais.

Para este projeto duas fontes foram selecionadas, uma bastão e outra cursiva, já que as crianças primeiro aprendem com a primeira delas e aos poucos vão migrando para o segundo tipo. Deste modo, é interessante para o professor que ele tenha acesso às duas. Ambas possuem características tipográficas similares àquelas pesquisadas e um exemplo delas pode ser visto na Figura 41. A fonte bastão é a *National First Font* e a cursiva é a *Mamãe que nos faz*.



National First Font



Mamãe que nos faz

Figura 41: fontes usadas no ARBlocks para garantir sua legibilidade.

#### 4.2.2.3. ERGONOMIA PARA CRIANÇAS

Ergonomia é o estudo da relação entre o homem e seu trabalho, equipamento e ambiente e, particularmente, a aplicação do conhecimento na anatomia, fisiologia e psicologia da solução dos problemas encontrados nessa relação [94]. Deste modo, a definição das dimensões dos blocos foi baseada no estudo *Strength Characteristics of U.S Children for Product Safety Design* [95]. Com o objetivo de tornar os blocos facilmente manipuláveis, eles foram concebidos de forma a caber na palma da mão das crianças. Em termos técnicos isso significa que o tamanho máximo do objeto deve ser o mesmo do terceiro osso metacarpal do usuário, ilustrado na Figura 42, que, de acordo com estudos, em crianças entre seis e oito anos é de cerca de cinco centímetros.

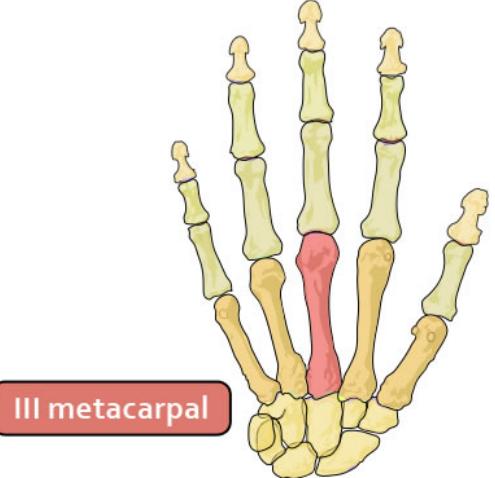


Figura 42: ossos da mão com o terceiro metacarpal em destaque.

Usando a técnica de SCAMPER, sigla para Substituir, Combinar, Adaptar, Modificar, Por para outro usuário, Eliminar e Reverter [96], foi possível criar e estudar várias combinações de características levantadas na fase de análise de similares. Depois de diversos rascunhos da forma dos blocos, duas delas foram selecionadas para serem melhor estudadas a fim de encontrar uma solução final. As outras foram descartadas por possuírem inadequação em relação ao seu uso, preço ou produção. Durabilidade e resistência também foram levadas em conta. Protótipos de papel foram feitos para ajudar nos estudos e comparações em relação ao tamanho e formas. Este processo está resumido na Figura 43.

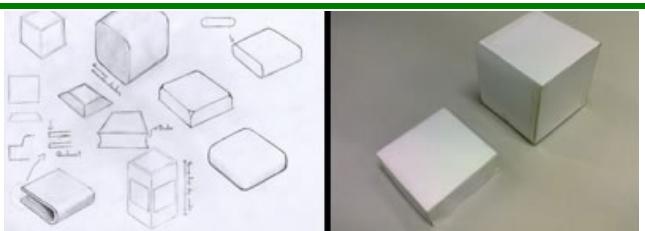


Figura 43: rascunhos iniciais e um protótipo em papel das alternativas finalistas.

A primeira solução é aquela com a forma mais comum encontrada na análise de similares, um cubo que possibilita a visualização de seis informações diferentes. Com ele as alternativas para a aplicação seriam maiores, assim como a sua complexidade. Como o sistema irá projetar a informação sobre a face, o usuário precisa memorizar qual delas deve ficar direcionada para o projetor e o que as outras significam de

modo a manipular o cubo corretamente, o que pode causar uma certa dificuldade para as crianças.

Por simplificação, para que o bloco possua apenas duas faces com marcadores para exibir informação, a alternativa selecionada possui uma altura menor que os lados, possuindo dois centímetros. O objeto também deve ter uma altura mínima para que as crianças, ao movê-lo, não ponham a mão sobre a face, ocluindo o marcador. Como a primeira solução possui a desvantagem de exigir uma visualização espacial e memória bem desenvolvida por parte dos pequenos, a segunda alternativa, mostrada na Figura 44, foi escolhida por conseguir corresponder melhor às necessidades do projeto.



Figura 44: modelo 3D da solução selecionada para o ARBlocks.

Em relação ao material, o escolhido foi a espuma vinílica acetinada, também conhecida como EVA. Dentre os seus principais pontos positivos estão o baixo custo, a facilidade para moldar os blocos na forma desejada e o fato dele não apresentar risco para as crianças por ser macio.

### 4.3. DESENVOLVIMENTO DO ARBLOCKS

Com as principais questões do *design* já definidas, as decisões técnicas de computação começaram a ser tomadas. Primeiramente em relação à sua arquitetura, a forma como desenvolvedores criariam novas funcionalidades à medida que os professores as identificassem e, principalmente, o modo como os usuários utilizariam o ARBlocks. Em seguida, foi realizada uma pesquisa e desenvolvimento de forma a tornar possível este produto.

#### 4.3.1. ARQUITETURA DO SISTEMA

De modo a melhor definir como a arquitetura do ARBlocks seria estabelecida, primeiramente foi pensado na forma como os usuários finais, professores e alunos, utilizariam o sistema. Deste modo a arquitetura se adequaria às necessidades destes.

A partir de entrevistas com professores [97] foi observado que o uso da aplicação precisa ser o mais simples possível, dado que eles, em geral, não possuem um bom conhecimento de informática. Deste modo, seria interessante que as interações deles com o ARBlocks fossem realizadas utilizando os próprios blocos o máximo possível, diminuindo a dependência do uso tradicional do computador, visto que muitos educadores possuem um bloqueio em relação a este equipamento devido a insegurança para manipulá-lo [98], o que poderia causar rejeição ao ARBlocks.

Do ponto de vista da criança, todas as interações devem ser realizadas utilizando os blocos físicos, explorando assim todos os benefícios do uso dos manipulativos no seu desenvolvimento educacional.

Um dos grandes benefícios dos blocos dinâmicos é o fato de que várias atividades podem ser realizadas com o mesmo conjunto, permitindo ao professor ter a liberdade de escolher qual delas irá utilizar num determinado momento e também de propor novos exercícios à medida que identifica novas necessidades. Assim, o ARBlocks foi pensado como uma plataforma de blocos dinâmicos onde os educadores podem escolher a atividade que pretendem usar num determinado momento e propor novas. Deste modo, seria interessante que a elaboração de novas atividades pudesse ser realizada de maneira rápida e fácil por eles. Para isso, o ideal seria a utilização de um editor gráfico capaz de criar novas atividades a serem realizadas no ARBlocks, onde informações a serem exibidas sobre os blocos e eventos e interações entre eles seriam criadas com poucos cliques do mouse. Entretanto, devido

ao tempo necessário para a criação de um editor com estas características, ele não pode ser desenvolvido no escopo desta dissertação.

Porém, como forma de facilitar que o programador desenvolva novas atividades para esta plataforma, o ARBlocks foi pensado como um *framework*, onde o desenvolvedor tem a seu dispor as funcionalidades básicas já prontas, como o rastreamento dos marcadores ou o alinhamento do sistema câmera-projetor, e ele só precisa desenvolver um aplicativo que invoca estas funções e se incorpora ao ARBlocks como um *plugin*.

Todas essas decisões embasaram as definições e relações entre módulos propostos para a arquitetura do ARBlocks, que está ilustrada na Figura 45. Nela pode ser vista a existência de seis módulos. O primeiro deles é o *Calibration* (Calibração), que também é o primeiro a ser executado. Ele é o responsável por fazer o alinhamento do sistema câmera-projetor e passa essas informações em forma de matrizes de transformação para o *Projection* (Projeção), que é o último módulo a ser executado.

Em um ciclo, a câmera captura uma imagem da cena que será enviada ao *Tracker* (Rastreador), que a analisa e identifica todos os marcadores presentes na cena, juntamente com as suas respectivas posições e orientações. Esta informação é passada para o *Manager* (Gerenciador) que identifica quais marcadores pertencem à atividade e quais estão ali sem utilidade (marcadores válidos e inválidos). Aqueles que fazem parte se tornam *Blocks* (Blocos) e passam a ter um conteúdo, que será exibida sobre eles, uma relação de interação com outros *Blocks* e com a área de projeção.

A junção dos cinco módulos mencionados forma a estrutura central do ARBlocks. O último é o *Application* (Aplicação), que funciona como um banco de consulta para outros módulos, pois é ele quem diz ao *Manager* quais *Blocks* a atividade possui e como estes se relacionam. O

*Application* pega o resultado do processamento das informações e o envia para o *Projection*, que utiliza os dados do alinhamento para projetar as informações corretamente nos blocos. Após isso uma nova imagem da cena é capturada e o ciclo é reiniciado.

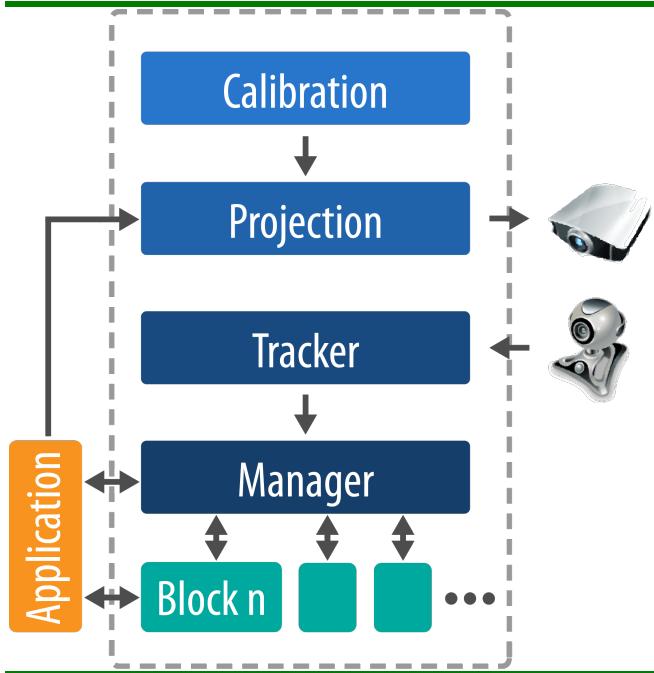


Figura 45: fluxo de execução do ARBlocks.

#### 4.3.2. IMPLEMENTAÇÃO

Dos módulos propostos, o primeiro a ser desenvolvido foi o *Tracker*, responsável pela detecção dos marcadores. Para o caso do ARBlocks, este assunto requereu uma atenção maior, pois se trata de uma interface tangível utilizando realidade aumentada projetiva onde o rastreamento, a exibição da informação e o dispositivo de entrada envolve o mesmo objeto, o bloco.

Como os blocos serão a superfície de projeção, estes não podem ser texturizados para não prejudicar a qualidade da imagem projetada, devendo ser lisos e na cor branca para que o mínimo de distorção possível ocorra na exibição das cores. Entretanto, não é possível rastrear uma superfície com essas características. Se todos os blocos são uniformemente brancos, não há como distinguir um do outro utilizando um rastreador por visão.

Para resolver este entrave, a primeira solução pensada foi a de adicionar uma borda colorida

nos blocos. Porém, esta resolução possui algumas limitações, sendo a principal delas em relação ao número máximo de marcadores que poderiam ser rastreados simultaneamente, que seria de apenas quinze. Isto se deve ao fato de que a informação de cores é muito sensível à iluminação ambiente. Deste modo, para que se tenha uma margem de segurança confiável é necessária uma paleta com cores mais distantesumas das outras, como a Color Graphics Adapter [99], que possui apenas dezesseis, na qual a cor branca precisaria ser descartada, já que é a mesma do bloco.

A solução final adotada foi a utilização de um marcador de borda, com o qual é possível ter todos os benefícios de um marcador comum e ainda conseguir que uma grande região do bloco não possua nenhuma informação, ficando totalmente desobstruída para receber o conteúdo da projeção. Durante a pesquisa não foi encontrada nenhuma biblioteca gratuita para computadores pessoais que dê suporte a este tipo de marcador. Por isso, foi criado tanto um marcador específico para esta plataforma, como um rastreador capaz de suprir as necessidades do projeto.

O marcador, mostrado na Figura 46, possui uma borda fina e contínua que o delimita. Interno a ela está o código, uma sequência de 10 quadrados, ou *bits*, em cada lado. O código é o mesmo para ambas as bordas, de modo que a redundância dê mais robustez à identificação. O que muda são apenas o primeiro e último *bits*, que servem para indicar a sua orientação. Entre os quadrados das extremidades estão os oito que formarão o código propriamente dito. Este número permite a confecção de até 256 marcadores diferentes, que é uma quantidade suficiente para a maioria das aplicações.

O rastreamento para o marcador elaborado possui duas etapas. Na primeira delas é feito um processamento na imagem de modo a detectar todos os quadriláteros que possam ser um marcador. Esta etapa consiste em converter a imagem para tons de cinza, segmentá-la, aplicar

o detector de borda de Canny [100] para determinar todas as arestas e selecionar os contornos fechados que possuem quatro vértices e uma área entre dois limiares, calculados para conter entre esses valores o tamanho mais provável de um marcador.

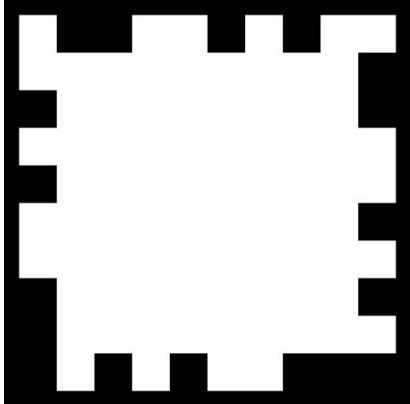


Figura 46: marcador concebido para o ARBlocks.

Em seguida, os quadriláteros encontrados passam por um processo para identificar o seu código, caso haja, que consiste na leitura dos oito *bits* presentes nos seus vértices. Neste processo é lido o identificador de pelo menos dois lados do quadrilátero e um código é considerado válido se todos eles forem iguais. Durante esta etapa também é obtida a orientação do marcador a partir dos *bits* mais externos. Como forma de otimização, os quadriláteros encontrados na etapa de processamento da imagem são, antes de terem seus códigos lidos, comparados com todos os marcadores que estavam presentes no quadro anterior. Caso a posição de algum deles seja igual ou bem próxima a algum dos marcadores já identificados, este quadrilátero é considerado um marcador e tem o seu código e orientação herdado do *frame* anterior que possui posição semelhante. Isto ocorre porque num intervalo entre um quadro e outro do vídeo, que representa no mínimo 1/30 de segundo, o bloco dificilmente se move o suficiente para ter a sua posição drasticamente alterada.

Ao final do processo, o *Tracker*, que recebe como entrada uma imagem que é processada como ilustrado na Figura 47, retorna um conjunto de marcadores devidamente

identificados, cada um com a sua respectiva posição e orientação.

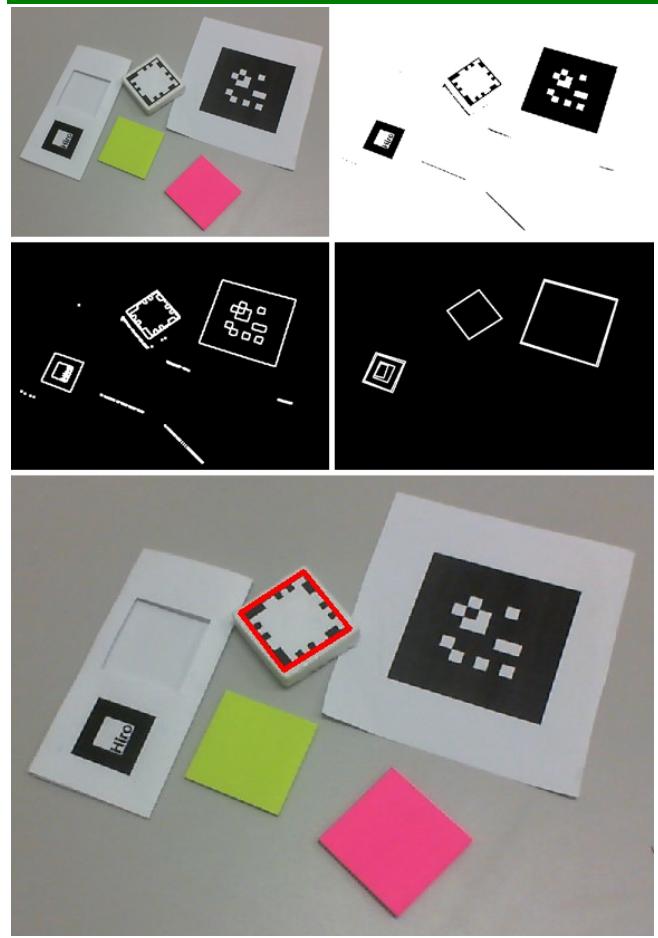


Figura 47: no topo à esquerda é vista a imagem original, capturada pela câmera; ao seu lado é mostrado o resultado da segmentação; na linha central é mostrada uma imagem com todas as linhas, extraídas com o Canny, e outra contendo apenas os potenciais marcadores; ao final, apenas o padrão proposto permanece.

O *Calibration*, módulo responsável por fazer o alinhamento automático do sistema câmera-projetor, foi o próximo a ser desenvolvido. Para isso foi escolhida uma técnica de luzes estruturadas com a diferença de que, pelo fato do ARBlocks rodar sobre uma mesa planar onde as crianças podem movimentar os blocos, ao invés de utilizar a deformação da luz em objetos, foram usados os pontos das extremidades da projeção.

Uma vez que a câmera e o projetor não vão se mover durante a utilização do ARBlocks, a calibração precisa ser executada apenas uma vez. Deste modo, logo que a plataforma é iniciada, dois padrões de luz são exibidos pelo projetor. A câmera, que precisa enxergar toda a área de projeção, captura cada uma das

imagens projetadas e as quatro extremidades desta região são identificadas. Com esses pontos é possível calcular uma homografia que distorce a imagem projetada de modo que ela preencha toda a área de captura da câmera.

Para encontrar a homografia foi utilizado o algoritmo de transformação linear direta, ou DLT, que utiliza um conjunto de quatro pontos correspondentes [101]. No caso da calibração, são os das extremidades da área de projeção e os dos cantos da região de captura da câmera. Assim, eles formam a seguinte relação:

$$x'_i = H \cdot x_i, \quad (1)$$

onde  $x'_i$  representa os pontos homogêneos das extremidades da câmera e  $x_i$  o seu ponto correspondente nos cantos da área de projeção. Assim, se a  $j$ -ésima linha da matriz  $H$  for denominada de  $h^{jT}$ , podemos dizer que

$$H \cdot x_i = \begin{pmatrix} h^{1T} \cdot x_i \\ h^{2T} \cdot x_i \\ h^{3T} \cdot x_i \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Já a Equação 1 pode ser expressa na forma de produto vetorial como

$$x'_i \times Hx_i = 0. \quad (3)$$

Então, escrevendo  $x'_i$  em função de sua coordenada, temos

$$(x'_i, y'_i, w'_i)^T \times Hx_i = \begin{pmatrix} y'h^{3T}x_i - w'h^{2T}x_i \\ w'h^{1T}x_i - x'h^{3T}x_i \\ x'h^{2T}x_i - y'h^{1T}x_i \end{pmatrix} \quad (4)$$

Como

$$h^{jT} \cdot x_i = x_i^T \cdot h^j, \quad (5)$$

então

$$\begin{bmatrix} 0^T & -w'_i x_i^T & y'_i x_i^T \\ w'_i x_i^T & 0^T & -x'_i x_i^T \\ -y'_i x_i^T & x'_i x_i^T & 0^T \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h^1 \\ h^2 \\ h^3 \end{pmatrix} = 0. \quad (6)$$

Esta equação possui a forma  $A_i h = 0$ , onde  $A_i$  é uma matriz  $3 \times 9$  e  $h$  é um vetor de dimensão 9 formado pelos elementos da homografia  $H$ .

Para calcular a homografia desejada, é obtida a decomposição em valores singulares [102] de  $A_i$ . Assim, com

$$A = UDV^T \quad (7)$$

e a diagonal  $D$  possuindo valores positivos em ordem decrescente, temos que  $h$  é igual à última coluna de  $V$ .

Como essa matriz é inversível, a homografia que leva os pontos da imagem para a área de projeção é

$$x_i = H^{-1} \cdot x'_i. \quad (8)$$

Quando o processo de alinhamento é terminado, o *Calibration* encontra, utilizando as luzes estruturadas vistas na Figura 48, as matrizes que transformam os pontos no plano de imagem em coordenadas no espaço de projeção, e vice-versa.

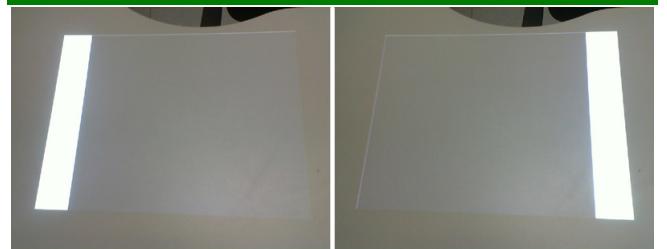


Figura 48: luzes estruturadas emitidas em sequência para que o alinhamento seja realizado.

Outro módulo implementado foi o *Projection*, responsável por exibir as informações nos blocos corretamente. Para isso, ele executa uma série de transformações na imagem a ser projetada de forma que ela esteja alinhada com os objetos físicos.

Primeiro, é aplicada a homografia encontrada na calibração aos vértices dos marcadores, previamente identificados pelo *Tracker*, de modo a levá-los do sistema de coordenadas de projetor para o de câmera. Em seguida, as imagens a serem exibidas sobre os blocos são transformadas para preencher suas respectivas áreas vazias utilizando o mesmo algoritmo DLT visto anteriormente.

O *Blocks* foi implementado como uma classe básica do sistema, possuindo como atributo a imagem que irá aparecer sobre ele e suas coordenadas. O *Manager*, para simplificar o desenvolvimento dado à premência de tempo, foi incorporado ao *Application*. Deste modo, este módulo possui não só um mapa com as informações dos blocos e suas relações, mas

também é responsável por gerenciar as atividades. Entretanto, esta alteração não modificou a forma como se desenvolvem novas atividades para a plataforma.

#### 4.4. ESTUDO DE CASO

Para verificar a adequação do protótipo da plataforma de blocos dinâmicos, se fez necessário que no escopo deste trabalho fosse desenvolvida uma atividade a ser executada utilizando o ARBlocks com o objetivo de validar o seu conceito. Assim, por essas atividades serem ferramentas utilizadas pelos educadores como um instrumento para engajar crianças, melhorando assim o seu aprendizado, é vital que todo o processo de concepção desses exercícios executados sobre os blocos seja acompanhado de perto por professores. Com isto, estes podem transmitir parte de suas experiências em sala de aula para tornar a atividade realmente útil para as suas necessidades.

Devido às características supracitadas, dentre várias técnicas de *design* para conceber a atividade mencionada, foi escolhida a de design centrado no usuário [103] por ela conseguir trazer os professores para dentro do processo de geração de alternativas, sendo eles induzidos a fornecer ideias que foram agregadas às atividades.

Para esta técnica, o ponto de partida foi a definição de um objetivo claro para a atividade, pois é a identificação de um problema a ser resolvido que vai guiar a pesquisa e o desenvolvimento. Deste modo, foi escolhido que o objetivo deste estudo de caso seria o de conceber uma atividade que, utilizando os blocos dinâmicos, auxilie na alfabetização infantil.

Este objetivo deixa claro que a atividade deve auxiliar o professor, contribuindo para o processo de aprendizagem do aluno o mais naturalmente possível, sem retirar o foco dos alunos do objetivo principal que é aprender de

forma lúdica. Para que esta meta seja alcançada, é importante compreender o ambiente de sala de aula, que no contexto da aplicação significa compreender algumas questões específicas. Dentre elas estão entender como ocorre a alfabetização de crianças atualmente, como esta pode se tornar mais atrativa para alunos e professores se interfaces tangíveis forem utilizadas e o que as já existentes podem prover em relação à interação e ao ensino para os pequenos.

As respostas destas questões vieram através de uma pesquisa dividida em duas fases, onde a primeira foi uma análise de semelhantes, que diferentemente daquela realizada sobre o ABlocks, visou encontrar os competidores apenas das atividades de alfabetização; já na segunda etapa foi compreendido o contexto da sala de aula com o objetivo de entender o funcionamento, dinâmica, regras, rotina e dificuldades deste ambiente [97].

Da primeira etapa se concluiu através de pesquisas bibliográficas que os livros didáticos tentam incorporar elementos gráficos atrativos como meio de engajar as crianças. Além disto, existem vários recursos utilizando interfaces tangíveis e atividades com blocos para auxiliar a alfabetização infantil, porém são raros os manipulativos digitais para este fim.

A compreensão do contexto foi realizada por meio de observação e uma entrevista semi-estruturada com os professores [97]. Delas foi constatada que na alfabetização tradicional não é comum usar manipulativos, porém os recursos multimídia são amplamente utilizados, em parte como forma de chamar a atenção das crianças. Também foi possível observar a forma como os professores ministram suas atividades e avaliam seus alunos, algo de fundamental importância na elaboração da dinâmica de uma atividade educacional.

Os materiais e resultados obtidos na etapa de pesquisa foram analisados e uma atividade educacional que visava atacar alguns problemas

encontrados foi concebida. Para comprovar a sua eficácia foram concebidas duas sessões de prototipação de baixa fidelidade, a primeira em papel e a segunda em isopor, conforme visto na Figura 49, com os educadores consultados na etapa anterior. A partir das observações e sugestões deles a aplicação foi refinada de modo que ela pudesse melhor atender às necessidades do ambiente de sala de aula [97].

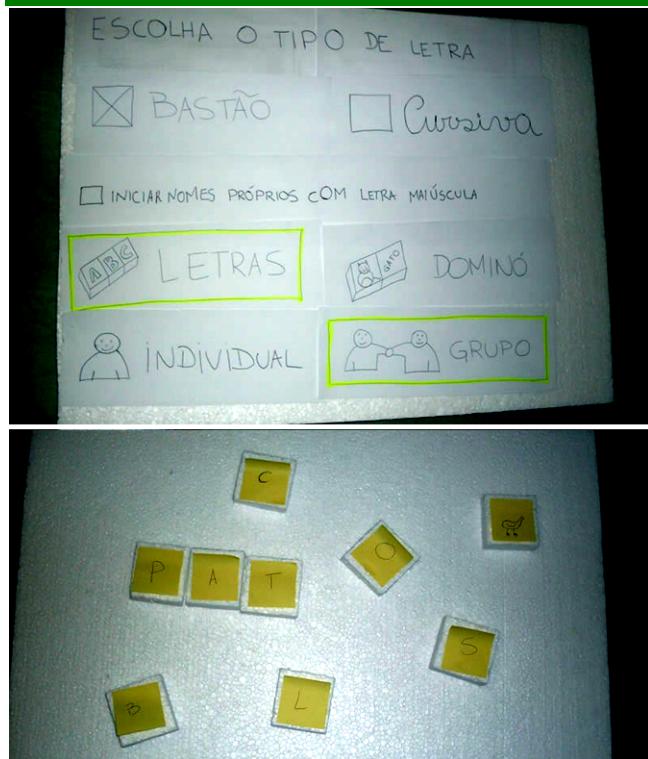


Figura 49: protótipo em isopor, onde no topo aparece o menu principal e abaixo um exemplo da atividade de formação de palavras.

A atividade proposta tem como objetivo auxiliar a formação e identificação de palavras. Ao iniciar o exercício, o professor deve escolher qual habilidade ele deseja trabalhar. Para o caso da formação, os alunos devem juntar na ordem os blocos contendo as letras que formam a palavra da imagem mostrada na área de projeção. Já na identificação das palavras a criança deve unir as palavras com as suas respectivas ilustrações, como se fosse um dominó. Ao acertar, em ambos os exercícios, a criança recebe estímulos visuais e sonoros. Nas duas atividades o educador também tem a oportunidade de selecionar entre as letras cursivas e bastão, já que dependendo da idade

dos alunos, eles dominam um dos tipos de fonte ou estão na fase de transição entre as mesmas.

Outra característica das atividades é que elas podem ser executadas no modo individual ou coletivo, com até quatro crianças compartilhando o sistema. Para este último, os professores sugeriram que a atividade estimulasse a colaboração e não a competição, assim a atividade é considerada finalizada quando todos conseguem completar suas respectivas tarefas e a aplicação deve garantir que as peças venham sorteadas de tal forma que os pequenos sempre precisam de uma que está com algum colega, instigando assim a cooperação entre eles.

A Figura 50 mostra o conceito da aplicação proposta.



Figura 50: modelo tridimensional simulando a atividade proposta: no topo o exercício de associação de palavras e embaixo o de formação.

## 4.5. RESULTADOS

O ARBlocks foi avaliado sobre duas óticas distintas. A primeira foi computacional, onde fatores como o tempo de execução, robustez e precisão foram analisados, tanto para o rastreador, como para as projeções e para a ferramenta como um todo. Já a segunda foi

educacional, onde o seu potencial impacto em sala de aula foi levado em consideração.

#### 4.5.1. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

As etapas descritas na subseção de pesquisa e desenvolvimento foram implementadas de acordo com as descrições encontradas nela. Deste modo, foi desenvolvido um rastreador para o marcador de borda proposto, um sistema de calibração automática para um sistema câmera-projetor qualquer e um código para projetar as informações na área interna do marcador. Além disso, uma versão simplificada do aplicativo definido no estudo de caso foi criado para ser executado pela plataforma.

Todos os módulos foram desenvolvidos na linguagem C++ e utilizando como ferramenta de desenvolvimento o Visual Studio 2010 da Microsoft. Para auxiliar no desenvolvimento dos mesmos, foram utilizadas as estruturas de imagem, ponto, vetor, reta e outros da biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision*) [104] na versão 2.3.1, assim como algumas funções simples como a conversão de imagem colorida para tons de cinza. A biblioteca VXL (*Vision-something-Libraries*) [105] também foi utilizada em algumas operações numéricas com matrizes.

A implementação e execução foi realizada em um computador Intel Core i3 com 2.8 GHz e 4GB RAM rodando o Windows 7. A câmera utilizada foi a LifeCam Cinema da Microsoft e o projetor foi o Epson X10, ambos com uma resolução de 800 x 600 pixels.

Nos testes realizados no laboratório, o *Tracker* apresentou bons resultados. Por não ter à disposição uma biblioteca que suporte marcador de borda, a implementação desenvolvida foi comparada com o ARToolKit por ser a biblioteca de realidade aumentada mais utilizada. Para isso, foram utilizados os exemplos distribuídos junto com a própria biblioteca.

Em relação à velocidade, o rastreamento de marcador de borda foi capaz de identificar um

único marcador presente na imagem em 9,791 milissegundos na média. A comparação com o ARToolKit mostrou valores semelhantes, pois este teve um marcador rastreado em 10,6827 milissegundos, 9,107% mais lento do que o *Tracker* do ARBlocks. Além disso, o rastreador proposto obteve vantagem no que tange a escalabilidade, pois foi capaz de detectar 98 marcadores simultaneamente em 10,613 milissegundos em média. Já o ARToolKit, como mencionado no capítulo anterior, enfrenta problemas quando há mais de 20 padrões ao mesmo tempo.

Outra característica importante a ser analisada em um rastreador é o percentual de falsos positivos, quando o *tracker* identifica que algo diferente de um marcador é um padrão válido, e a taxa de falsos negativos, quando um marcador está presente na cena e não é encontrado.

Em relação aos falsos negativos, o ARToolKit obteve melhores resultados. Com apenas um marcador em cena, a biblioteca não conseguiu encontrá-lo em 1,382% dos frames, enquanto o ARBlocks falhou em 2,053% dos quadros. Esta diferença se deve ao fato da borda do marcador proposto ser muito fina, para que se ganhe em área livre, especialmente quando comparada com a do ARToolKit. Esse fato deixa o processo mais sensível a falhas, pois muitas vezes o rastreador não é capaz de identificar que há um quadrado na cena. Este problema pode ser resolvido utilizando uma técnica de detecção parcial de marcadores [30]. Por outro lado, o ARBlocks encontrou muito pouco problema com os falsos positivos. O *tracker* proposto obteve uma taxa de 0,042% enquanto o ARToolKit identificou objetos aleatórios como marcadores em 0,792% dos quadros.

Um outro módulo crucial para o correto funcionamento do ARBlocks é o *Calibration*. Esta etapa é fundamental que ocorra automaticamente, deste modo o educador ao utilizar a plataforma em sala de aula não precisa se preocupar com nenhum dos desafios do set-

*up* de um sistema câmera-projetor. Em todas as situações testadas no laboratório, o sistema obteve êxito ao calcular os parâmetros de alinhamento sem a necessidade de nenhuma interferência durante o processo. O único requisito é que a câmera consiga capturar toda a área de projeção, que foi atendido nos testes.

Apesar da etapa de calibração ser *offline*, realizada antes da execução do sistema e sem a necessidade de ocorrer em tempo real, o tempo foi levado em conta. Assim, os testes mostraram que o tempo médio para a execução do alinhamento foi de 4,701 segundos, o que é um valor bem abaixo comparado com a situação onde o usuário precisasse ajustar esses parâmetros manualmente.

Para avaliar a precisão da transformação encontrada na calibração, ela foi aplicada aos pontos de uma imagem com as mesmas dimensões da imagem capturada pela câmera e posicionada na origem do sistema de coordenadas dela. O resultado obtido desta operação deve ser a figura distorcida de tal maneira que ela preencha a área de projeção capturada pela câmera. Esta operação é o equivalente a pegar os pontos que estão no espaço de câmera, levá-los para o de projeção e em seguida os projetar no plano da câmera. Como os dois dispositivos possuem a mesma resolução, a imagem transformada e projetada ocupará a mesma área de projeção.

Como forma de avaliar os outros módulos, o ARBlocks foi analisado como um todo, com todas as partes integradas. Para isso, foi necessário preparar uma configuração onde o projetor pudesse exibir as informações numa mesa. Como não foi possível utilizar um suporte de teto preso à parede, como ilustrado na Figura 38, que é a solução mais estável para o sistema, foi montado um *set-up* provisório a partir de canos de PVC, sigla em inglês para policloreto de vinila, como visto na Figura 51. Assim, após a etapa de calibração *offline* já mencionada, foram feitos testes de velocidade e observações em relação à precisão da projeção na fase *online* da

ferramenta, executada num ciclo para cada quadro, como já explicado anteriormente nesta seção.

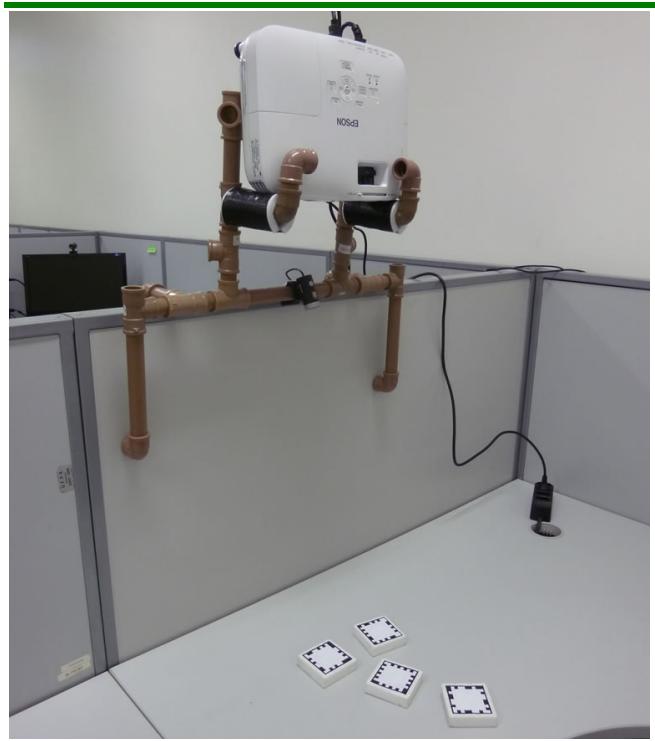


Figura 51: configuração provisória, feita com canos de PVC. Nela o projetor consegue iluminar uma boa área da mesa, assim como a câmera, posicionada abaixo dele, é capaz de capturar toda a área de projeção.

Como um dos requisitos básicos para aplicações de realidade aumentada é que elas devem ser executadas em tempo real para que a interação não fique prejudicada, o tempo de execução é um parâmetro fundamental para ser analisado. O fato de criar uma ferramenta voltada para crianças torna este fator ainda mais crucial, já que elas não têm a paciência tão desenvolvida quanto a de um adulto. Nesse quesito o ARBlocks obteve bons resultados. Em uma aplicação que utiliza apenas um marcador, todo o processo, que consiste em identificar o padrão, calcular informações pertinentes, como a rotação dele em relação à mesa, aplicar as transformações necessárias nas imagens para que elas sejam impressas no centro do marcador e projetar esses dados sobre o bloco, foi executado em 16,616 milissegundos, o que dá uma taxa de 60,1849 quadros por segundo, quase três vezes mais rápida do que o limite mínimo para aplicações em tempo real.

Em uma atividade que utilizou múltiplos marcadores o tempo de execução pouco variou, mesmo com o incremento na necessidade de processamento. Cabe ressaltar que, além de mais padrões para identificar e imagens para aplicar as transformações para que estas possam ser inseridas em seus respectivos marcadores, é preciso calcular a distância entre eles com o objetivo de fornecer um retorno automático para a criança quando ela executa uma atividade corretamente. Assim, o tempo médio de execução subiu menos do que 0,39 ms., ficando em 17 milissegundos. Deste modo, a taxa de quadros por segundo caiu para 58,8226, o que ainda a caracteriza, com folga, como uma aplicação de tempo real.

Em relação à precisão, o ARBlocks foi avaliado apenas de maneira visual. Deste modo, foi observado se a projeção ocorria apenas na área determinada e se as interações, como detectar a proximidade entre blocos ou a orientação do mesmo, aconteciam como o esperado. O resultado foi bastante satisfatório, como visto na Figura 52.

#### 4.5.2. RESULTADOS EDUCACIONAIS

Do ponto de vista educacional, foi realizada uma sessão de interação com oito professores de educação infantil, sendo cinco do ensino

particular e três do sistema público. O objetivo era obter informações sobre o potencial uso desta ferramenta em sala aula, além de ideias capazes de refinar a plataforma.

Esta avaliação consistiu em três etapas. Primeiro o ARBlocks foi explicado e mostrado para os educadores. Depois, eles tiveram a oportunidade de utilizar a ferramenta. Por fim, participaram de uma entrevista semiestruturada.

Na ótica dos professores entrevistados, o ARBlocks é uma ferramenta com um potencial muito grande e que pode ser muito útil em sala de aula. O fato de ser um instrumento concreto que os alunos podem manusear foi bastante comentado, pois para eles tudo aquilo que o aluno pode manusear é mais atraente, além de passar um significado maior para as crianças.

Os educadores também ressaltaram o seu potencial multidisciplinar e sua versatilidade, já que com um único sistema, é possível adaptar diversas situações presentes no ambiente escolar. O fato do professor poder utilizar a sua criatividade para direcionar a atividade de acordo com as suas necessidades é bem presente no ARBlocks. Segundo eles, esta característica não é encontrada na maioria dos softwares educacionais atuais, o que faz muita diferença.



Figura 52: a esquerda é possível ver um bloco contendo uma informação projetada dentro da área vazia. Já na foto da direita o sistema está dando um retorno positivo para o usuário por ele ter juntado corretamente dois blocos correspondentes.

Outro ponto positivamente comentado foi o do ARBlocks ser bastante interativo, por fornecer retorno para os pequenos estudantes quando eles executam a atividade corretamente e por eles conseguirem perceber uma mudança no conteúdo exibido pelo simples fato de manipular os blocos.

De acordo com eles, o fato de ser uma ferramenta tecnológica ajuda no despertar do interesse dos alunos, pois traz para dentro de sala recursos digitais que eles já estão acostumados a ver no seu dia a dia, além do fatos delas adorarem quando submetidas a experiências envolvendo tecnologia. Este tipo de novidade, assim como a possibilidade de inserir áudio e vídeo, chama bastante a atenção das crianças.

Alguns professores também comentaram que seria muito interessante se houvesse uma ferramenta gráfica onde eles pudessem criar facilmente as atividades para serem executadas sobre os blocos dinâmicos, mas que seria importante o suporte de algum profissional de informática para auxiliar no desenvolvimento destes exercícios, já que muitos professores têm receio de utilizar recursos tecnológicos e isto poderia inibi-los.

Foi observado, quando os educadores utilizaram o ARBlocks, que eles não necessitaram de nenhum treinamento para realizar as atividades, mostrando que a ferramenta cumpre o requisito de ser simples e intuitivo e este fato foi confirmado por eles nas entrevistas. Porém, nos questionários, alguns deles mencionaram que os alunos precisariam ser instruídos das regras do uso da plataforma, como a de não poder colocar a mão sobre o bloco para que a informação nele não desapareça, já que o marcador foi ocultado. O fator da oclusão, por sinal, foi comentado como um ponto negativo, ratificando a importância do desenvolvimento de uma técnica de rastreamento com o marcador parcialmente coberto.

Outro ponto observado por alguns educadores é que as atividades ocorrem sobre uma mesa, o que limita a quantidade de crianças que pode utilizar a ferramenta ao mesmo tempo. Segundo eles, em geral, quando este tipo de produto mais paupável e coletivo é utilizado, as atividades ocorrem no chão graças ao espaço mais amplo. Mas o fato do ARBlocks utilizar uma mesa tem o ponto positivo de poder controlar melhor os pequenos.

Uma dificuldade apontada pelos professores do ensino público foi o acesso a esta tecnologia. Segundo eles, muitas escolas públicas já possuem os equipamentos necessários, porém limitados ao laboratório de informática. Deste modo, os educadores comentaram que para utilizar o ARBlocks hoje seria necessário deslocar os alunos para o laboratório. Por outro lado, os professores do sistema particular não viram nenhuma dificuldade em utilizar o sistema na sala de aula, inclusive com mais de uma versão dele no mesmo momento.

Uma melhoria sugerida pelos educadores seria a dos blocos poderem exibir informações nas duas faces, o que daria ainda mais possibilidades de aplicações para os professores e trabalharia ainda melhor a noção espacial dos pequenos. Um exemplo proposto foi uma espécie de jogo da memória, onde de um lado os blocos exibiriam um símbolo genérico e, ao virar, apareceria uma imagem ou uma palavra. Caso a palavra e as figuras viradas fossem correspondentes, o aluno acertaria.

Assim, pela observação do uso da ferramenta e, principalmente, da entrevista, foi possível constatar que a ferramenta proposta foi muito bem aceita pelos professores que participaram dos testes. De acordo com eles, o ARBlocks possui um grande potencial para o uso educacional e todos afirmaram que usariam este produto em sala de aula.

# 5. CONCLUSÃO

Figura 53: ao unir ferramentas visuais e tecnológicas com o programa educacional do professor é possível ter crianças mais motivadas nas escolas.



A partir da pesquisa realizada neste trabalho de mestrado foi possível observar que a educação formal é inevitavelmente um reflexo da sociedade, fornecendo aos indivíduos os valores culturais e produtivos contemporâneos. Assim, a educação prepara o cidadão para uma sociedade dinâmica e essas mudanças transformam o ensino formal.

A utilização de recursos tecnológicos em sala de aula é um reflexo disto, pois vem exigindo ajustes na forma como os professores conduzem o processo de ensino. Isto se deve ao fato de que, por mais avançados e acessíveis que estes recursos estejam, eles só são realmente efetivos na construção do conhecimento caso os educadores consigam utilizá-los como uma ferramenta de suporte ao seu plano pedagógico.

Este trabalho também mostrou que a realidade aumentada é uma tecnologia com potencial para se tornar um importante instrumento pedagógico para os professores. Este fato foi observado na teoria, por meio de pesquisa bibliográfica, e na prática, com a

avaliação de uma aplicação desenvolvida no escopo desta pesquisa.

A aplicação proposta consiste em uma plataforma de blocos dinâmicos para atividades educacionais que utiliza realidade aumentada projetiva e interfaces tangíveis. O ARBlocks, como foi chamado, teve o seu conceito pensado para ser utilizado com crianças, assim a sua forma foi adequada a este público.

Os blocos dinâmicos do ARBlocks são rastreados a partir de um marcador de borda, também concebido neste trabalho. O rastreador desenvolvido juntamente com ele obteve bons resultados em termos de desempenho computacional e precisão da projeção. Também foi proposta uma solução rápida e eficaz para o alinhamento automático do sistema câmera-projetor. Outra técnica que precisou ser desenvolvida para esta aplicação é responsável por exibir as informações necessárias apenas na superfície dos blocos.

Além de obter bons resultados computacionais, o ARBlocks foi bem avaliado por educadores que tiveram a oportunidade de

testar a ferramenta desenvolvida. Os professores apontaram como pontos positivos o fato dela inserir o elemento tecnológico que as crianças gostam e estão acostumadas, a característica de ser uma ferramenta paupável e sua versatilidade, por ser uma ferramenta capaz de servir para o ensino de vários conteúdos, dependendo das necessidades do professor.

## 5.1. CONTRIBUIÇÕES

O autor acredita que este trabalho possui contribuições relevantes em subáreas da ciência da computação, especialmente na realidade aumentada projetiva. Durante esta pesquisa foi desenvolvido um rastreador de marcador de borda cuja forma de distribuição está sendo analisada.

Por ser uma área de estudo bem recente, ainda existem várias possibilidades de avanços para a realidade aumentada projetiva. Este trabalho deu a sua contribuição com o desenvolvimento de uma técnica de alinhamento de sistema câmera-projetor para superfícies planares totalmente automática.

As contribuições para a comunidade científica em forma de publicação vieram por meio de três cursos de curta duração [70] [106] [107], um artigo completo [108] e uma demonstração da pesquisa [109], ambos em conferências.

O autor acredita que este trabalho tem contribuições importantes para a sociedade, pois forneceu um melhor entendimento em relação ao uso de realidade aumentada como uma tecnologia promissora para o ensino. Desta compreensão foi proposta uma ferramenta para servir de apoio a atividades educacionais que foi bem avaliada por educadores. De acordo com um dos professores entrevistados, “o que puder ser feito pra unir o ensino de uma matéria, com o fato de ser visual, tecnológico e manuseável, vai deixar o aprendizado mais eficaz. E isso aqui faz isto”. Outro ponto é que o ARBlocks possui um custo baixo, dado que muitas escolas hoje já

possuem projetor e computador. O valor de uma folha de EVA é de aproximadamente US\$ 29,00 e nela é possível confeccionar cerca de 200 blocos. Estes, inclusive, podem ser feitos na própria escola com isopor, a depender da idade e do zelo das crianças, já que o material é mais frágil. Assim, é necessário apenas imprimir os marcadores e colá-los sobre os blocos cortados.

## 5.2. TRABALHOS FUTUROS

Como pontos permaneceram em aberto nesta pesquisa e precisam ser trabalhados, pode-se mencionar a necessidade da melhoria do rastreador para que este possa tratar a oclusão parcial causada pela facilidade de obstruir parte do marcador ao manipular o bloco. Outra melhoria no rastreamento se refere ao borramento causado na imagem capturada pela câmera quando o bloco é movido rapidamente. Estas duas melhorias já irão diminuir o número de falsos negativos, mencionados no capítulo 4.

Outra característica importante a ser adicionada ao ARBlocks é que a plataforma possa dar suporte a múltiplos projetores simultaneamente. Com a composição de vários desses equipamentos a área de projeção se amplia, permitindo que mais crianças utilizem a ferramenta ao mesmo tempo.

Também permanece como trabalho futuro o desenvolvimento de um editor gráfico de atividades educacionais, onde os professores podem criar facilmente exercícios para serem executados sobre o ARBlocks de acordo com as suas necessidades.

Em relação ao design do ARBlocks, é necessário encontrar uma solução mais elegante para o suporte do projetor e da câmera.

No que tange à parte educacional do trabalho, é necessário realizar testes com as crianças para medir o desempenho do ARBlocks em relação ao aprendizado e engajamento dos pequenos quando utilizam esta ferramenta.

# REFERÊNCIAS

---

- [1] Jean Piaget, *A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação*. Rio de Janeiro: LTC, 1971.
- [2] The New Media Consortium, "Horizon Report," The New Media Consortium, California, Technical Report 9780982829059, 2011.
- [3] Oliver Bimber and Ramesh Raskar, *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, 1st ed. Wellesley, Estados Unidos: A K Peters, 2004.
- [4] Carlos Rodrigues Brandão, *O que é educação*, 9th ed. São Paulo, Brasil: Brasiliense, 1981.
- [5] Cláudio Marques Martins Nogueira and Maria Alice Nogueira, "A sociologia da educação de Pierre Bourdieu: limites e contribuições," *Educação & Sociedade*, vol. 23, no. 78, pp. 15-35, Abril 2002.
- [6] Enrique Caturla Fita and Jesus Alonso Tapia, *A Motivação em Sala de Aula: o que é, como Se Faz*, 6th ed. Brasil: Loyola, 2004.
- [7] Paulo Nunes de Almeida, *Educação Lúdica: Técnicas e Jogos Pedagógicos*, 5th ed. São Paulo, Brasil: Loyola, 1994.
- [8] Celso Antunes, *Educação infantil: prioridade imprescindível*, 3rd ed. Petrópolis, Brasil: Vozes, 2004.
- [9] Nylse Helena Silva Cunha, *Brinquedoteca : Um Mergulho no Brincar*, 1st ed. São Paulo, Brasil: Aquariana, 2007.
- [10] Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii, "Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces," *IBM Systems Journal*, vol. 39, no. 3.4, pp. 915-931, 2001.
- [11] Taciana Pontual Falcão and Alex Sandro Gomes, "Design de interfaces tangíveis educacionais: uma metodologia baseada em contexto," in *IHC '06 Proceedings of VII Brazilian symposium on Human factors in computing*, Natal, 2006, pp. 13-16.
- [12] Diana Africano et al., "Designing tangible interfaces for children's collaboration," in *Conference on Human Factors in Computer Systems*, Viena, 2004, pp. 853-868.
- [13] Froebel USA. Froebel Gifts Gabe Eunmul Spielgabe Friedrich Frobel Kindergarten. [Online]. <http://www.froebelgifts.com/index.htm>
- [14] Oren Zuckerman, Saeed Arida, and Mitchel Resnick, "Extending Tangible Interfaces for Education: Digital Montessori-Inspired Manipulatives," in *Proceedings of the conference on Human factors in computing systems*, 2005, pp. 859-868.
- [15] José Wilson da Costa and Maria Auxiliadora Monteiro Oliveira, *Novas Linguagens e Novas Tecnologias: Educação e Sociabilidade*, 1st ed. Petrópolis, Brasil: Vozes, 2004.
- [16] Anete Ferreira dos Santos, "O Papel do Educador Diante das Novas Tecnologias," in *I Seminário de Pesquisadores da Rede Municipal de Recife*, Recife, 2007, p. 209.
- [17] Secretaria de Educação Esporte e Lazer do Recife, "Educadores em Rede: articulando a diversidade e construindo singularidades," Prefeitura do Recife, Recife, 2008.
- [18] GOOD.is. GOOD.is | Technology Enhances Learning (Raw Image). [Online]. <http://awesone.good.is/transparency/web/1009/technology-learning/flat.html>
- [19] Michael Mayrath, Priya Nihalani, and Scott Perkins, "Digital Texts and the Future of Education:

Why Books?," *EDUCAUSE Quarterly*, vol. 34, no. 1, Março 2011.

- [20] Cibele Maria Albuquerque Castro, "Computador na Escola: um Instrumento de Apoio no Processo de Ensino e Aprendizagem," in *1 Seminário de Pesquisadores da Rede Municipal de Recife*, Recife, 2007, pp. 206-207.
- [21] Schools.com. Digital learning: Digital devices to replace textbooks. [Online]. <http://www.schools.com/visuals/digital-learning-final-chapter-for-textbooks.html>
- [22] Education Database Online. How the Internet is Revolutionizing Education. [Online]. <http://www.onlineeducation.net/internet-revolutionizing-education>
- [23] OnlineEducation.net. Can Tech Save Education? [Online]. <http://www.onlineeducation.net/can-tech-save-education>
- [24] Course Hero. Is Social Media about to Explode in Education? | Course Hero. [Online]. <http://www.coursehero.com/blog/2011/04/07/is-social-media-about-to-explode-in-education/>
- [25] Education Database Online. Is Social Media Ruining Students? [Online]. <http://www.onlineeducation.net/social-media-and-students>
- [26] Robert Azuma, "A Survey of Augmented Reality," in *Teleoperators and Virtual Environments*, 1997, pp. 355-385.
- [27] Feng Zhou, Henry Been-Lirn Duh, and Mark Billinghurst, "Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR," in *7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Cambridge, 2008, pp. 193-202.
- [28] Rafael Roberto, "Retificação Cilíndrica: Uma Forma Eficiente Para a Retificação de um Par de Imagens ,," Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Monografia de Graduação 2009.
- [29] Didier Stricker and Thomas Kettenbach, "Real-time and markerless vision-based tracking for outdoor augmented reality applications," in *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality*, New York, 2001, pp. 189-190.
- [30] Daniel Wagner, Tobias Langlotz, and Dieter Schmalstieg, "Robust and unobtrusive marker tracking on mobile phones," in *7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Cambridge, 2008, pp. 121-124.
- [31] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst, "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System," in *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality*, São Francisco, 1999, pp. 85-94.
- [32] Mark Fiala, "ARTag, a fiducial marker system using digital techniques," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, 2005, pp. 590-596.
- [33] International Organization for Standardization. ISO/IEC 16022:2006 - Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- Data Matrix bar code symbology specification. [Online]. [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=44230](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44230)
- [34] Borko Furht, *Handbook of Augmented Reality*, 1st ed. Nova Iorque, Estados Unidos: Springer, 2011.
- [35] Hiroki Nishino, "A split-marker tracking method based on topological region adjacency & geometrical information for interactivecard games," in *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Yokohama, 2009, pp. 16-19.
- [36] Daniel Wagner and Dieter Schmalstieg, "Making Augmented Reality Practical on Mobile Phones, Part 1," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 29, no. 3, pp. 12-15, Maio 2009.
- [37] Hideaki Uchiyama and Hideo Saito, "Random dot markers," in *2011 IEEE Virtual Reality*

Conference, Singapura, 2011, pp. 35-38.

- [38] Wagner Daniel and Schmalstieg Dieter, "ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices," in *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop*, St. Lambrecht, 2007.
- [39] Severino Paulo Gomes Neto et al., "Experiences on the Implementation of a 3D Reconstruction Pipeline," *International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry*, vol. II, no. 1, pp. 7-15, 2008.
- [40] Andrew Comport, Eric Marchand, Muriel Pressigout, and François Chaumette, "Real-time markerless tracking for augmented reality: the virtual visual servoing framework," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 12, no. 4, pp. 615-628, Junho 2006.
- [41] Luca Vacchetti, Vincent Lepetit, and Pascal Fua, "Stable real-time 3D tracking using online and offline information," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 10, pp. 1385-1391, Outubro 2004.
- [42] Iryna Gordon and David Lowe, "Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features," in *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2004, 2004, pp. 110-119.
- [43] Michihiro Uenohara and Takeo Kanade, "Vision-Based Object Registration for Real-Time Image Overlay," *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, 2006.
- [44] Vincent Lepetit and Pascal Fua, "Monocular Model-Based 3D Tracking of Rigid Objects: A Survey," , 2005, pp. 1-89.
- [45] Harald Wuest, Florent Vial, and Didier Stricker, "Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality," in *IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Viena, 2005, pp. 62-69.
- [46] Christian Wiedemann, Markus Ulrich, and Carsten Steger, "Recognition and Tracking of 3D Objects," in *Proceedings of the 30th DAGM symposium on Pattern Recognition*, Munique, 2008.
- [47] Frédéric Jurie and Michel Dhome, "A Simple and Efficient Template Matching Algorithm," in *Proceedings on IEEE International Conference on Computer Vision*, Vancouver, 2001, pp. 544-549.
- [48] Iryna Gordon and David Lowe, "Scene Modelling, Recognition and Tracking with Invariant Image Features," in *IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Arlington, 2004, pp. 110-119.
- [49] Marc Pollefeys, "Self-Calibration and Metric 3D Reconstruction from Uncalibrated Image Sequences," Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, Tese de PhD 1999.
- [50] John Leonard and Hugh Durrant-Whyte, "Mobile robot localization by tracking geometric beacons," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 7, no. 3, pp. 376-382, Junho 1991.
- [51] Joel Kollin, "A Retinal Display for Virtual-Environment Applications," in *In Proceedings of International Symposium on Society for Information Display*, Playa Del Rey, 1993, p. 827.
- [52] Babak Parviz, "Augmented Reality in a Contact Lens," *IEEE Spectrum*, Setembro 2009.
- [53] Hong Hua, Chunyu Gao, Leonard Brown, Narendra Ahuja, and Jannick Rolland, "Using a head-mounted projective display in interactive augmented environments," in *IEEE and ACM International Symposium in Augmented Reality*, Nova Iorque, 2001, pp. 217-223.
- [54] George Stetten, Vikram Chib, Daniel Hildebrand, and Jeannette Bursee, "Real Time Tomographic Reflection: Phantoms for Calibration and Biopsy," in *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality*, Nova Iorque, 2001, pp. 11-19.
- [55] Steven Feiner, Blair Macintyre, Marcus Haupt, and Eliot Solomon, "Windows on the World: 2D

Windows for 3D Augmented Reality," in *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Nova Iorque, 1993, pp. 145-155.

- [56] Ramesh Raskar, Greg Welch, and Henry Fuchs, "Spatially Augmented Reality," in *First International Workshop on Augmented Reality*, San Francisco, 1998, pp. 1-7.
- [57] Oliver Bimber, Bernd Fröhlich, Dieter Schmalstieg, and Miguel Encarnaçao, "The Virtual Showcase," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21, no. 6, pp. 48-55, Novembro 2001.
- [58] Oliver Bimber et al., "Superimposing pictorial artwork with projected imagery," *IEEE Multimedia* , vol. 12, no. 1, pp. 16-26, Janeiro 2005.
- [59] TouchPro. Foil Touch | TouchPro - interactive digital signage system. [Online]. [http://touchpro.hk/?page\\_id=587](http://touchpro.hk/?page_id=587)
- [60] Christie Medical Innovations. VeinViewer | Christie Medical Innovations. [Online]. <http://www.christiedigital.com/en-us/medical/products/Pages/default.aspx>
- [61] Luminvision Ltd. (2012, Janeiro) Luminvision Ltd - Interactive Floor Projection. [Online]. <http://www.luminvision.co.uk/>
- [62] Dan Saffer, *Designing gestural interfaces*, 1st ed. Sebastopol, Estados Unidos: O'Reilly Media, 2008.
- [63] Garth Shoemaker, Anthony Tang, and Kellogg Booth, "Shadow reaching: a new perspective on interaction for large displays," in *Proceedings of the 20th ACM symposium on user interface software and technology*, Newport, 2007, pp. 53-56.
- [64] Jinki Jung, Kyusung Cho, and Hyun Yang, "Real-time robust body part tracking for augmented reality interface," in *Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*, Yokohama, 2009, pp. 203-207.
- [65] Lumen Digital. Lumen Digital » Kiwibank Welcome Wall. [Online]. <http://www.lumendigital.co.nz/?projects=kiwibank-interactive-wall>
- [66] Beatriz Vieira, Camila Theodoro, Lucas Trias, Fábio Miranda, and Romero Tori, "ARHockey: Um Jogo em Realidade Aumentada Baseada em Projetores," in *V Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment*, Recife, 2006, pp. 1-8.
- [67] YDreams. YDreams - Projectos - Museus & Educação - Centro Interpretativo de Belmonte. [Online]. <http://www.ydreams.com/index.php#/pt/projects/museumslearning/belmonteinteractivemuseum/>
- [68] Johnny Lee, Paul Dietz, Dan Maynes Aminzade, and Scott Hudson, "Automatic Projector Calibration with Embedded Light Sensors," in *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Cambridge, 2004, pp. 123-126.
- [69] Shilpi Gupta and Chistopher Jaynes, "Active Pursuit Tracking in a Projector-Camera System with Application to Augmented Reality," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, 2005, pp. 111-118.
- [70] João Marcelo Teixeira, Francisco Simões, Rafael Roberto, Veronica Teichrieb, and Judith Kelner, "Reconstrução 3D usando luzes estruturadas," in *XII Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Natal, 2010, pp. 1-33.
- [71] Tien-Ju Yang, Yi-Min Tsai, Liang-Gee Chen, and , "Smart display: A mobile self-adaptive projector-camera system," in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Barcelona, 2011, pp. 1-6.
- [72] Manuela Waldner, Christian Pirchheim, and Dieter Schmalstieg, "Multi projector displays using a 3D compositing window manager," in *Proceedings of the 2008 workshop on Immersive projection*,

Los Angeles, 2008, pp. 1-4.

- [73] Ramesh Raskar, Jeroen van Baar, and Jin Xiang Chai, "A Low-Cost Projector Mosaic with Fast Registration," in *X Asian Conference on Computer Vision*, Melbourne, 2002, pp. 1-6.
- [74] Ramesh Raskar, Kok-lim Low, and Greg Welch, "Shader Lamps: Animating Real Objects with Image Based Illuminations," University of North Carolina at Chapel Hill , Chapel Hill, Técnico 2000.
- [75] HITLabNZ. HITLabNZ - Project - Mixed Reality Book. [Online].  
<http://www.hitlabnz.org/index.php/research/augmented-reality?view=project&task=show&id=35>
- [76] Museum of London. Museum of London - Street Museum. [Online].  
<http://www.museumoflondon.org.uk/Resources/app/you-are-here-app/index.html>
- [77] Logical Choice. Logical Choice Letters alive ™ Curriculum (pre-K & K). [Online].  
<http://www.logicalchoice.com/software/augmented-reality-for-teaching-learning/letters-alive-curriculum-pre-k-k/>
- [78] GAMeS Lab. ROAR - Buffalo Hunt. [Online]. <http://gameslab.radford.edu/ROAR/games/buffalo-hunt.html>
- [79] Joakim Almgren et al., "Tangible User Interface for Chemistry Education: Visualization, Portability, and Database," in *Visualization, Portability, and Database. Proc. SIGRAD 2005*, Linköping, 2005, pp. 19-24.
- [80] Technische Universität München. mirracle. [Online]. <http://www.mirracle.de/>
- [81] University of Camberra. InSPIRE Centre : Building a Better Campus : University of Canberra. [Online]. <http://www.canberra.edu.au/bettercampus/inspire>
- [82] Iulian Radu and MacIntyre Blair, "Augmented-Reality Scratch: A children's Authoring Environment for Augmented-Reality Experiences," in *International Conference on Interaction Design and Children*, Como, 2009, pp. 210-213.
- [83] Massachusetts Institute of Technology. MIT STEP. [Online]. <http://education.mit.edu/>
- [84] Massachusetts Institute of Technology. MITAR Games | MIT STEP. [Online].  
<http://education.mit.edu/projects/mitar-games>
- [85] Gisele Maria Schwartz, *Dinâmica Lúdica: Novos Olhares*, 1st ed. São Paulo, Brasil: Manole, 2003.
- [86] Química Sem Segredos. Simuladores de Química - Experiências / Química Sem Segredos. [Online]. <http://quimicasemsegredos.com/simuladores.php>
- [87] David Merrill, "Siftables: towards sensor network user interfaces," in *Proceedings of the 1st international Conference on Tangible and Embedded Interaction*, Baton Rouge, 2007, pp. 75-78.
- [88] Positivo Informática. Tecnologia Educacional : Positivo. [Online].  
<http://www.tepositivo.com.br/index.php/pagina/mesas>
- [89] Bruno Munari, *Das Coisas Nascem Coisas*, 1st ed. Brasil: Martins Editora, 1980.
- [90] Gui Bonsiepe, Petra Kelnner, and Holger Poessmecker, *Metodologia Experimental: Desenho Industrial*, 1st ed. Brasília, Brasília: CNPq - Coordenação Editorial, 1984.
- [91] Bernd Löbach, *Design Industrial - Bases para Configuração dos Produtos Industriais*, 1st ed.: Edgard Blucher, 1981.
- [92] Mike Baxter, *Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos*, 2nd ed.: Edgard Blucher, 2000.
- [93] Marília Cauduro Ponte, "Reflexões sobre design gráfico de livros para crianças em processo de alfabetização," São Paulo, Brasil, Técnico 2006.

- [94] Itiro Iida, *Ergonomia: Projeto e Produção*, 2nd ed. São Paulo, Brasil: Edgard Blucher, 2005.
- [95] Clyde Owings, Don Chaffin, Richard Snyder, and Richard Norcutt, "Strength characteristics of u.s children for product safety design," University of Michigan Medical Center, Relatório Técnico 011903-F, 1975.
- [96] David Silverstein, Philip Samuel, and Neil DeCarlo, *The Innovator's Toolkit: 50 Techniques for Predictable and Sustainable Organic Growth*, 1st ed.: John Wiley and Sons.
- [97] Elda Lizandra, Peterson Morais, Rafael Roberto, Sandra Friedman, and Viviane Siqueira, "Arblocks - jogos baseados em blocos dinâmicos," Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Técnico 2010.
- [98] Felipe Oda. (2011, Abril) Estadão. [Online]. <http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,professores-sao-inseguros-para-usar-tecnologia,704780,0.htm>
- [99] International Business Machines Corporation, "Color/graphics adapter," International Business Machines Corporation, Nova Iorque, Técnico 1981.
- [100] John Canny, "Finding Edges and Lines in Images," Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Técnico 1983.
- [101] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd ed. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 2004.
- [102] Gene Golub and Charles Van Loan, *Matrix Computations*, 3rd ed. Baltimore, Estados Unidos: The Johns Hopkins University Press, 1996.
- [103] Donald Norman, *O Design do Dia a Dia*, 1st ed. Estados Unidos: Rocco, 2002.
- [104] Gary Bradski, "The OpenCV Library," *Dr Dobbs Journal of Software Tools*, vol. 25, no. 11, pp. 120-126, 2000.
- [105] VXL Developers. VXL - C++ Libraries for Computer Vision. [Online]. <http://vxl.sourceforge.net/>
- [106] Rafael Alves Roberto et al., "Jogos Educacionais Baseados em Realidade Aumentada e Interfaces Tangíveis," in *IX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, Florianópolis, 2010, pp. 52-96.
- [107] Rafael Alves Roberto et al., "Jogos Educacionais Baseados em Realidade Aumentada e Interfaces Tangíveis," in *XIII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada*, Uberlândia, 2011, pp. 1-35.
- [108] Rafael Alves Roberto, Daniel Freitas, João Paulo Lima, Veronica Teichrieb, and Judith Kelner, "ARBlocks: A Concept for a Dynamic Blocks Platform for Educational Activities," in *Proceedings of the 2011 XIII Symposium on Virtual Reality*, Uberlândia, 2011, pp. 28-37.
- [109] Rafael Alves Roberto and Veronica Teichrieb, "ARBlocks: A Projective Augmented Reality Platform for Educational Activities," in *IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, Orange Count, 2012, pp. 1-2.