



Universidade de Brasília
Faculdade de Educação
Programa de Pós-graduação em Educação
Doutorado em Educação

**Educação Ambiental Baseada no Lugar com Realidade Aumentada:
métodos e diretrizes para a transposição didática no desenvolvimento e
uso de aplicativos**

Frederico Coelho Krause

Brasília-DF

Abril 2019

Frederico Coelho Krause

**Educação Ambiental Baseada no Lugar com Realidade Aumentada:
métodos e diretrizes para a transposição didática no desenvolvimento e
uso de aplicativos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação (FE), da Universidade de Brasília (UnB), como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Educação na área de concentração Educação, Tecnologias e Comunicação, sob orientação do Prof. Dr. Gilberto Lacerda Santos.

Brasília-DF

Abril 2019

CC672e Coelho Krause, Frederico
EDUCAÇÃO AMBIENTAL BASEADA NO LUGAR COM REALIDADE
AUMENTADA: MÉTODOS E DIRETRIZES PARA A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA
NO DESENVOLVIMENTO E USO DE APLICATIVOS / Frederico Coelho
Krause; orientador Gilberto Lacerda Santos. -- Brasília,
2019.
194 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Educação) -- Universidade
de Brasília, 2019.

1. Realidade Aumentada. 2. Educação Ambiental. 3. Educação
Baseada no Lugar. 4. Transposição Didática. 5. Modelos
Tridimensionais. I. Lacerda Santos, Gilberto, orient. II.
Título.

Frederico Coelho Krause

**Educação Ambiental Baseada no Lugar com Realidade Aumentada:
métodos e diretrizes para a transposição didática no desenvolvimento e
uso de aplicativos**

Resultado: Aprovado. Data: 26/04/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilberto Lacerda Santos – Faculdade de Educação/UnB
Orientador

Profa. Dra. Vera Margarida Lessa Catalão – Faculdade de Educação/UnB
Membro titular interno vinculado ao programa

Prof. Dr. Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles – Instituto de Ciências Biológicas/UnB
Membro titular interno não vinculado ao programa

Profa. Dra. Iara Regina Nocentini André – Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Membro titular externo

Prof^a. Dr^a. Andrea Cristina Versuti – Faculdade de Educação/UnB
Membro suplente vinculado ao programa

Brasília-DF

Abril 2019

*Aos meus pais que, com muito amor e carinho,
sempre estiveram ao meu lado;*

e

*A todos aqueles que tocaram as águas
e foram tocados por elas.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Friedrich H. G. Krause e Maria da Conceição de C. Coelho Krause, pelo amor, incentivo e apoio incondicionais em todas as etapas do curso de doutorado, sendo sempre um porto seguro nas horas de incertezas e inseguranças, e vibrando comigo a cada momento de sucesso.

Aos meus irmãos, Anelise C. Krause, Isabela C. Krause, João Q. Krause e Carolina C. Krause, que acompanharam minha jornada, sempre me ajudando com gestos e palavras, e torcendo para que tudo desse certo.

Ao professor Dr. Gilberto Lacerda Santos que me acolheu de braços abertos como orientando e nunca mediu esforços para que a pesquisa que desenvolvíamos lograsse êxito, me aconselhando, discutindo ideias e indicando caminhos, sempre tendo e aceitando pensamentos inovadores em nossas longas conversas que muito me ensinaram e ajudaram a construir uma ótima relação acadêmica e de amizade.

Aos companheiros de pós-graduação, que junto comigo construíram e dividiram suas ideias e trabalhos, especialmente à Isa S. R. dos Santos, tão importante durante a minha reta final.

À Universidade de Brasília pela grande contribuição para minha vida acadêmica e profissional, na qual cursei graduação, mestrado e doutorado, e onde também exerço o cargo de Biólogo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento para aquisição de materiais para realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação da FE-UnB pela oportunidade de realização desta pesquisa e por manter abertas as portas para estudantes de formações plurais, tornando a Faculdade de Educação espaço de ligação entre as mais diversas áreas do conhecimento.

À Faculdade UnB-Ceilândia, seu corpo docente e técnico-administrativo, em especial à Prof.^a Dra. Diana L. M. Pinho e ao Prof. Dr. Araken dos Santos Werneck Rodrigues, que sempre empenharam esforços para viabilizar a compatibilidade entre minhas atividades acadêmicas e profissionais na instituição, incluindo um período de afastamento para realização desta pesquisa de doutorado.

Aos amigos da FCE, especialmente a: Jean, que me incentivou e ajudou em todas as etapas, tanto na orientação dos processos administrativos, como aconselhando e discutindo problemas e soluções, sonhos e aspirações para o curso e para a vida; Jéssika e Letícia, ouvidos e ombros amigos, companheiras de todas as horas; Lauro e Pedro Ivo, que se dispuseram a acumular funções para possibilitar meu afastamento; Diego D., Diego M. e Alex, que também envidaram esforços para que eu pudesse me dedicar às atividades de doutorado durante esse período; Érica, parceira de trabalho e conversas, que muito me ajudou e aconselhou na reta final do projeto para que eu pudesse concluir a pesquisa; Lorena, que sempre me incentiva e acredita no meu sucesso; Teles, Marquinhos, Eva, Leonardo, Ieri, Nara, Ricelle, Hércia, Rafaela e Leandra, companheiros de laboratório que acompanharam esta jornada; e Evilásio e Lynce, pelas excelentes conversas e encorajamento durante a minha caminhada.

Aos grandes amigos Gustavo, Henrique, Murilo, Saulo, Dezan, Romero, Tiago e Túlio, do Colégio Marista, e Michel, Renata P. e Ana D., que compartilham comigo todos as etapas importantes da vida, incluindo esta que se encerra.

Aos amigos da Faculdade de Direito: Leonardo, Lucas, Ricardo, Heitor, Vicente, Rafael, Gustavo, Elias, Emerson, Yago e Bruna, que participaram da maior parte deste trajeto, me auxiliando a conciliar o doutorado à graduação.

Ao Museu Nacional da República, sua equipe técnica e direção, na figura de Wagner Barja, também curador da exposição, que nos abriu a oportunidade para montagem e apresentação da obra *Pirá-Brasília: realidade e virtualidades*.

À Escola Classe 05 de Sobradinho, pelo zelo e comprometimento de seus profissionais com o bem-estar e a educação das crianças, e pela abertura em me receber enquanto pesquisador para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores que aceitaram o desafio de participar da pesquisa e à coordenadora Francis, que atuaram ativamente na concepção, construção e realização das atividades, sempre empenhados para que tudo ocorresse da melhor forma possível.

Aos estudantes, particularmente àqueles da EC 05, que com sua curiosidade e espírito investigativo se lançam com desenvoltura a novas experiências educativas, nos motivando a buscar e aperfeiçoar novas formas de ensinar e aprender.

RESUMO

Os sistemas de realidade aumentada (RA) permitem a apresentação conjunta de elementos tridimensionais reais e virtuais em tempo real. Com o aumento da capacidade dos dispositivos de rastreamento, processamento e apresentação de imagens, verificado nos últimos anos, esta tecnologia vive agora seu pico de expectativas, apontando novos caminhos para o ensino. De particular relevância é sua utilização para representar fenômenos abstratos ou de difícil visualização in loco, o que inclui aqueles multideterminados e de grande amplitude, como é o caso dos fatores ecológicos trabalhados em educação ambiental. Quando os indivíduos não são capazes de identificar e situar os determinantes da qualidade ambiental no contexto em que vivem, têm limitado seu poder de atuação para conservação e exigência de melhorias frente à sua comunidade e o poder público. Essa necessidade tem se tornado relevante com relação à questão hídrica no Distrito Federal tanto no que se refere à disponibilidade de água para consumo, como no que tange à conservação de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo, cuja defesa está prevista na constituição. Dois casos nos quais nos debruçamos no presente estudo são: o da região em torno do Ribeirão Sobradinho, que tem sofrido com racionamentos nas escolas e residências; e o do pirá-brasília (*Simpsonichthys boitonei*), espécie de peixe endêmica ao Distrito Federal e que atualmente consta na lista de espécies ameaçadas de extinção. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver dois aplicativos em RA para o ensino de educação ambiental com sistemas de RA, baseados nas problemáticas do Ribeirão Sobradinho e do pirá-brasília, e investigar os requisitos necessários à transposição didática para fomentar a educação ambiental baseada no lugar (EBL). Nossa tese é que essa transposição didática depende de métodos de desenvolvimento dialógicos entre desenvolvedor, comunidade, professores e estudantes. Iniciamos o trabalho realizando uma revisão conceitual do termo virtual, conforme proposto por Pierre Lévy, situando na discussão a RA. Em seguida, realizamos uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização da RA no ensino de ciências. Analisamos então o processo de desenvolvimento dos aplicativos. Nossa revisão conceitual reposicionou a virtualização como um processo progressivo, nunca regressivo e concluiu pela rejeição da separação entre virtual e possível quanto à subjetividade humana e os sistemas informáticos. A revisão sistemática da literatura revelou a RA como ferramenta eficaz na promoção da interação e engajamento, mas encontrou lacunas quanto à fundamentação de diretrizes para o desenvolvimento de aplicações para a educação baseada no lugar. A análise do processo de desenvolvimento e implementação dos aplicativos supramencionados permitiu avaliar os métodos de desenvolvimento utilizados e estabelecer diretrizes adequadas aos objetivos da educação baseada no lugar com uso de RA para professores e desenvolvedores. Concluímos pela necessidade de inclusão dos estudantes no processo de desenvolvimento para que o saber ensinado mantenha estreita relação com o saber a ensinar.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Transposição Didática; Educação Baseada no Lugar; Educação Ambiental; Modelos Tridimensionais.

ABSTRACT

Systems of augmented reality (AR) allow us to present real and virtual tridimensional elements together. With the increased capacity of tracking, processing and imaging devices seen in recent years, this technology now lives up to its peak of expectations, pointing out new avenues for teaching. Of particular relevance is its use to represent abstract *phenomena* or difficult *in situ* visualization, which includes those multidetermined and on large scale, as is the case for the ecological factors in environmental education. When individuals cannot identify and situate the determinants of environmental quality in the context in which they live, they have limited power of action for conservation. Their ability to demand the government for improvements in their community is also diminished. This need has become relevant with respect to the water issue in Distrito Federal, both in terms of the availability of water for consumption, and in relation to the conservation of an ecologically balanced environment, a common good guaranteed by the constitution. Two cases that we address in the present study are those of: the Ribeirão Sobradinho region, which have suffered from water rationing in schools and residences; and the pirá-brasília (*Simpsonichthys boitonei*), a species of fish endemic to the Federal District and currently on the list of endangered species. The objective of the present work was to develop two applications in AR for the teaching of environmental education with AR systems based on the problems of Ribeirão Sobradinho and pirá-brasília, and to investigate the requirements for didactic transposition to foster place-based environmental education (EBL). Our thesis is that this kind of didactic transposition depends on dialogical methods of development including developer, community, teachers and students. We start the work performing a conceptual review of the term *virtual*, as proposed by Pierre Lévy, placing AR in the discussion. We then carry out a systematic review of the literature on the use of AR in science education. Next, we look at the application development process. Our conceptual review repositioned virtualization as a progressive process, never regressive, and concluded that the separation of *virtual* and *possible* concerning human subjectivity and computer systems should be rejected. The systematic review of the literature has revealed AR as an effective tool in promoting interaction and engagement, but has found gaps in the foundation of guidelines for the development of applications for place-based education. The analysis of the development and implementation processes of the above-mentioned applications allowed us to evaluate the development methods used and to establish guidelines appropriate to the objectives of the place-based education with the use of AR for teachers and developers. We conclude that it is necessary to include the students in the development process so that the knowledge taught has a close relationship with the knowledge to be taught.

Keywords: Augmented Reality; Didactic Transposition; Place-Based Education; Environmental Education; Three-Dimensional Models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percepções de indivíduos sob diferentes condições.....	73
Figura 2 – Relações entre <i>sociedade, noosfera, sistema de ensino e sistemas didáticos</i> , conforme propostos por Chevallard (1998), com adaptações.	85
Figura 3 – Área de estudo.....	91
Figura 4 – Pontos visitados ao longo do Ribeirão Sobradinho.....	103
Figura 5 – Modelo gerado a partir de nuvem de pontos obtida após processamento de levantamento topográfico da região do Ribeirão Sobradinho.	144
Figura 6 – Imagens do aplicativo O Ribeirão e a Escola.....	148
Figura 7 – Modelo de <i>Simpsonichtys boitonei</i> macho em diferentes estágios de modelagem e texturização dentro do programa Autodesk Maya.....	148
Figura 8 – Imagens obtidas no aplicativo Pirá-Brasília: Realidade e Virtualidades durante animação carregada sobre marcador disposto no chão do Museu Nacional da República	150
Figura 9 – Imagens obtidas no aplicativo Pirá-Brasília: Realidade e Virtualidades durante animação carregada sobre marcadores dispostos em parede do Museu Nacional da República	150
Figura 10 – Imagens obtidas no aplicativo Pirá-Brasília: Realidade e Virtualidades durante animação carregada sobre marcadores dispostos em parede do Museu Nacional da República	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Termos de busca na Etapa 1.	46
Tabela 2 – Termos de busca na Etapa 2.	48
Tabela 3 – Número de estudos analisados na Etapa 2 (por periódico).....	57
Tabela 4 – Descrição das categorias de estudo.....	99
Tabela 5 – Aula 1. Ocorrências das categorias nas turmas por assunto	116
Tabela 6 – Aula 2. Ocorrências das categorias nas turmas por assunto	118
Tabela 7 – Aula 3. Ocorrências das categorias nas turmas por assunto	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACT	Arte, Ciência e Tecnologia
CG	Computação Gráfica
EC5	Escola Classe 5
FE	Faculdade de Educação
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HMDs	<i>Head-Mounted Displays</i>
ISCED	Classificação Internacional Normalizada da Educação (sigla inglesa)
PNE	Plano Nacional de Educação
PP	Perguntas de Pesquisa
PVC	Policloreto de Vinila
RA	Realidade Aumentada
RECOR	Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RM	Realidade Misturada
RV	Realidade Virtual
TICE	Tecnologias Digitais da Informação Comunicação e Expressão
TICs	Tecnologias da Informação e da Comunicação
UICN	União Internacional para Conservação da Natureza
UnB	Universidade de Brasília
VA	Virtualidade Aumentada

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	17
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 1 – O virtual de Lévy: uma revisão conceitual	24
RESUMO	24
INTRODUÇÃO.....	24
A ONTOLOGIA DA DIFERENÇA DE DELEUZE	25
PROBLEMA 1: A REDUÇÃO DO VIRTUAL AO POSSÍVEL NOS SISTEMAS INFORMÁTICOS	29
PROBLEMA 2: A VIRTUALIZAÇÃO COMO ELEVAÇÃO À POTÊNCIA.....	31
PROBLEMA 3: A DESTERRITORIALIZAÇÃO DO VIRTUAL	33
PROBLEMA 4: A MENTALIDADE COMO CONDIÇÃO DA DIMENSÃO VIRTUAL DO TEXTO.....	34
REPOSICIONANDO O CONCEITO DE VIRTUAL E VIRTUALIZAÇÃO	36
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 2 – Realidade Aumentada (RA) na Educação em Ciências Biológicas e Ambientais: o Estado da Arte	41
RESUMO	41
ABSTRACT	42
INTRODUÇÃO.....	42
PROCEDIMENTOS E MÉTODOS	45
Etapa 1	45
<i>Estratégia de Pesquisa</i>	46
<i>Critérios de inclusão e exclusão</i>	46
<i>Análise e seleção de dados</i>	47
Etapa 2	48
<i>Estratégia de Pesquisa</i>	48
<i>Critérios de inclusão e exclusão</i>	49
<i>Análise e seleção de dados</i>	49
RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
Resultados da Etapa 1.....	50
<i>Pergunta de Pesquisa 1</i>	50

<i>Pergunta de Pesquisa 2</i>	51
Resultados da Etapa 2.....	56
<i>Pergunta de Pesquisa 3</i>	56
<i>Pergunta de Pesquisa 4</i>	57
CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65
CAPÍTULO 3 – O Ribeirão e a Escola: análise da transposição didática no desenvolvimento de um aplicativo de realidade aumentada para a educação ambiental baseada no lugar	69
RESUMO	69
INTRODUÇÃO.....	70
REALIDADE AUMENTADA	71
Qual realidade?.....	72
Tecnologias e Sistemas Habilitadores da Realidade Aumentada.....	74
Tipos de RA.....	74
<i>O papel aumentado</i>	75
ÁGUA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	76
Previsão legal.....	77
EDUCAÇÃO BASEADA NO LUGAR	80
A comunidade local	81
Criando lugares em RA	82
TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA.....	84
Transpondo saberes para o ensino em RA.....	87
CONTEXTO DA PESQUISA.....	89
A Escola Classe 05 de Sobradinho	90
O Ribeirão Sobradinho	90
MATERIAL E MÉTODOS.....	93
Coleta de dados sobre o planejamento, uso e avaliação do aplicativo	94
<i>Observação participante</i>	96
<i>Grupos focais</i>	96
<i>Entrevistas informais</i>	97
<i>Questionários e representações pictóricas</i>	97
<i>Vídeos</i>	98
Procedimento de análise dos dados coletados na escola	98

Registro em imagens e mapeamento aéreo do Ribeirão Sobradinho	100
Desenvolvimento do aplicativo	101
<i>Criação, ajuste e animação dos modelos 3D</i>	101
<i>Integração dos modelos à plataforma Android para uso com RA</i>	102
RESULTADOS E DISCUSSÃO	102
Da realidade ao saber sábio	102
Do saber sábio ao saber a ensinar	107
<i>Limitações quanto aos assuntos</i>	108
<i>Limitações quanto ao tempo</i>	109
<i>Limitações quanto aos sistemas de RA utilizados</i>	110
<i>Ações pedagógicas propostas</i>	111
Do saber a ensinar ao saber ensinado	115
<i>Aula 1</i>	115
<i>Aula 2</i>	117
<i>Aula 3</i>	119
<i>Aula 4</i>	120
CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
REFERÊNCIAS	123
CAPÍTULO 4 – Pirá-Brasília: planejamento e desenvolvimento de um aplicativo de educação ambiental baseada no lugar para uma exposição museal	128
RESUMO	128
INTRODUÇÃO	129
A ESCOLHA DO TEMA	130
A realidade do pirá-brasília	131
Por que o pirá-brasília?	132
A ESCOLHA DA ABORDAGEM	133
Por que educação baseada no lugar?	133
Que lugar é esse?	135
PLANEJAMENTO DA INSTALAÇÃO	136
Adequação pedagógica ao ambiente museológico	137
<i>O público</i>	137
<i>O processo negocial com a curadoria</i>	138
Projeto da Instalação	139
<i>Objetivo geral</i>	139

<i>Objetivos específicos</i>	139
<i>Narrativa</i>	140
<i>Estrutura física</i>	141
<i>Estrutura lógica</i>	142
DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	142
Criação e animação dos modelos 3D.....	142
<i>Técnicas de modelagem e texturização utilizadas</i>	143
<i>Técnicas de animação utilizadas</i>	145
Integração dos modelos à plataforma <i>Android</i> para uso com RA	145
Teste de funcionalidade e adequação do aplicativo.....	146
MONTAGEM E ACOMPANHAMENTO	147
O lugar do pirá-brasília no museu	149
O pirá-brasília e os tempos do museu.....	149
<i>Tempo da curadoria e administração</i>	151
<i>Tempo da equipe técnica de instalação</i>	151
<i>Tempo dos mediadores</i>	151
<i>Tempo dos visitantes</i>	152
CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
REFERÊNCIAS	154
CAPÍTULO 5 - Criando visualizações em realidade aumentada para o ensino de ciências	157
RESUMO	157
INTRODUÇÃO.....	157
CONHECENDO O PÚBLICO-ALVO	159
DELINEANDO O TEMA	160
DEFININDO CONTEÚDOS E OBJETIVOS	161
ELEGENDO UMA TEORIA PEDAGÓGICA.....	162
ESCOLHENDO UM MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO	163
CRIANDO MODELOS 3D.....	164
INTEGRANDO OS MODELOS A UM SISTEMA DE RA	165
DEFININDO O MODO DE INTERAÇÃO	166
CONSIDERAÇÕES FINAIS	166
REFERÊNCIAS	168
SÍNTESE	170

REFERÊNCIAS	172
APÊNDICE A – OBJETIVOS E CONTEÚDOS DOS PCN: VOLUMES CIÊNCIAS NATURAIS, E HISTÓRIA E GEOGRAFIA	173
APÊNDICE B – CONTEÚDOS DOS PCN: VOLUME MEIO AMBIENTE E SAÚDE.....	175
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS	177
APÊNDICE D – ESCLARECIMENTO SOBRE A PESQUISA E TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	179
APÊNDICE E – MARCADOR DE REALIDADE AUMENTADA DO APLICATIVO O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADO NA AULA 1	181
APÊNDICE F – MARCADORES DE REALIDADE AUMENTADA DO APLICATIVO O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADOS NA AULA 2.....	182
APÊNDICE G – MARCADORES DE REALIDADE AUMENTADA DO APLICATIVO O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADOS NA AULA 3.....	185
APÊNDICE H – MARCADORES DE REALIDADE AUMENTADA DO APLICATIVO O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADOS NA AULA 4.....	190

Vivemos um momento de revoluções ocasionadas pelo surgimento e desenvolvimento vertiginoso das Tecnologias Digitais da Informação, Comunicação e Expressão (TICE). Toda revolução implica transformações sensíveis e reestruturação de paradigmas das mais diversas naturezas, que afetam a humanidade em maior ou menor grau, alterando a forma como vemos o mundo (GABRIEL, 2013).

A utilização do sentido da visão como metáfora de nossa percepção da realidade ganha outros contornos à medida que são criados novos *displays* e modos de interação com eles. Ambientes com imersão sensorial, como aqueles gerados por computação gráfica (CG), levantam questões sobre a natureza da realidade que perpassam a filosofia, a religião, a arte e a ciência (HEIM, 1994). Paralelamente, emergem discussões sobre o conceito de virtual e suas implicações (AXT; SCHUCH, 2001).

A criação de experiências imersivas não é algo novo. Richard Wagner, já em 1876, integrava música, arquitetura, pintura, poesia e dança para envolver o espectador (JORDAN; PACKER, 2001). O termo *realidade virtual* (RV), contudo, surge apenas em 1938 na obra do também dramaturgo Antonin Artaud. Em *Le Théâtre et son double*¹, o autor traça um paralelo entre a natureza ficcional ou ilusória do mundo que envolve os símbolos alquímicos² - que em suas palavras indicam o que pode ser chamado de "estados filosóficos da matéria" - e o mundo de personagens, objetos e imagens, dentre outros, que constituiriam a RV que o teatro desenvolve (ARTAUD, 1958). Contemporaneamente, o termo tem sido associado às representações eletrônicas com as quais seja possível a interação, com imersão sensorial em um ambiente simulado (HEIM, 1994).

Para discutirmos a RV, buscamos o sentido de virtual em Pierre Lévy, que nos conduziu a Deleuze. Deleuze, por sua vez, embebido das ideias de Bergson, propõe o virtual como constituidor da realidade, por conseguinte, não podendo se contrapor a ela, como afirma o senso comum. O real possuiria duas dimensões: uma virtual, entendida como multiplicidades, potência; e uma atual, manifestação sensível da dimensão anterior, que se atualiza. A nossa leitura do autor se contrapõe quanto à sua aplicação, àquela que fez Pierre Lévy em seus livros: *O que é o virtual?*, de 1995, e *Cibercultura*, de 1997. Resumidamente, identificamos quatro problemas ontológicos: (1) a redução do virtual ao

¹ Em português, "O Teatro e seu duplo" (ARTAUD, 1958).

² Referência à alquimia, nomenclatura dada a partir dos séculos VI e VII ao sistema de conhecimentos que se ocupava do estudo das propriedades da matéria, precursora da ciência que hoje denominamos Química (MUIR, 2008).

possível nos sistemas informáticos; (2) a virtualização como elevação à potência; (3) a desterritorialização do virtual; e (4) a mentalidade como condição da dimensão virtual do texto. Concluímos por uma readequação do sentido dos termos virtualização e virtual. O primeiro possui mais valor utilizado figurativamente, como resultado da atualização com expectativas a novas atualizações. O segundo é aplicável aos sistemas informáticos desde que feitas as devidas considerações ontológicas. Ontologicamente, só é virtual aquilo que pode ser atualizado. Se feita uma concessão metafórica, a exemplo daquela que se faz quando suprimimos o termo *figura de*, ao nos referirmos a um desenho em papel, o virtual pode ser aplicado a objetos digitais não atualizáveis senão como imagem, bem como àqueles objetos que surgem como imagens “apresentadas” à consciência.

Na interação com objetos reais ou virtuais, nossa mente é alterada em consonância com esses objetos, constituindo com certa equivalência estruturas mentais a que autores como Johnson-Lair (1983) denominam *representações mentais*. Para que possam ser comunicadas, essas representações devem ser externadas em domínio público por meio de um ou mais modos de representação - concreto, verbal, matemático, visual e/ou gestual. Ao fazermos isso, criamos *modelos expressos* (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000) que incluem aqueles na forma de texto, discurso falado, desenhos, protótipos, e imagens bi (2D) e tridimensionais (3D) geradas por CG. Aqueles cujo objetivo é facilitar a compreensão ou o ensino são chamados de *modelos de ensino* e aqueles em uso nas fronteiras da ciência denominados *modelos científicos* (GILBERT; BOULTER, 2000).

Embora sejam capazes de simular aspectos visuais da realidade tridimensional, os modelos 3DV apresentados em sistemas de RV - ao menos para aqueles que se valem de dispositivos de saída tradicionais - não reproduzem todas as características perceptivas do mundo real, como sensações de tato e visão estereoscópica em todas as suas nuances. Ocorre também uma sensação de deslocamento do ambiente no qual estão nossos corpos.

Uma alternativa a isto é apresentar elementos virtuais de forma simultânea a elementos reais por meio da realidade aumentada (RA). Apesar de tecnologias deste tipo existirem há décadas, os grandes progressos recentes em poder computacional e miniaturização de sensores fazem com que elas vivam seu pico de expectativas agora, com "lançamentos de dispositivos econômicos e amplamente adotados, como as *webcams* e *smartphones*, que possibilitam o uso de realidade aumentada de maneira simples" (GABRIEL, 2013, p.40, *grifo nosso*).

Conforme colocado por Lacerda Santos (2002, p.16), a descoberta de novas formas de ensinar e aprender por meio da informática (como é o caso da RA atualmente) constitui

um "desafio extremamente motivador, que implica e que demanda trabalhos de investigação voltados para a produção de meios e materiais específicos, na perspectiva do estabelecimento de uma nova relação com a aprendizagem".

Ressalta-se que o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias educacionais, o incentivo de práticas pedagógicas inovadoras e uso pedagógico das tecnologias da informação e da comunicação (TICs³) são expressamente previstos na Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014 - que estabelece o Plano Nacional de Educação (PNE) - como estratégias para a consecução da *Meta 7*. Esta meta visa fomentar a qualidade da educação básica em todas as etapas e modalidades, com melhoria do fluxo escolar e da aprendizagem⁴.

Nesse sentido, propomos o presente trabalho de desenvolvimento e pesquisa com uso de RA. Nossa pesquisa sistemática de literatura sobre a utilização de RA no ensino de ciências revelou um amplo campo de utilização e contextos, sendo ferramenta eficaz para promover a interação entre os alunos, entre eles e o professor e com o assunto trabalhado, o que nos remete aos triângulos: didático (professor-aluno-saberes); e pedagógico (professor-aluno-mídias) (ALAVA, 2002). Também são encorajadores os achados sobre melhoras no engajamento, satisfação de uso, níveis de ansiedade e retenção de conceitos trabalhados.

Notamos, contudo, falta de fundamentação em métodos para o desenvolvimento de aplicações pedagógicas com uso de RA. Mesmo no cenário mais amplo do *design* de interface de aplicações para celulares com RA de modo geral, há carência de trabalhos (BILLINGHURST et al., 2014). Buscamos com este projeto o preenchimento de parte dessa lacuna, mais especificamente no que tange à educação ambiental.

O tema se torna relevante frente a problemas ambientais como a baixa disponibilidade de água pela qual tem passado o Distrito Federal. A situação tem levado a racionamentos que afetam residências e escolas, como é o caso da Escola Classe 5 de Sobradinho (EC5). Outro problema ambiental relacionado à água é o caso do pirá-brasília

³ Referidas como TICE, neste trabalho.

⁴ Estratégias da referida meta mais relevantes para nosso trabalho (*grifo nosso*): 7.12) incentivar o desenvolvimento, selecionar, certificar e divulgar tecnologias educacionais para a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio e incentivar práticas pedagógicas inovadoras que assegurem a melhoria do fluxo escolar e a aprendizagem, assegurada a diversidade de métodos e propostas pedagógicas, com preferência para softwares livres e recursos educacionais abertos, bem como o acompanhamento dos resultados nos sistemas de ensino em que forem aplicadas; [...] 7.15) universalizar, até o quinto ano de vigência deste PNE, o acesso à rede mundial de computadores em banda larga de alta velocidade e triplicar, até o final da década, a relação computador/aluno (a) nas escolas da rede pública de educação básica, promovendo a utilização pedagógica das tecnologias da informação e da comunicação; [...] 7.20) prover equipamentos e recursos tecnológicos digitais para a utilização pedagógica no ambiente escolar a todas as escolas públicas da educação básica, criando, inclusive, mecanismos para implementação das condições necessárias para a universalização das bibliotecas nas instituições educacionais, com acesso a redes digitais de computadores, inclusive a internet.

(*Simpsonichthys boitonei*), espécie de peixe endêmica ao Distrito Federal e que atualmente consta na lista de espécies ameaçadas de extinção. Dentre os diversos fatores que contribuem para isso estão: aumento da ocupação humana, despejo de efluentes não tratados ou tratados de modo insuficiente, captação de águas subterrâneas, impermeabilização da camada superficial e desmatamento.

Para que haja alteração desses fatores, determinantes para a qualidade ambiental, é necessária a mudança de atitude da população, o que pode ser alcançado por meio da educação. A escola tem aí um duplo papel: ensinar à luz dos conhecimentos científicos as dinâmicas que ocorrem no meio natural e as consequências das ações humanas; e fomentar o interesse em intervir para mudança daquelas que possam ser prejudiciais ao ambiente equilibrado.

No cumprimento do primeiro papel, a escola deve fazer uma aproximação com o conhecimento científico, considerando sua função social e o contexto no qual ela e seus alunos estão inseridos. Esse caminho do saber sábio (da ciência), passando pela seleção e adequação do que será ensinado, o saber a ensinar, e chegando aos alunos, o saber ensinado, é o que Chevallard (1998) denomina transposição didática. Nascida no contexto da matemática, essa abordagem da Didática concebe o saber como algo objetivo, que uma vez extraído da realidade independe do contexto. A apropriação desse conceito, advindo da experiência de ensino de uma ciência lógica e abstrata, para o ensino de uma cujo objeto é dependente das contingências e indeterminações (ao menos observáveis, conforme se conceba) do mundo físico, como as ciências ambientais, requer adaptações. Consideramos que o conceito de saber ensinado não serve ao ensino das ciências ambientais separado do saber aprendido. Por este motivo, o desenvolvimento de aplicativos em RA nessa área deve ser feito de modo dialógico relacionando o saber a ensinar ao saber aprendido para que se possa inferir o saber ensinado. Isso implica a inclusão dos alunos durante o desenvolvimento.

Quanto ao segundo papel, podemos alcançá-lo utilizando o ambiente e comunidade locais para criar vínculos que predispõem à valorização do lugar. Quando indivíduos e grupos valorizam o lugar, há tendência de engajamento para recuperação e melhora das condições ambientais (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

Nossa tese é que a transposição didática para a educação ambiental baseada no lugar com sistemas de RA depende de métodos de desenvolvimento dialógicos entre desenvolvedor, comunidade, ensinantes⁵ e ensinados.

O objetivo do presente trabalho foi verificar a necessidade de participação da comunidade e usuários finais no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e deste ao saber ensinado com vistas à educação ambiental baseada no lugar. Para tanto, concebemos e analisamos o desenvolvimento de dois aplicativos para a educação ambiental. O primeiro, denominado *O Ribeirão e a Escola*, encontra-se descrito no *Capítulo 3* e foi endereçado à Escola Classe 05 de Sobradinho e à comunidade à qual atende. O segundo, denominado *Pirá-Brasília*, foi criado para a exposição *A-Riscado: Arte, Ciência e Tecnologia*, que ficou em cartaz de 23 de novembro a 13 de janeiro no Museu Nacional da República. No *Capítulo 4*, tratamos de seu desenvolvimento.

No *Capítulo 1*, trazemos uma revisão conceitual do termo virtual conforme proposto por Pierre Lévy. O *Capítulo 2* se dedica a uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização da RA no ensino de ciências. Apresentamos, no *Capítulo 5*, diretrizes para orientação do processo de criação de visualizações em RA para o ensino de ciências. Por fim, fazemos uma síntese do trabalho.

⁵ Termo utilizado como sinônimo da palavra espanhola *enseñantes*, que não possui correspondente adequado em língua portuguesa.

REFERÊNCIAS

ALAVA, Séraphin. Ciberespaço e Práticas de Formação: das Ilusões aos Usos dos Professores. *In*: ALAVA, Séraphin. **Ciberespaço e Formações Abertas: Rumo a Novas Práticas Educacionais?** Porto Alegre: Artmed, 2002.

ARTAUD, Antonin. **The Theater and its Double**. New York: Grove Weiden, 1958. 159 p. Publicação original: 1938

AXT, M.; SCHUCH, E. M. M. Ambientes de realidade virtual e educação: que real é este? **Interface Comunic, Saúde, Educ**, v. 5, n. 9, p.11-30, 2001.

BILLINGHURST, Mark; BAI, Huidong; LEE, Gun; LINDEMAN, Robert. Developing Handheld Augmented Reality Interfaces. *In*: MARK, Grimshaw. **The Oxford Handbook of Virtuality**. Oxford: Oxford University Press, 2014. 776 p.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm; Acesso em: 10 jun. 2017.

CHAPIN III, F. Stuart; KNAPP, Corrine N. Sense of place: A process for identifying and negotiating potentially contested visions of sustainability. **Environmental Science & Policy**, v. 53, p. 38-46, 2015.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado**. 3. ed. Tradução Claudia Gilmar. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1998.

GABRIEL, Martha. **Educ@r: a (r)evolução digital na educação**. São Paulo: Saraiva, 2013. 241 p.

GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J. **Developing Models in Science Education**. Dordrecht, Holanda: Kluwer academic Publisherrs, 2000. 389 p.

GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J.; ELMER, Roger. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. *In*: GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J. **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisherrs, 2000. 400 p.

HEIM, Michael. **The Metaphysics of Virtual Reality**. New York: Oxford University Press, 1994. 208 p.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. Tradução: Carlos Irineu da Costa. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2010. Publicação original: 1997.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual**. Tradução: Paulo Neves. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011. Publicação original: 1995.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. Tradução: Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001. 288p.

SANTOS, Lacerda G. A descoberta de novas formas de ensinar e aprender por meio de softwares educativos: o Projeto Ábaco. *In: Prêmio Jovem Cientista e Prêmio Jovem Cientista do Futuro: Novas Metodologias para a Educação*. Porto Alegre: CNPq, 2002. 213 p.

O virtual de Lévy: uma revisão conceitual

RESUMO

O conceito filosófico de virtual presente na obra *O que é o virtual?*, de Pierre Lévy, está ancorado na filosofia escolástica e no pensamento de Gilles Deleuze. Este, por sua vez, quando procurou definir o termo, foi influenciado pelo trabalho de Henri Bergson. Identificamos, na leitura de Lévy, contradições ontológicas com seu referencial teórico, tanto no que diz respeito ao virtual, quanto ao seu derivado, a *virtualização*. Enunciamos e discutimos quatro problemas: (1) a redução do virtual ao possível nos sistemas informáticos; (2) a virtualização como elevação à potência; (3) a desterritorialização do virtual; e (4) a mentalidade como condição da dimensão virtual do texto. Concluímos por uma readequação do sentido dos termos virtualização e virtual. O primeiro possui mais valor utilizado figurativamente, como resultado da atualização com expectativas a novas atualizações. O segundo é ontologicamente aplicável aos objetos de sistemas informáticos que podem ser atualizados. Para aqueles atualizáveis apenas como imagens, a aplicação do termo exige concessões ontológicas. Acreditamos que esta revisão possibilita uma releitura mais coerente das ideias de Lévy acerca das implicações do surgimento das tecnologias digitais da informação comunicação e expressão (TICE).

Palavras-chave: Virtual; Virtualização; Real; Pierre Lévy; Gilles Deleuze.

INTRODUÇÃO

Em *O que é o virtual?*, de 1995, Pierre Lévy (2011) nos traz o conceito filosófico de virtual o diferenciando do possível, tomando como referência a filosofia escolástica e o livro *Diferença e Repetição*, de Gilles Deleuze (2006). Em *Cibercultura*, de 1997, reafirma o conceito filosófico e adiciona dois outros: o corrente e o técnico. Debruçamo-nos, aqui, sobre o conceito filosófico, mais trabalhado na primeira obra, objeto principal deste estudo. Nela, Lévy também define um processo ao qual dá o nome de virtualização e

discorre sobre suas implicações. Conforme argumentaremos a seguir, algumas aplicações do termo virtual não estão em consonância com o conceito presente em Deleuze. A definição de virtualização, por sua vez, é contraditória ao conceito de virtual da filosofia escolástica.

Não poderíamos discutir apropriadamente o virtual de Lévy sem traçar paralelos com a ontologia da diferença de Deleuze, uma vez que nela está discutido o conceito que ele aplica ao virtual e que Lévy toma emprestado. Por esse motivo, iniciamos nossa discussão com uma breve apresentação da ontologia de Deleuze e sua inserção no contexto histórico da filosofia. Em seguida, abordaremos os problemas ontológicos que visualizamos na obra de Lévy, os correlacionando à Deleuze e Henri Bergson (1999). Por fim, procuramos redefinir o conceito de virtual à luz da discussão apresentada.

A ONTOLOGIA DA DIFERENÇA DE DELEUZE

A questão da identidade é um dos maiores problemas da filosofia, tendo sido descrita de diversas maneiras ao longo da história. De modo simples, pode ser assim colocada: o que torna algo aquilo que é e não outro algo qualquer? Sobre ela se debruçaram grandes pensadores ao longo dos séculos e ainda permanece sendo objeto para grandes debates ontológicos. Heráclito, que viveu entre os séculos VI a.C. e V a.C., argumenta que o constituinte das identidades é o próprio estado de fluxo, de constante mudança, colocando a questão da seguinte forma: “você não poderia pisar duas vezes no mesmo rio; pois outras e ainda outras águas estão sempre fluindo nele” (CHISHOLM, 2013, p.89, *tradução nossa*).

Por colocar a questão em torno de um constante estado de fluxo e impermanência, Heráclito pode ser considerado o primeiro filósofo a se aproximar de uma ontologia da diferença. Se contrapondo a ele, Parmênides afirma a autoidentidade, e não a diferença, como a base do pensamento filosófico. Para ele, o que é, é, e não pode não ser. O que não é, não é, e não pode ser. Isso seria verdade tanto para objetos físicos como objetos do pensamento, pois até mesmo para que seja pensado, algo deve existir ainda que como objeto de pensamento. Ser seria algo eterno e imutável (CISNEY, 2019).

Outro célebre exemplo da colocação do problema foi enunciado por Plutarco, por volta do séc. I d.C., no que ficou conhecido como o *Paradoxo do Navio de Teseu*, em referência ao legendário herói grego que em viagem à ilha de Creta mata o Minotauro:

O navio no qual Teseu velejou com os jovens e retornou em segurança, o galé de trinta remos, foi preservado pelos Atenenses até o tempo de Demétrio Falero. Eles retiravam as madeiras antigas de tempos em tempos, e as substituíam por outras novas e boas, de modo que a embarcação se tornou um exemplo ilustrativo para os filósofos na discussão da questão do crescimento, alguns declarando que a embarcação continuava a mesma, outros que não (PLUTARCO, 1914, p.49, *tradução nossa*).

Em outra variação, proposta por Thomas Hobbes, as partes retiradas são reordenadas exatamente na mesma posição em que estavam, formando novamente um navio (CHISHOLM, 2013). A pergunta que se faz é: qual deles seria o navio de Teseu, o que teve partes substituídas gradativamente ao longo do tempo (e que restou apenas com partes novas) ou aquele reconstituído a partir das partes originais? Em termos filosóficos, a condição de suficiência primária para a identidade é a continuidade da forma ou a identidade das partes?

Descartes, na linha ontológica de Parmênides, se inclina para responder à questão em termos de identidade das partes. As propriedades estariam associadas a uma “essência” que ele chama de substância:

Nós não temos conhecimento imediato das substâncias [...] as sabemos somente por percebermos certas formas ou atributos que não podem existir exceto pertencendo a algo; e nós chamamos a coisa a qual pertencem uma substância (BENNET, 2007, p.60, *tradução nossa*).

A solução dada por Descartes não encerra o problema, tampouco o faz o estudo aprofundado das substâncias ou elementos químicos. Os químicos enxergam as substâncias como um modo conveniente de apresentar e refletir sobre um grupo de propriedades. Eles “traduziram a linguagem das percepções sensoriais para a linguagem do pensamento, e, para as propriedades daquelas substâncias que ainda não foram decompostas, utilizaram a expressão mais fértil, propriedades atômicas” (MUIR, 1913, p.183, *tradução nossa*). O termo átomo é empregado em sua acepção original, diferente da atual. Conforme postulado por Demócrito cerca de quatrocentos a quinhentos anos antes de Cristo, átomos seriam partículas imutáveis, indestrutíveis e impenetráveis, a menor partícula da matéria (MUIR, 1913). Sabe-se hoje que o que denominamos átomos são compostos por partículas menores, fugindo ao conceito original.

Ao final de seu livro, *A Estória da Alquimia e os Primórdios da Química*⁶, Muir (1913) relata a descoberta, à época recente, do fenômeno da radioatividade. Dentre os raios

⁶ *The Story of Alchemy and the Beginnings of Chemistry*, no original.

emitidos pelo elemento Rádio, um é descrito como partículas eletrificadas, cada uma aproximadamente mil vezes mais leve que um átomo de hidrogênio, se movendo a pulsações quase tão rápidas quanto a luz, denominadas elétrons. Por fim, cita o modelo teórico que havia sido criado por Thomson como uma tentativa para explicar a decomposição desse elemento que desafiava o modelo tradicional de átomo.

A história de descoberta do elétron é relevante para nós pelo seguinte: o elétron não foi identificado e em seguida se teve conhecimento da propriedade da eletronegatividade, mas justamente o contrário - se teve conhecimento de sua eletronegatividade e então se inferiu a existência de uma partícula, que se convencionou chamar de elétron. Retornamos, portanto, ao problema da identidade. Se consideramos que o elétron só se faz perceber, só mostra sua identidade, quando em uma relação (entre elétrons, entre elétron e partículas carregadas positivamente), o que pressupõe identidades, como definir a identidade com base nessa relação sem cair em um argumento circular? Uma das saídas é aceitar aprioristicamente a autoidentidade como sugere Parmênides.

Um caminho alternativo é tentar desenvolver uma ontologia baseada na diferença e não em identidades, e a esta empreitada se lança Deleuze em *Diferença e Repetição*. Nesse livro, a diferença é posta como elemento não identitário e variável, que se dá nas situações de limitação ou oposição, que supõem:

[...] um formigamento de diferenças, um pluralismo de diferenças livres, selvagens ou não domadas, um espaço e um tempo propriamente diferenciais, originais, que persistem por meio das simplificações do limite ou oposição (DELEUZE, 2006, p.86).

A diferença, para Deleuze (2006, p.313), não é a mesma que percebemos na experiência sensível, “não é o diverso [...] mas aquilo pelo qual o dado é dado”. Deleuze busca encontrar uma condição genética diferencial da experiência real. Para isso, isola dois conceitos: *diferença em si mesma*, que é a diferença metafisicamente primária, livre de identidades; e *repetição por si mesma*, que seria aquela livre de ser a repetição de uma identidade, sendo a repetição da condição genética diferencial da experiência real (SMITH; PROTEVI, 2015).

A individuação é produzida por meio da atualização de um campo virtual de multiplicidades. O conceito de virtual de Deleuze (2006) é bem ilustrado neste trecho:

O virtual não se opõe ao real, mas somente ao atual. O virtual possui uma plena realidade enquanto virtual [...] O virtual deve ser mesmo definido como uma estrita parte do objeto real - como se o objeto tivesse uma de suas partes no

virtual e aí mergulhasse como numa dimensão objetiva [...] A realidade do virtual consiste nos elementos e relações diferenciais e nos pontos singulares que lhes correspondem. A estrutura é a realidade do virtual. Aos elementos e às relações que formam uma estrutura devemos evitar, ao mesmo tempo, atribuir uma atualidade que eles não têm e retirar a realidade que eles têm. Vimos que um duplo processo de determinação recíproca e de determinação completa definia essa realidade: em vez de ser indeterminado, o virtual é completamente determinado (DELEUZE, 2006, p. 294).

O fragmento expressa a concepção de que os objetos possuem duas partes: a virtual, estrutura composta de elementos e relações diferenciais e os pontos singulares correspondentes; e outro determinada pela atualização. Para dar conta do que é ser completo e determinado, como afirma ser o virtual, ao mesmo tempo em que é apenas parte do objeto, Deleuze faz referência às respostas de Descartes aos questionamentos de Arnauld sobre sua obra *Meditações*. Recorremos a elas para melhor compreender essa relação, a partir do apanhado dos originais feito por Bennet (2007).

Descartes considera como coisa completa “uma substância dotada de formas e atributos que bastam para que eu reconheça que é uma substância” (BENNET, 2007, p.60, *tradução nossa*). Cabe ressaltar que “incompleta”, em outro sentido, é a substância que juntamente a outra forma uma unidade maior. Quando separada, portanto, seria incompleta, mas apenas na medida de comparação com o todo. Descartes traz como exemplo a mão, que faz parte do corpo, sendo incompleta se separada deste, mas completa em si mesma.

A repetição é, por sua vez, o retorno da atualização de multiplicidades em cada evento de individuação. Ela é efêmera, se desfaz à medida que se faz. Conforme afirma Deleuze (2006):

Como conduta e como ponto de vista, a repetição diz respeito a uma singularidade não permutável, insubstituível. Os reflexos, os ecos, os duplos, as almas não são do domínio da semelhança ou da equivalência; e assim como não há substituição possível entre gêmeos idênticos, também não há possibilidade de se trocar de alma. Se a troca é o critério da generalidade, o roubo e o dom são os critérios da repetição. Há, pois, uma diferença econômica entre as duas. Repetir é comportar-se, mas em relação a algo único ou singular, algo que não tem semelhante ou equivalente. Como conduta externa, esta repetição talvez seja o eco de uma vibração mais secreta, de uma repetição interior e mais profunda no singular que a alma (DELEUZE, 2006, p.19-20).

Para Deleuze, não há no mundo identidade, semelhança ou igualdade fundamental. Quando falamos de repetição estamos falando do retorno da atualização de uma multiplicidade que, embora nos pareça o mesmo, em última análise não é. Viveríamos num

mundo de eterno retorno, de eterna volta das identidades, uma vez que não há a permanência delas.

A identidade observada na experiência é resultado da própria atualidade. Como campo genético do atual, por sua vez, o virtual não se confunde com ele. Não pode, portanto, ter identidade, devendo ser um campo puramente diferencial. A este campo Deleuze se refere como multiplicidade, termo emprestado de Bergson. A palavra é empregada como substantivo, posto que se fosse predicativa seria ontologicamente problemática (múltiplo, para que tenha sentido como adjetivo, supõe a existência da unidade, que possui identidade) (SMITH; PROTEVI, 2015).

Deleuze recorre à explicação de Hume para casos idênticos ou semelhantes que se dariam por uma junção na imaginação, que contrairia os eventos. Esta seria a origem da repetição. O presente vivido, ou vivo, é constituído por essa síntese e é nele que se constitui o passado, como instantes contraídos, e o futuro, como expectativa ou antecipação nessa contração (DELEUZE, 2006). Essa visão temporal deve muito a Bergson (1999), para quem:

Esse presente consiste em grande parte no passado imediato. Na fração de segundo que dura a mais breve percepção possível de luz, trilhões de vibrações tiveram lugar, sendo que a primeira está separada da última por um intervalo enormemente dividido. A sua percepção, por mais instantânea, consiste portanto numa incalculável quantidade de elementos rememorados, e, para falar a verdade, toda percepção já é memória. Nós só percebemos, praticamente, o passado, o presente puro sendo o inapreensível avançado do passado a roer o futuro (BERGSON, 1999, p. 175-176).

Feita a apresentação inicial dos principais conceitos que interessam à nossa discussão, contidos em Deleuze (2006) – ausência de identidade, eterno retorno, virtual como multiplicidades componentes da realidade – passamos a pontuar os problemas ontológicos que visualizamos na obra de Lévy.

PROBLEMA 1: A REDUÇÃO DO VIRTUAL AO POSSÍVEL NOS SISTEMAS INFORMÁTICOS

Lévy (2011) inicia sua definição de virtual recorrendo à origem etimológica da palavra virtual, advinda de *virtus*, sinônimo de força ou potência⁷. Recorrendo à filosofia escolástica, o autor afirma que é virtual aquilo que existe em potência, mas não em ato. O

⁷ *Puissance*, no original.

virtual tenderia a atualizar-se, sem ter passado à concretização efetiva ou formal. Não estaria em oposição, portanto, ao real, posto que existindo como potência, mas sim ao atual. Virtualidade e atualidade seriam apenas duas maneiras de ser diferentes.

O conceito de potencialidade⁸ para Aristóteles está relacionado à mudança, ou *kinesis*. Quando há alteração nas propriedades de uma substância se diz que houve a atualização de uma potencialidade. Não é necessário que a ação se efetive para que se conceba a potência. Alguém que possua habilidades de carpintaria, por exemplo, não necessita realizar a ação de moldar a madeira para que seja chamado de carpinteiro. Tampouco é necessário a alguém possuir a habilidade para que se possa dizer que é um carpinteiro “em potência”. Tanto na aquisição da habilidade quanto no emprego dela, a potência se refere ao atual, seja aquisição atual ou uso atual. A atualização de uma potencialidade em uma habilidade é também uma nova potencialidade, uma vez que aquele que a detém agora pode efetuar outras atualizações (AUDI, 1999). Lévy (2011) recorre a outro exemplo para explicar a atualização:

a árvore está virtualmente presente na semente [...] o problema da semente, por exemplo, é fazer brotar uma árvore. A semente "é" esse problema, mesmo que não seja somente isso. Isto significa que ela "conhece" exatamente a forma da árvore que expandirá finalmente sua folhagem acima dela. A partir das coerções que lhe são próprias, devera inventá-la, coproduzi-la com as circunstâncias que encontrar (LÉVY, 2011, p.15).

Lévy distingue virtual de possível recorrendo ao livro *Diferença e Repetição* de Deleuze (2006, original de 1968). Essa distinção é fundamental para sua tese, motivo pelo qual a transcrevemos a seguir:

O possível já está todo constituído mas permanece no limbo. O possível se realizará sem que nada mude em sua determinação nem em sua natureza. É um real fantasmático, latente. O possível é exatamente como o real: só lhe falta a existência. A realização de um possível não é uma criação, no sentido pleno do termo, pois a criação implica também a produção inovadora de uma ideia ou de uma forma. A diferença entre possível e real é, portanto, puramente lógica. Já o virtual não se opõe ao real, mas sim ao atual. Contrariamente ao possível, estático e já constituído, o virtual é como o complexo problemático, o nó de tendências ou de forças que acompanha uma situação, um acontecimento, um objeto ou uma entidade qualquer, e que chama um processo de resolução: a atualização (LÉVY, 2011, p.15-16).

⁸ Não confundir com a diferenciação feita por Lévy entre potência (*puissance*), ligada ao virtual, e potencial (*potentielle*), ligado ao possível.

O conceito de possível em Deleuze já se encontrava expresso na obra de Henri Bergson, uma de suas referências teóricas. Quando falamos de possível, tendemos a pensar nele como “menos” que o real. Bergson (1946) argumenta o contrário. Há mais na ideia de possível. Primeiro pensamos o real o “jogando” para o passado e só aí podemos conceber o possível. Seria o real que forma o possível e não o contrário. Deleuze e Bergson sustentam a posição de desconectar o real empírico de uma realidade matemática, tentativa do universo probabilístico, resgatando a hipótese de criação verdadeira ao substituir o campo de possíveis pelo virtual.

Lévy utiliza o exemplo da semente para demonstrar o par virtual-atual e mais à frente no livro o contrapõe ao par possível-real, representado pela execução de um programa informático que, nas palavras dele, seria “puramente lógico”. Aí reside o primeiro problema ontológico na aplicação do conceito. O virtual de Deleuze em *Diferença e Repetição* é parte da realidade, não havendo distinção neste ponto entre modalidades de sistemas ou objetos.

Temos que os componentes do sistema informático – processador, memória, dispositivos de entrada e saída, etc – possuem todos uma dimensão virtual e uma atual. Ontologicamente, sua execução não é puramente lógica senão em algum sentido figurado, como metáfora. Está, pois, em condição análoga ao exemplo da semente. Em que pese a maior indeterminação no caminho percorrido pela semente até virar árvore, esta não reside em uma questão ontológica, mas na maior complexidade do sistema a ser atualizado, qual seja, o desenrolar do “programa genético” frente ao ambiente que atua nele e sofre a atuação dele no decorrer do crescimento. Ao afirmar que a execução de um programa informático está dentro da problemática do par possível-real, Lévy reduz a virtualidade presente na realidade dos sistemas informáticos.

PROBLEMA 2: A VIRTUALIZAÇÃO COMO ELEVAÇÃO À POTÊNCIA

Em oposição à atualização, Lévy descreve a *virtualização* como seu caminho inverso, uma “elevação à potência” de algo que antes resolvido, atualizado, passou a se tornar um campo problemático do qual pode derivar inovadoras respostas. Para explicar essa dinâmica, Lévy cita uma empresa com funcionários e estrutura fisicamente situados e que passa a operar por tele trabalho.

Essa referência é problemática. Se considerarmos a empresa como o objeto físico atualizado, cujas partes menores são o prédio, funcionários e itens espaço-temporalmente

localizados, ela nunca deixou de possuir uma dimensão virtual. O mesmo vale para suas partes. O virtual está sempre atualizando o objeto dentro de um eterno retorno. Falar em virtualização de um objeto físico atualizado é problemático porque foge à dinâmica temporal de contração do passado no presente e antecipação do futuro. Seria preciso pensar em uma reversibilidade da contração em direção ao passado. O atual só diz do virtual aquilo que exprime. A dimensão da multiplicidade é, por natureza, incognoscível. Não há, portanto, capacidade no atual de trilhar o sentido inverso, assim como, analogamente, não se trilha inversamente o caminho da entropia de um sistema.

A virtualização que podemos conceber a partir de uma atualização é a mesma que, resgatando o sentido de Aristóteles, ocorre quando uma pessoa adquire uma habilidade e a partir dela é capaz de realizar novas efetuações. Uma pessoa que atualiza sua potência de tornar-se carpinteiro, tem nessa atualização a criação da potência de moldar um pedaço de madeira. Se olharmos a montante (apropriando-nos da retórica de Lévy) temos a atualização da potência de tornar-se carpinteiro. Se olharmos a jusante, temos a virtualização no sentido de criação da potência de moldar um pedaço de madeira, mas não no sentido de revés da atualização.

Imaginando que o pedaço de madeira possa ser restaurado a seu estado anterior por cuidadoso artesão que restitua cada fibra às posições que ocupavam, ainda assim não poderíamos falar em caminho inverso da atualização em um sentido forte. Se há naquele objeto, separado do todo, a “restauração” da potência de tornar-se moldado novamente, esta não é nada mais que o resultado da atualização da capacidade do artesão de reposicionamento das fibras. Não se pode reverter o caminho, apenas o resultado às “custas” de outras atualizações. Virtualizar não pode ser o caminho inverso, pelo contrário, a virtualização só faz sentido no caminho adiante.

O problema persiste se considerarmos a empresa como ideia, estrutura de multiplicidades atualizada na mente. A ideia “empresa” novamente apresenta uma dimensão virtual e outra atual. Pouco muda quanto ao que afirmamos para o objeto físico “empresa”. Talvez a nuance que mereça destaque se dá quando a ideia é colocada extrinsecamente, em algum meio como papel ou *display* de computador. Não nos ateremos aos mínimos detalhes dos processos atualizantes que esta ação encerra, apenas nos limitaremos a afirmar sua mediação. A ideia empresa é atualizada na mente (não se excluindo atualizações inconscientes) e essa atualização gera nova virtualidade: a capacidade de atualização para o papel. A mão deste modo procede e o resultado é uma atualização mediata da ideia. Se há impressão de “desgarramento” entre o atual no papel e

o virtual que subjaz a ideia é porque não estão diretamente ligados. Daí a “perenidade” dessa atualização que “foge” ao eterno retorno.

Lévy (2011, p.38) reconhece esse desgarramento ao discorrer sobre a escrita: “virtualizante, a escrita dessincroniza e deslocaliza [...] ela fez surgir um dispositivo de comunicação no qual as mensagens muito frequentemente estão separadas no tempo e no espaço de sua fonte de emissão, e portanto são recebidas fora do contexto”. Lévy fala em virtualização pela escrita e não em atualização, como colocamos anteriormente. Essa relação é contraditória se considerarmos a virtualização como caminho oposto ao da atualização. Mais congruente seria falar que o escrita atualiza. A virtualização no sentido empregado por Lévy tem reduzido valor ontológico, servindo antes como figura de linguagem às novas potências que a atualização para a escrita ou meio digital confere.

PROBLEMA 3: A DESTERRITORIALIZAÇÃO DO VIRTUAL

Quando trabalha a virtualização, Lévy (2011) lhe confere a capacidade de desterritorializar coletividades, atos e informações. Elas passariam a ocupar “lugar algum”, apesar de não serem “totalmente independentes do espaço-tempo de referência, uma vez que devem sempre se inserir em suportes físicos e se atualizar aqui ou alhures, agora ou mais tarde” Lévy (2011, p.21). Se formos aceitar esse conceito fora de um sentido figurado, estaremos conferindo ao processo a capacidade de gerar entidades reais que prescindem da dimensão atual da realidade, ou seja, um “virtual puro”. O virtual é, contudo, pela própria definição de Deleuze (2006, p. 294), “uma estrita parte do objeto real”. É completo e determinado, mas o é enquanto parte, conforme discutido em sessão anterior.

Ontologicamente, o processo da escrita, assim como da digitalização, não desterritorializa as entidades, mas antes as reterritorializa. Essa é a natureza da atualização. O presente vivido, na dinâmica Bergson-Deleuzeana, é contração do passado em direção ao futuro, não o contrário. Isso implica que a virtualização como “caminho oposto” ao da atualização teria de subverter essa ordem, transformando o presente numa contração do futuro em direção ao passado. Ainda que fôssemos admitir tal cenário, o que escapa ao nosso referencial, não é este o sentido empregado por Lévy.

PROBLEMA 4: A MENTALIDADE COMO CONDIÇÃO DA DIMENSÃO VIRTUAL DO TEXTO

Ao tratar da virtualização do texto, Lévy (2011) defende que filosoficamente falando, as imagens exibidas por sistemas informáticos em uma tela estão mais relacionadas ao par possível-real que ao virtual-atual (incongruência já discutida anteriormente). Em seguida, defende o autor que: “o virtual só eclode com a entrada da subjetividade humana no circuito, quando num mesmo movimento surgem a indeterminação do sentido e a propensão do texto a significar, tensão que uma atualização, ou seja, uma interpretação, resolverá na leitura” Lévy (2011, p. 40).

Novamente, temos um distanciamento ontológico com o conceito de virtual de Deleuze (2006) em *Diferença e Repetição*. No mesmo capítulo em que apresenta categoricamente o virtual e o distingue de possível, Deleuze (2006) lança mão de um exemplo correlacionável ao de Lévy:

Quando a obra de arte exige uma virtualidade na qual mergulha, ela não invoca qualquer determinação confusa, mas a estrutura completamente determinada, formada por seus elementos diferenciais genéticos, elementos “tornados virtuais”, “tornados embrionários”. Os elementos, as variedades de relações, os pontos singulares coexistem na obra ou no objeto, na parte virtual da obra ou do objeto, sem que se possa assinalar um ponto de vista privilegiado sobre os outros, um centro que seria unificador dos outros centros (DELEUZE, 2006, p. 295).

Os termos destacados por Deleuze indicam a utilização em sentido figurado. Tomados literalmente, se aproximariam do conceito de virtualização de Lévy (2011). Acreditamos, contudo, que o efeito é exatamente o inverso: para Deleuze os elementos em uma obra de arte teriam se “tornado virtuais” no estrito sentido de que a atualização dos elementos constitutivos da obra pelo autor (como a configuração das tintas, por exemplo) ocasionou novas potências ou virtualidades. Jamais como a tomada do “caminho inverso” da atualização, como sugeriu Lévy (2011). Caso admitíssemos isso, estaríamos nos aproximando da adoção de uma postura idealista ao considerar a subjetividade humana como condição de existência dessa dimensão da realidade, qual seja, a virtualidade. Deleuze reafirma o pertencimento desses elementos à obra, ao dizer que eles “coexistem na obra ou no objeto, na parte virtual da obra ou do objeto”.

Em sua construção teórica da realidade, Bergson (1999) rejeita as posturas do realismo material e do idealismo e busca explicar de forma alternativa a relação entre o

mundo físico e a consciência. Para tanto, rejeita a noção de um tempo composto por uma sequência de instantes acumulados em forma de passado. Em primeiro lugar, não haveria na experiência concreta um instante isolado, posto que a percepção do presente exige uma duração mínima. Segundo, havendo uma duração mínima, o presente vivido estaria impregnado de passado. Pensá-lo independente disto seria conceber uma percepção pura, diferente da vivida. Esta afirmação se torna ontologicamente ainda mais relevante ao considerarmos que Bergson adota a postura de que a memória não poderia estar localizada nas estruturas cerebrais, mas seria antes o próprio passado vivido. Memória, em sua condição pura, estaria mesmo no plano do espírito. Por outro lado, ao acessar a memória, estaríamos contraindo o passado vivido no presente em forma de percepção que a materializa. Bergson (1999) assim encerra o problema:

Ao tomarmos então a percepção em sua forma concreta, como uma síntese da lembrança pura e da percepção pura, isto é, do espírito e da matéria, encerrávamos em seus limites mais estreitos o problema da união da alma com o corpo (BERGSON, 1999, p. 285).

É importante destacar que Bergson considera a percepção uma “seleção”. O papel da consciência seria o de “extrair do todo real uma parte virtual, escolher e separar enfim o que a interessava; e, se, por esta seleção inteligente, ela testemunha efetivamente que deve ao espírito sua forma, é da natureza que obtém sua matéria” (BERGSON, 1999, p. 290). A própria natureza seria também consciência “latente, uma consciência cujas manifestações eventuais estariam reciprocamente em xeque e se anulariam no momento preciso em que quisessem aparecer” (BERGSON, 1999, p. 290).

Deleuze também rejeita o realismo material e o idealismo e, ao longo de *Diferença e Repetição* toma em vários momentos caminho semelhante ao de Bergson. A própria noção de virtual estabelecida como um campo de multiplicidades indeterminadas, componentes do real, é devedora da noção de memória não materializada nas estruturas cerebrais e de natureza consciência latente, sujeita a se revelar ante as intencionalidades da consciência individual.

Percebemos, portanto, que a virtualidade em Deleuze, embora intimamente ligada à consciência, não é produto da consciência humana, mas antes a condição geradora da atualidade que a ela se apresenta, sem com ela se confundir. Reafirmamos, portanto, o desacordo com o uso feito por Lévy. Maior ainda é o distanciamento do emprego da ideia de memória de Bergson, quando afirma que “o aparecimento da escrita acelerou um

processo de artificialização, de exteriorização e de *virtualização da memória* que certamente começou com a hominização” (LÉVY, 1999, p. 38). Aqui, a atualização da memória em papel é a causa da virtualidade da memória, enquanto em Bergson a memória é ela mesma fonte de virtualidade.

REPOSICIONANDO O CONCEITO DE VIRTUAL E VIRTUALIZAÇÃO

O conceito de virtual como potência, mais estritamente relacionado a *virtus*, nos parece adequado para descrever a capacidade de determinada coisa em se transformar ou transformar outra por meio da atualização. A virtualização como caminho inverso da atualização, contudo, nos parece ter função mais profícua como figura de linguagem, a menos que se conceba o tempo no sentido do futuro para o passado. Como tal, a virtualização nada mais é que o reconhecimento do efeito dado à atualização de criar alterações que, por sua vez, permitem novas atualizações.

Com relação às origens ontológicas do virtual, entendemos que a proposta de Bergson se mostra problemática. Em Bergson, temos que a multiplicidade do virtual está demais imbrincada com a noção de que a memória se encontra “desgarrada” do cérebro. Predominante hoje é o entendimento de que as lembranças se encontram mais profundamente relacionadas à estrutura cerebral do que era suposto à época da escrita de *Matéria e Memória*. Ainda que o problema da consciência permaneça sendo um dos maiores problemas filosófico-científicos da humanidade, a explicação de Bergson para sua relação com o passado vivido perde força.

Deleuze é menos categórico quanto às possíveis relações entre as bases neurofisiológicas da memória e a consciência humana se agarrando, portanto, de maneira mais “solta” à dinâmica proposta por Bergson. Sua busca por uma ontologia independente de identidades é uma empreitada complexa, mas que ganha nova justificativa quando consideramos os fenômenos quânticos.

Quando adentramos esse domínio, nos deparamos com entidades subatômicas que não se comportam da mesma forma que os objetos macroscópicos aos quais estamos habituados. A noção de identidade e diferença para “partículas” quânticas como o elétron, conforme apontado por Schrödinger (BECKER; KRAUSE, 2007), não são aplicáveis. Isso ocorre porque não é possível precisar se uma partícula quântica observada em determinada posição é a mesma que outra, observada em seguida. Não é possível estabelecer uma continuidade para a partícula, devendo a observação ser tratada como um evento isolado, o

que torna problemático o próprio conceito de identidade. Nesse cenário, os recursos da lógica e da matemática tradicionais se tornam inadequados:

Tendo em vista que a nossa linguagem é uma linguagem de objetos, formada a partir de nosso contato e experiência com o nosso contorno, que em princípio é composto por objetos individualizáveis, como vimos acima, referimo-nos a eles por nomes, ou outras formas de identificação, como coordenadas [...] a física quântica, para dar conta da indiscernibilidade usando a linguagem da lógica e da matemática tradicionais, vê-se obrigada a postular condições de simetria, que fazem com que a distinção inicialmente atribuída às entidades por força das necessidades da linguagem, se perca na sequência, ou melhor, seja mascarada: iniciamos supondo que as entidades são indivíduos, identificados por nomes, e depois usamos princípios de simetria para dizer que eles não são indivíduos, que não têm individualidade. Isso é de fato bastante artificial, mas não há como evitar coisas desse tipo, exceto se estivermos dispostos a mudar radicalmente a base lógica e matemática da teoria quântica para uma que comporte não-indivíduos desde o princípio como entidades metafisicamente aceitáveis (BECKER; KRAUSE, 2007, p.29-30).

Se aceitarmos os múltiplos estados do elétron como propriedade da matéria, podemos concebê-los como um virtual de verdadeiras multiplicidades. A cada momento, os átomos se atualizariam em um constante devir, dentro do eterno retorno. Os elementos constituintes dos objetos, por sua vez, compostos por esses átomos que se atualizam hora em um estado, hora em outro, por conseguinte, também estão retornando a cada momento, atualizados a partir de suas virtualidades atômicas.

Por extensão, a memória (ou sua parcela, conforme se conceba, que fisicamente está registrada no cérebro) também está sujeita a um elemento genético de multiplicidades. A percepção, enquanto fenômeno associado a um passado registrado (nos afastando da memória vivida de Bergson) também está sujeita às mesmas multiplicidades.

Sobre este último ponto, cabe ressaltar que o suposto por Bergson de que a percepção é uma “contração do passado” projetada rumo ao “futuro”, encontra alguma relação com a ciência fisiológica atual, embora partam de pressupostos distintos. O processo da visão não é entendido como algo linear, simples e unidirecional, mas envolve diferentes mecanismos e caminhos, podendo ser influenciada por outros sentidos e processos internos:

Ao invés de reproduzir imagens dentro do cérebro, os resultados das pesquisas indicam que o que percebemos é uma versão sistematicamente alterada da realidade. Parte do que ‘vemos’ são as oportunidades para e os custos da ação sobre o ambiente. Por exemplo, o chão é percebido relativo à sua caminhabilidade e aos custos bioenergéticos que incorrem nessa ação. No entanto, essas influências não visuais não estão limitadas a fatores relacionados à energia: emoções também são fonte de informações não visuais que afetam a percepção visual (ZADRA; CLORE, 2011, p.680).

Aceito esse elemento gerador de multiplicidades, independente de sua natureza, pode-se conceber um virtual como parte do real e que permita a fuga de um universo estritamente determinístico. Pode ele, então, atualizar esta ou aquela situação futura sem fugir à sua precisa determinação enquanto estrutura.

Para explicar o virtual como ferramenta conceitual para se referir a sistemas informáticos, sem se afastar do sentido filosófico aqui trabalhado, utilizaremos alguns exemplos. Ao registrar a imagem de uma árvore em uma câmera digital, eu atualizo a sua virtualidade imagética na memória da câmera fotográfica. Se, a partir da memória, a câmera a exibe na tela ou eu a imprimo, posso falar que na memória havia uma imagem ou foto virtual de árvore que foi atualizada. Falar que a imagem da árvore mostrada na tela é uma árvore virtual, só faz sentido figuradamente, da mesma forma como ao olhar o desenho de uma árvore eu posso falar que estou vendo uma árvore. Isto porque a imagem da árvore na tela da câmera não tem, *a priori*, a potência de se transformar em árvore. Digo *a priori* porque se num cenário futurístico pudermos, a partir da imagem, realizar uma impressão 3D com células vegetais de modo a materializá-la, poderei falar que é uma árvore virtual caso a minha intenção seja fazer referência a este fato.

Conforme concebamos a origem da memória e da percepção, também poderemos fazer uso do termo. Se, por via da memória, eu trago à mente a ideia de uma cadeira e consideramos que eu tenha a habilidade necessária para modificar a madeira da árvore do exemplo de modo a transformá-la na cadeira idealizada, podemos dizer que aquela ideia é uma cadeira virtual.

Se nosso pressuposto é o de que a imagem de cadeira pode se atualizar na mente a partir de bases materiais cerebrais, a própria imagem mental de cadeira pode ser considerada uma cadeira virtual se a minha referência a ela é figurada, no mesmo sentido que o desenho de uma cadeira no papel “é” uma cadeira. A referência no caso está sendo o fato de eu poder atualizar novamente esta “cadeira” na mente. Se eu estiver falando daquilo que subsiste na estrutura cerebral, poderei falar em imagem mental virtual de cadeira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos e discutimos o conceito filosófico de virtual de Pierre Lévy à luz de Gilles Deleuze, principal referência utilizada por ele. Para que pudéssemos compreender de onde Deleuze partira para construir sua ontologia diferencial, recorreremos a Henri

Bergson. Enunciamos os principais problemas ontológicos e conceituais que identificamos, buscando discutir suas implicações. Foram eles: (1) a redução do virtual ao possível nos sistemas informáticos; (2) a virtualização como elevação à potência; (3) a desterritorialização do virtual; e (4) a mentalidade como condição da dimensão virtual do texto.

Concluíamos por uma readequação do sentido dos termos virtualização e virtual. Entendemos que o uso de virtualização como o caminho inverso da atualização é inadequado ontologicamente, sendo mais bem empregado figurativamente. O termo virtual, por sua vez, utilizado como potência atualizante a partir de multiplicidades, se mostra pertinente, feitas as devidas eleições acerca da natureza da realidade. Nesse sentido, nos distanciamos do modelo de relação entre realidade e consciência proposto por Bergson.

Por fim, apresentamos exemplos de como o termo pode ser utilizado para se referir a sistemas informáticos sem contradições ontológicas aparentes. Também propusemos seu uso para se referir a figuras do pensamento, feitas as devidas ressalvas epistemológicas.

Sendo uma revisão conceitual, nos detivemos prioritariamente em identificar contradições. Aquelas que apresentamos, conquanto enfraqueçam o sentido filosófico dado por Lévy, não invalidam o trabalho de reflexão do autor sobre os impactos das tecnologias digitais da informação comunicação e expressão (TICE) para a humanidade. Pelo contrário, acreditamos que ao se considerar o sentido da virtualização como figura de linguagem, a leitura do autor pode ser mais proveitosa.

REFERÊNCIAS

AUDI, Robert. **The Cambridge Dictionary of Philosophy**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

BECKER, Jonas; KRAUSE, Décio. Identidade, Individualidade e Quase-Conjuntos. **Revista Eletrônica Informação e Cognição**, v. 6, n. 2, 2007.

BENNET, Jonathan. **Objections to the Meditations and Descarte's Replies**. 2007. Disponível em: http://www.earlymoderntexts.com/assets/pdfs/descartes1642_2.pdf. Acesso em: 28 mai. 2017.

BERGSON, Henri (1999) **Matéria e Memória**. Tradução Paulo Neves. São Paulo: Martins Fontes. 298 p. Original de: 1939.

BERGSON, Henri. **The Creative Mind**. Tradução Mabelle L. Andison. Nova Iorque: The Philosophical Library, 1946.

CHISHOLM, Roderick M. **Person and Object**. Londres: Routledge, 2013. 230p. Publicação original: 1976.

CISNEY, Vernon W. **Differential Ontology**. 2019. Disponível em: <https://www.iep.utm.edu/diff-ont/>. Acesso em: 7 jan. 2019.

DELEUZE, Guilles. **Diferença e repetição**. Tradução Luiz Orlandi e Roberto Machado. 2. ed. Rio de Janeiro: Graal, 2006. 437 p.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual**. Tradução Paulo Neves. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011. Publicação original: 1995.

MUIR, M. M. Pattison. **The Story of Alchemy and the Beginnings of Chemistry**. Nova Iorque: Hodder and Stoughton, 1913. Publicação original: 1902.

PLUTARCO. **Plutarch's Lives**. Tradução Bernadotte Perrin. Londres: William Heinemann, 1914.

SMITH, Daniel; PROTEVI, John. **Gilles Deleuze**. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2015. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2015/entries/deleuze/>. Acesso em: 20 mai. 2017.

**Realidade Aumentada (RA) na Educação em
Ciências Biológicas e Ambientais: o Estado da Arte**

Versão em língua inglesa publicada em: Nuevas Ideas en Informática Educativa, v. 13, p. 272 - 280. Santiago de Chile. Disponível em: < <http://www.tise.cl/volumen13/TISE2017/31.pdf>>.

RESUMO

A miniaturização de *hardwares* e o aumento da capacidade computacional de grandes volumes de dados tornou possível a difusão da realidade aumentada (RA). Em educação, a RA tem estabelecido novas formas de visualizar informação, comunicar ideias e interagir com pessoas e conteúdo. Isso é particularmente importante na educação em biologia e ciências ambientais para representar fenômenos não facilmente observáveis a olho nu devido a seu tamanho diminuto ou natureza abstrata e, em alguns casos, para reduzir complexidade evitando sobrecarga cognitiva. Sendo uma tecnologia emergente, o desenvolvimento de aplicativos educativos com RA é bastante dependente de reflexões e investigações de experiências em andamento nas fronteiras do conhecimento. Essa necessidade orientou o presente estudo. Nosso objetivo foi estabelecer o estado da arte no uso de RA na educação em biologia e ciências ambientais. Desse modo, foi conduzida uma revisão sistemática, abrangendo os anos de 2012 a 2017, na base de dados da CAPES de pesquisas de estado da arte anteriores em educação (Passo 1) e pesquisas experimentais ou de desenvolvimento (Passo 2) em RA nos campos detalhados da biologia e ciências ambientais (ISCED-F 2013). Um total de cinco e nove artigos, respectivamente, foram selecionados nos passos 1 e 2. Nossos achados revelam que apesar da RA ter se mostrado uma ferramenta efetiva para a educação em biologia e ciências ambientais, estudos nestes tópicos são escassos, especialmente no desenvolvimento de aplicativos.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Realidade Misturada; Educação; Biologia; Ciências Ambientais.

ABSTRACT

Hardware miniaturization and increased computing capacity of great data volumes have made possible for Augmented Reality (AR) to become widespread. In education, AR is establishing new ways of visualizing information, communicating ideas and interacting with peers and subjects. This is particularly important in biology and environmental sciences education to represent phenomena not easily observable with the naked eye for its small size or abstract nature and, in some cases, to reduce complexity avoiding cognitive overload. Being an emergent technology, development of educational applications with AR relies greatly on reflection and investigation of ongoing experiences in the frontiers of knowledge. This necessity guided the present study. Our objective was to establish the state of the art in the usage of AR in biology and environmental sciences education. Therefore, we conducted a systematic review, covering a period between the years 2012 and 2017, on CAPES database, on both previous state of the art studies on education (Step 1), as well as experimental or development research (Step 2) on AR in the detailed fields of biology and environmental sciences education (ISCED-F 2013). A total of five and nine articles were selected in steps 1 and 2 respectively. Our findings reveal that although AR has shown to be an effective tool for biology and environmental sciences education, studies on these topics are still scarce, especially on application development.

Keywords: Augmented Reality; Mixed Reality; Education; Biology; Environmental Sciences.

INTRODUÇÃO

A realidade misturada (RM) pode ser entendida como um ambiente ou sistema que envolve a combinação de elementos reais e virtuais dentro de um *continuum* de realidade-virtualidade. Quando há predominância dos primeiros, temos a realidade aumentada (RA) e quando ocorre o oposto, a virtualidade aumentada (VA) (MILGRAM, P.; COLQUHOUN, 1999). Alguns autores estabelecem requisitos adicionais para classificação como RA, incluindo: interação em tempo real (AZUMA et al., 2001; KIPPER; RAMPOLLA, 2013); registro (alinhamento) dos objetos reais e virtuais (AZUMA et al., 2001); e operação e utilização em um ambiente tridimensional (KIPPER; RAMPOLLA, 2013).

Neste artigo, adotamos um conceito mais amplo, partindo da experiência individual da realidade – construída pela ocorrência de congruências durante a reconfiguração do nosso sistema nervoso como resultado de repetidas interações ao longo da vida (MATURANA, 2001) – alterada por meio da adição ou supressão⁹ de informação gerada por computador. O ponto crucial a se considerar quando da diferenciação entre RA e RV não é se há predominância de entidades *reais* ou *virtuais*¹⁰ em um dado momento, mas se o contexto geral de apresentação se relaciona majoritariamente àquele da experiência cotidiana ou a um cenário gerado por computador. Isso implica considerar a subjetividade individual. Em um *Head Mounted Display* (HMD), um modelo de carro em computação gráfica (CG), por exemplo, pode ocupar a maior parte ou até mesmo a totalidade do campo de visão, mas se o usuário pode analisar recursivamente a situação e inferir que ele é uma projeção sobre um substrato físico, como o chão da garagem, que está localizado dentro de uma casa, e assim por diante, estamos falando de RA.

Para criar experiências em RA, são normalmente necessários aparatos capazes de gerar estímulos sensoriais a partir de representações virtuais – como pistas visuais e auditivas – e apresenta-los em concomitância àqueles advindos de objetos reais. Esses normalmente incluem mecanismos de exibição (e. g., telas em HMD, computadores, *tablets* e *smartphones*), dispositivos de entrada (e. g., luvas, câmeras), e sistemas computacionais e de rastreamento (CARMIGNIANI et al., 2011).

Com a miniaturização dos hardwares e aumento na capacidade dos dispositivos computacionais de lidar com grande volume de dados, o uso da RA tem se ampliado em diversas áreas do conhecimento. Dentre os exemplos de aplicações, encontramos: visualização de estruturas corporais internas para suporte a operações cirúrgicas (TAMURA et al., 2006) e extração de sangue (LAGÜELA et al., 2017); apresentação de objetos virtuais para tratamento de fobias (BOTELLA et al., 2016); navegação marítima utilizando sistemas imersivos (GRABOWSKI, 2015); inspeção microscópica com imagem em lapso de tempo (BAEK et al., 2014); e fiscalização para conservação de áreas com a apresentação de camadas de informações sobrepostas a imagens de câmeras (PIERDICCA et al., 2016).

Também na educação a RA tem aumentado sua presença, notadamente por ajudar na formalização de ideias, constituindo uma nova forma de visualização, comunicação e

⁹ Também referida como realidade diminuída.

¹⁰ Em termos filosóficos, não necessariamente termos opostos. Virtual pode ser entendido como parte da realidade (DELEUZE, 2000). Neste artigo nós empregamos o termo no seu sentido mais comum para designar entidades geradas por computador.

interação com pessoas e informação (ZUFFO, 2012). Toda maneira inovadora de ensinar e aprender, por sua vez, demanda trabalhos de investigação para produção de meios e materiais específicos que possam atender às necessidades que se colocam à medida que são implantadas (LACERDA SANTOS, 2002).

Esforços nesse sentido têm sido empregados no ensino-aprendizagem com RA dentro e fora da educação formal, em diversos níveis, desde a educação infantil até o pós-graduação. Exemplos dessas iniciativas incluem: construção de narrativas com alunos do ensino fundamental (YILMAZ & GOKTAS, 2017); auxílio na instrução em bibliotecas (CHEN & TSAI, 2012); uso de jogos sérios na área de herança cultural em demonstrações e museus virtuais (ANDERSON et al., 2010); e utilização de robôs associados a objetos virtuais em laboratório remotos à distância em curso de engenharia elétrica (BORRERO et al., 2012).

Particularmente relevante para o ensino de ciências, está a possibilidade de utilização da RA para representação de fenômenos impossíveis de serem vistos a olho nu, simular situações potencialmente perigosas, e visualizar conceitos abstratos (WOJCIECHOWSKI & CELLARY, 2013). Apesar do crescente interesse por experiências com RA na educação em ciências, contudo, o corpo de conhecimento da área ainda é pouco consolidado. De modo geral, há uma escassez de trabalhos de revisão de literatura no uso pedagógico de RA (AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G., 2017).

Isso pode constituir um problema para o desenvolvimento de projetos nesse campo, uma vez que esse tipo de estudo é importante para: sumarizar evidências empíricas dos benefícios e limitações de métodos ou tecnologias específicas, identificar lacunas em pesquisas atuais para sugerir áreas de investigação futura, e fornecer subsídios para o posicionamento de novas atividades de pesquisa (KITCHENHAM, 2007).

O presente trabalho teve como objetivo preencher parte dessa lacuna. Para tanto, buscou-se delinear o estado da arte do uso de RA na área de Educação em Biologia e Ciências Ambientais - conforme descritas pela Classificação Internacional Normalizada da Educação (ISCED, na sigla inglesa) - por meio de uma revisão sistemática da literatura. As perguntas de pesquisa (PP) foram as que seguem:

- 1) PP1: Há estudos recentes na base de dados da CAPES sobre o estado da arte do uso de RA no uso educacional de RA e, caso haja, eles endereçam os campos detalhados da biologia e ciências ambientais (ISCED-F 2013)?

- 2) PP2: Quais são as principais tecnologias de sistemas de RA identificadas, suas aplicações, audiências, vantagens, limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras?
- 3) PP3: Quais são os estudos experimentais ou de desenvolvimento no uso de RA na educação em biologia e ciências ambientais na base de dados da CAPES e as matérias endereçadas (ISCED-F 2013)?
- 4) PP4: Quais são as principais tecnologias de sistemas em RA utilizadas, ferramentas de desenvolvimento, aplicações, público, local da instrução, vantagens, limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras?

PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

Realizamos uma revisão sistemática da literatura, entendida como “um meio de avaliação e interpretação de toda a pesquisa relevante disponível para uma pergunta de pesquisa particular, ou área de tópico, ou fenômeno de interesse” (KITCHENHAM, 2007, p.3, *tradução nossa*), utilizando-se um método rigoroso, confiável e auditável.

Elegemos a base de dados da CAPES para busca dos estudos primários pela qualidade e amplitude das mais de 38 mil publicações periódicas nacionais e internacionais que contém (CAPES, 2017), bem como pela presença de recursos avançados de busca. Os recursos de maior interesse para nossa pesquisa foram: tipo de material; local de busca nos trabalhos (título, autor, assunto ou qualquer dos anteriores); escolha e combinação de termos com operadores lógicos (*e*, e *ou*); período de publicação; idioma; e refinamento por revisão por pares e tópicos.

Considerando que as duas primeiras perguntas de pesquisa possuem um objeto diferente das últimas – quais sejam, respectivamente, estudos já realizados sobre o estado da arte e estudos experimentais ou de desenvolvimento – dividimos nossa pesquisa em duas etapas.

Etapa 1

O objetivo principal desta etapa foi identificar e qualificar a potencial existência na base de dados da CAPES de revisões recentes do estado da arte no uso educacional de RA. Os termos foram pesquisados em língua inglesa para direcionar maior número de estudos.

Estratégia de Pesquisa

Para focar em estudos do tipo estado da arte que envolvessem o uso de RA, nós criamos dois grupos de termos, conforme apresentado na Tabela 1. O primeiro grupo consiste do termo principal *state of the art* e dois outros relacionados, para aumentar o espectro de busca. O segundo inclui *augmented reality*, a tecnologia alvo, assim como o maior em hierarquia *mixed reality* e seu sinônimo menos conhecido *blended reality*.

Tabela 1 - Termos de busca na Etapa 1.

Grupo 1	Grupo 2
<i>State of the art; Cutting edge; Systematic review.</i>	<i>Augmented reality; Mixed reality; Blended reality.</i>

Fonte: elaborada pelo autor.

Cada termo no Grupo 1 foi pesquisado em combinação com cada termo do Grupo 2, como termos exatos e utilizando o operador lógico *e*, num total de nove buscas independentes. Nós limitamos nossa pesquisa a artigos revisados por pares, em uma tentativa de encontrar trabalhos científicos nas fronteiras da ciência, mais adequados aos nossos intentos. Utilizamos apenas palavras em língua inglesa uma vez que a maioria dos estudos científicos possuem um título ou resumo nesse idioma. Nenhum filtro automático de idioma foi adicionado e nenhuma restrição foi aplicada quanto à sessão a ser pesquisada dentro do artigo.

Como nosso objetivo era encontrar estudos recentes, nós limitamos a busca àqueles publicados entre janeiro de 2012 e 20 de setembro de 2017. Para restringir a busca àqueles relacionados à educação, nós posteriormente utilizamos esse tópico como ferramenta de refinamento dos resultados iniciais.

Crítérios de inclusão e exclusão

Crítérios de inclusão e exclusão foram usados para focar a análise em nossos objetivos e são apresentados como se segue.

1) Critérios de inclusão:

- a) o material inclui questão de pesquisa, objetivos, métodos e resultados;
- b) o estudo foca no uso de RA na educação;
- c) desenhado para apresentar uma revisão da literatura ou experiências.

2) Critérios de exclusão:

- a) não inclui pergunta de pesquisa, objetivos, métodos e resultados;
- b) a tecnologia em foco não combina elementos *reais* e *virtuais*;
- c) o estudo foca no uso de RA, mas não em educação;
- d) o estudo foca em educação, mas não em RA;
- e) não apresenta uma revisão.

Análise e seleção de dados

Após pesquisa de acordo com nossa estratégia estabelecida, títulos e resumos foram lidos e os critérios de inclusão e exclusão aplicados. Quando não se encontrava informação suficiente neles, artigos eram lidos por completo. Para os artigos selecionados, nós usamos as seguintes categorias de análise, escolhidas com base nas perguntas de pesquisa pertinentes a esta etapa.

1) Para PP1:

- a) tipo de estudo;
- b) campos e campos detalhados (se aplicável).

2) Para PP2:

- a) tecnologias de sistemas de RA identificadas;
- b) aplicações;
- c) públicos;
- d) vantagens;
- e) limitações;
- f) desafios.

Etapa 2

O objetivo principal desta etapa foi identificar e qualificar a potencial existência na base de dados da CAPES de pesquisas experimentais ou de desenvolvimento em educação em biologia e ciências ambientais.

Estratégia de Pesquisa

A Tabela 2 apresenta os termos de pesquisa nesta etapa. Assim como na Etapa 1, além de *augmented reality*, nós utilizamos os termos *mixed reality* e *blended reality*. Baseado nos campos detalhados da educação da *biologia* e das *ciências ambientais* (ISCED-F 2013), os termos do grupo 2 foram selecionados. Nós levamos em consideração as matérias como descritas no ISCED-F para tentar obter como retorno o maior número de resultados possíveis. Algumas matérias relacionadas, como bioquímica, não foram incluídas uma vez que eram classificadas em seus respectivos campos detalhados. Algumas variações adicionais dos termos foram incluídas para expandir a busca.

Tabela 2 - Termos de busca na Etapa 2.

Grupo 1	Grupo 2
<i>Augmented reality; Mixed reality; Blended reality</i>	<i>Bacteria*; Biology; Botany; Cell Biology; Ecology; Entomology; Environmental education*; Environmental sciences; Genetic*; Genetics; Limnology; Microbiology; Molecular Biology; Mycology; Ornithology; Parasitology; Zoology</i>

Fonte: elaborada pelo autor.

Nota: Sinal convencional utilizado:

* Variações de termo contidos no ISCED-F 2013.

De modo similar ao procedimento adotado na Etapa 1, cada termo do Grupo 1 foi pesquisado em combinação com cada termo do Grupo 2, como termos exatos e utilizando o operador lógico *e*. No total, 51 buscas independentes foram realizadas. Os demais passos da estratégia de busca não foram alterados com exceção do tópico usado para refinamento, que para esta etapa foi *augmented reality*, *mixed reality*, ou *blended reality* combinados de acordo com o termo do Grupo 1 que era pesquisado. Nós procedemos dessa maneira para assegurar que os resultados se referiam ao tópico principal. Refinamento adicional

utilizando o tópico educação não era conveniente uma vez que em muitos casos esse tópico não estava disponível para seleção. Esse foi também o caso em algumas buscas que tinham poucos resultados. Nessas situações, a totalidade dos resultados era escrutinada.

Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão e exclusão foram usados para focar a análise em nossos objetivos e são apresentados como se segue.

1) Critérios de inclusão:

- a) o material inclui questão de pesquisa, objetivos, métodos e resultados;
- b) o estudo foca no uso de RA na educação em biologia e/ou em ciências ambientais;
- c) foco na experiência de uso ou desenvolvimento.

2) Critérios de exclusão:

- a) não inclui pergunta de pesquisa, objetivos, métodos e resultados;
- b) a tecnologia em foco não combina elementos *reais* e *virtuais*;
- c) o estudo foca no uso de RA, mas não em biologia e/ou em ciências ambientais;
- d) o estudo foca em biologia e/ou em ciências ambientais, mas não em RA;
- e) não apresenta experiências de uso ou desenvolvimento.

Análise e seleção de dados

Análise e seleção de dados foi feita de modo similar à Etapa 1. As categorias de análise foram escolhidas de acordo com a pergunta pertinente para a etapa.

1) Para PP3:

- a) tipo de estudo;
- b) campos e campos detalhados.

2) Para PP4:

- a) tecnologias de sistemas de RA utilizadas;

- b) procedimentos e ferramentas de desenvolvimento;
- c) teorias de ensino ou aprendizagem;
- d) aplicações;
- e) públicos;
- f) local da instrução;
- g) vantagens;
- h) limitações;
- i) desafios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseados nos resultados obtidos após seguir os procedimentos descritos, nós endereçamos e discutimos as perguntas de pesquisa propostas para cada etapa.

Resultados da Etapa 1

Pergunta de Pesquisa 1

Há estudos recentes na base de dados da CAPES sobre o estado da arte do uso de RA no uso educacional de RA e, caso haja, eles endereçam os campos detalhados da biologia e ciências ambientais (ISCED-F 2013)?

Pesquisas independentes na base de dados da CAPES para os termos indicados para esse passo retornaram 764 resultados no total. Desse número, apenas dois foram obtidos utilizando-se o termo *blended reality*, o que sugere que a expressão deva ter se tornado obsoleta na literatura científica. Após refinamento, o número total foi reduzido para 85, incluindo duplicatas. Depois da análise, cinco deles demonstraram ser pesquisas recentes do estado da arte no uso de RA na educação, que incluíam: quatro revisões no campo da educação no geral (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017; BACCA et al., 2014; PRIETO et al., 2014; TSAI; SHEN; FAN, 2014) – sendo as de Tsai, Shen e Fan (2014) e de PRIETO et al. (2014), respectivamente, sobre educação online e sistemas de papel aumentado – e uma no campo amplo da saúde e educação para o bem-estar (ZHU et al., 2014). Nenhum deles endereçava o estado da arte do uso de RA na educação em biologia ou ciências ambientais, o que salienta a importância do presente estudo.

Considerada a diversidade de campos amplos na área da educação, o número de estudos de estado da arte identificados é pequeno. O fato pode mudar nos anos seguintes uma vez que o tópico para ser emergente, como apontam Bacca et al. (2014), e Akçayir e Akçayir (2017). Os primeiros focaram em pesquisas entre 2003 e 2013 e verificaram números cada vez maiores ao final do espectro, também sendo o caso para Tsai, Shen e Fan (2014), e Akçayir e Akçayir (2017) que analisaram, respectivamente, artigos de 2003 a 2012, e de 2007 a 2015.

Pergunta de Pesquisa 2

Quais são as principais tecnologias de sistemas de RA identificadas, suas aplicações, audiências, vantagens, limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras?

1) Tecnologias de sistemas de RA

Classificações variaram de acordo com cada estudo. Bacca et al. (2014) identificaram as seguintes como as principais tecnologias de sistemas de RA apresentadas: RA baseada em marcadores (59%); RA sem marcadores (12%) e RA baseada em localização (21.88%). Dentre as sem marcadores, o uso do *Microsoft Kinect* foi apontado como uma tendência. Akçayir e Akçayir (2017) se concentraram, para classificação, nos equipamentos, sendo os mais utilizados os dispositivos móveis (60%) e computadores de mesa (24%). Eles também reportaram o uso de *Kinect*, HMDs, óculos de visão 3D e outros desenvolvidos pelos pesquisadores. Zhu et al. (2014) separaram as tecnologias em ambas categorias, concluindo que a maioria utilizava laptops (50%), seguido de computadores de mesa e dispositivos móveis (*smartphone*, *tablets*, assistente digital pessoal e leitores de *e-books*). Com relação aos sistemas, foi reportado que a maioria dos estudos usou RA baseada em marcadores, sendo uma câmera associada a um marcador a configuração mais comum (68%). Os autores também afirmam que outras configurações utilizaram componentes diferentes como: marcador eletromagnético; marcador radiográfico; pontos de referência anatômicos; rastreadores óticos híbridos e de sinal wi-fi; e sistemas de rastreamento de cabeça e mão. Um dos trabalhos utilizou a projeção de uma imagem virtual em um manequim. Prieto et al. (2014) se concentraram em um tipo específico de RA, sistemas de papel virtual (tecnologias de computação baseadas em papel), que

incluíam: Cartões e *Post-Its* aumentados; Livros Aumentados; Cadernos Aumentados; Documentos Impressos Aumentados; e *Tablets*, Cavaletes e Quadros-Brancos aumentados.

2) Aplicações

A pesquisa de Bacca et al. (2014) revelou que a maioria dos estudos do uso de RA na educação foram aplicados no campo da *Ciência*, seguido de *Humanidade e Artes* (aprendizagem de idioma, apreciação de artes visuais e pintura, e cultura e multiculturalismo). O maior uso na ciência foi atribuído à efetividade da RA para visualização de conceitos complexos ou abstratos e, no geral, coisas que não podem ser vistas no mundo real sem o auxílio de equipamento especializado. O uso na aprendizagem de idioma foi justificado pela apresentação de informação contextualizada, fomentando novas experiências. Experiência aprimorada também foi a razão para utilização em apreciação de pinturas. Os campos menos explorados de *Saúde e Bem-Estar* e *Serviços e Outros Educacionais*, que inclui treinamento em docência em todos os níveis de educação, assim como *agricultura*, não revelaram nenhuma ocorrência. As principais razões para se utilizar RA foram: explicação de um tópico e aumento de informação. Uso em jogos educacionais e experiências em laboratório também foram apresentados. Prieto et al. (2014) apresentaram os seguintes exemplos do uso de sistemas de papel aumentado encontrados na literatura: ambiente para que estudantes criassem e recontassem histórias usando cartões aumentados com códigos de barra e locais para conter desenhos, áudio e outras mídias; cadernos aumentados para criação e compartilhamento de conteúdo; dispositivos móveis para acessar informação adicional em documentos impressos; e mesas aumentadas utilizando elementos de papel para organizar simulações em educação logística vocacional. Usos reportados incluíam matérias como matemática, ciência e história, assim como tarefas específicas como conto de histórias, tocar guitarra e tomar notas. Constataram que tem sido utilizada em vários contextos de interação, desde atividades individuais até aquelas que envolvem a classe inteira. Tsai, Shen e Fan (2014) reportaram que as *Ciências Computacionais* foram o domínio mais envolvido nos estudos revisados (26,3%), possivelmente porque alguns pesquisadores também eram professores em ciências da computação e possuíam as habilidades para desenvolvê-los e aplicá-los. Em segundo lugar estavam *Ciências, Medicina e Campos da Compreensão* (15,8% cada). Para Zhu et al. (2014) o principal uso foi fornecer *feedbacks*, seguido pelo uso como uma interface inovadora e para simulação. Outros usos incluíram: navegação; trabalhar o

conceito regenerativo; assistência remota e treinamento; como ferramenta de informação significativa; redução de recursos; oferecer imersão em um cenário; e dar realidade a participação. Dentre as aplicações havia 15 matérias no campo da saúde. A maioria dos artigos estava dentro do tópico da cirurgia. Akçayir e Akçayir (2017) não focaram em campos e aplicações específicas.

3) Público

Bacca et al. (2014) afirmam que a RA tem sido prioritariamente aplicada em cenários de educação superior e compulsória. Educação infantil teve pequena ou nenhuma ocorrência. A ausência na educação infantil, especula-se, foi devida à tecnologia não estar pronta para uso com público tão jovem. Estudos em nível de mestrado (ou equivalente) e doutorado também não foram encontrados. Akçayir e Akçayir (2017) verificaram a seguinte distribuição: 51% estudantes de educação básica; 29% estudantes universitários; 7% educação adulta, incluindo idosos, 3% professores e 1% jardim de infância. Prieto et al. (2014) ressaltaram que o papel aumentado foi proposto para quase todo nível educacional, incluindo: educação infantil e primária; secundária; universitária; e treinamento vocacional. Tsai, Shen e Fan (2014) concluíram que o uso *online* de RA foi direcionado prioritariamente a estudantes universitários (42,1%), seguidos daqueles da educação elementar (10,5%), secundária (10,5%), mestrado (10,5%) e doutorado (5%). Uma suposição para a predominância de estudantes universitários foi o uso da tecnologia para desenvolvimento de habilidades profissionais. Zhu et al. (2014) reportaram uma variedade de participantes incluindo crianças, estudantes de ensino médio, de medicina e equipes médicas.

4) Vantagens e efetividade

Bacca et al. (2014) apontam como as principais vantagens, nesta ordem: aumento de aprendizagem, motivação, facilitação de interação e colaboração. No geral, RA se mostrou uma tecnologia promissora na educação. O aumento na performance de aprendizagem e motivação foram tidos como resultado do tipo de interação e conteúdo gráfico apresentados. Akçayir e Akçayir (2017) verificaram, do ponto de vista do aprendiz: aumento de aprendizagem, motivação e melhor atitude. Pedagogicamente, foram reportadas: satisfação; melhor nível de engajamento; maior concentração nas matérias; e

ajuda na aprendizagem colaborativa quando os dispositivos de RA eram móveis. Prieto et al. (2014) verificaram que as vantagens incluíam a experiência imersiva com mídias visuais e em áudio, assim como facilidade de busca, compartilhamento, duplicação, conversão, arquivamento e recuperação de conteúdo. Algumas vantagens se relacionavam às propriedades intrínsecas do papel, como intuitividade de uso, facilidade de navegação pelo conteúdo e flexibilidade. A vantagem de se unir papel e RA era permitir interações complexas sem sobrecarga cognitiva. O processo de aprendizagem também pode estar prontamente disponível para análise por gravação e rastreamento das interações com os sistemas. Outro potencial benefício, foi melhorar as habilidades visuais e espaciais. Apesar das muitas vantagens, os autores ressaltam que poucos estudos realmente conduziram mensurações confiáveis e estatisticamente significativas dos efeitos da aprendizagem. Tsai, Shen e Fan (2014) não abordaram a questão. Para Zhu et al. (2014), no geral, os aprendizes aceitaram a RA como uma tecnologia de aprendizagem. A maioria dos artigos (96%), afirmava que a RA era útil para melhora da educação em cuidados de saúde. Dentre as razões a que isso foi atribuído estavam:

aquisição de habilidades e conhecimento, entendimento de relações espaciais e conceitos médicos, melhora da retenção da aprendizagem e performance em tarefas cónito-psicomotoras, provimento de material em uma forma conveniente e rápida que diminui a curva de aprendizagem, dando atratividade subjetiva, e simulando experiências autênticas (ZHU et al., 2014, p. 9, *tradução nossa*).

5) Limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras

Bacca et al. (2014) identificaram como a maior limitação a dificuldade de manter a informação sobreposta, o que pode levar à frustração do estudante. Essa dificuldade poderia ser evitada com melhores algoritmos de rastreamento e melhoras em tecnologia. As próximas duas mais relevantes dificuldades estavam associadas com demasiada atenção dos estudantes à informação virtual e a tecnologia acabar sendo intrusiva. A última era particularmente verdadeira no uso de HMDs que atrapalhavam a interação com os outros. Outra limitação era a especificidade dos aplicativos, sendo impossibilitado ao professor criar conteúdo de aprendizagem. Akçayir e Akçayir (2017) encontraram como principal entrave a usabilidade. O sistema era de difícil utilização, causando perda de tempo (provavelmente ruim para aulas com muitos estudantes) e tornava difícil entender o tema proposto. Outros problemas técnicos envolviam especialmente rastreamento de local. Prieto et al. (2014) verificou que vários estudos reportavam esforço adicional do professor

na preparação do material. O fato de a maioria abordar apenas uma pequena parcela do currículo também pareceu ser um fator para baixa adesão. Falta de interface específica para o professor, com funcionalidades especiais, mesmo quando ele ocupa posição central na atividade, era um ponto ruim. Zhu et al. (2014) consideraram as maiores desvantagens dos estudos: falta de teorias de aprendizagem para guiar o design de RA; tendência a aplicar estratégias tradicionais de aprendizagem à RA; e a fase de desenvolvimento das tecnologias aplicadas, que eram, em sua maioria, protótipos. Tsai, Shen e Fan (2014) não endereçaram a questão.

Em seus estudos, os autores identificaram uma série de questões a serem abordadas futuramente. Bacca et al. (2014) enxergaram a melhora de tecnologias de RA sem marcadores como um desafio importante a ser encarado. As principais recomendações foram: estudos de usabilidade de aplicações em RA na educação; diretrizes para o *design* de cenários educacionais de RA; ferramentas autorais para criação de atividades em RA, utilizáveis por professores; novos métodos para criação de conteúdo 3D para ambientes de aprendizagem em RA; criação de experiências multissensoriais com RA e exploração de seus impactos; estudar mais a fundo os processos de aprendizagem envolvidos; e endereçamento da diversidade e necessidades especiais no aprendizado. Akçayir e Akçayir (2017) destacaram: mais estudos relacionados ao desenvolvimento e usabilidade de aplicações de RA; criação de princípios de *design* (empiricamente comprovados) para ambientes de RA; pesquisa adicional em direção à satisfação, motivação, interação e engajamento estudantil. Recomendações de Prieto et al. (2014) para pesquisas futuras incluíram: *design* de novos sistemas com papel aumentado; necessidade de diretrizes e processos de *design* para conceitualização e implementação desse tipo de sistema; quites autorais aumentados de ferramenta e interface de usuários. Zhu et al. (2014) enxergaram a identificação de teorias de aprendizagem para melhor guiar aplicativos de RA na educação em cuidado em saúde como uma questão relevante. Tsai, Shen e Fan (2014) não endereçaram a questão.

Notamos que nenhuma das revisões destacou o ambiente no qual as pesquisas eram conduzidas. Outras omissões importantes foram quais ferramentas haviam sido usadas para criar os aplicativos, assim como o processo de desenvolvimento, quem estava envolvido, dentre outras questões relacionadas à criação de experiências em RA. As principais teorias de aprendizagem utilizadas para fundamentar os aplicativos em RA também estavam ausentes.

Resultados da Etapa 2

Pergunta de Pesquisa 3

Quais são os estudos experimentais ou de desenvolvimento no uso de RA na educação em biologia e ciências ambientais na base de dados da CAPES e as matérias (ISCED-F 2013) endereçadas?

Para este passo, 51 buscas independentes na base de dados da CAPES retornaram um total de 356 resultados após refinamento, incluindo duplicatas. Desse número, apenas cinco correspondiam ao termo *blended reality*, reforçando a obsolescência da expressão na literatura científica, já observada na etapa anterior. A análise do total resultou em nove artigos que descreviam estudos experimentais e de desenvolvimento abordando o uso de RA na educação em biologia e ciências ambientais. O pequeno número de artigos que atendiam aos nossos critérios revela a necessidade de investigação nesses campos específicos de conhecimento. As principais matérias (ISCED-F 2013) endereçadas pelos trabalhos foram: Ciências Ambientais (HSIAO; CHEN; HUANG, 2012; HUANG; CHEN; CHOU, 2016; KAMARAINEN, 2013); Microbiologia (HUNG; CHEN; HUANG, 2017); Biologia Molecular (BERRY; BOARD, 2014); Botânica e Zoologia (CHIANG; YANG; HWANG, 2014); Ecologia (TARNG et al., 2015); e Biologia (JI; WAKEFIELD, 2016). Resumos de dois estudos adicionais indicaram que pertenciam ao campo detalhado da Biologia e usavam RA na educação, mas em um dos casos (MANRIQUE-JUAN et al., 2017) não tivemos acesso ao conteúdo completo e em outro (QUMILLAILA; SUSANTI; ZULFIANI, 2017) o texto estava escrito em Indonésio, idioma não dominado pelos autores. A Tabela 3 apresenta os periódicos nos quais os estudos foram encontrados.

Os propósitos dos estudos foram: comparar materiais de ensino em 2D e os que usavam objetos 3D em RA (HUNG; CHEN; HUANG, 2017); teste do uso de RA e amostradores em saídas de campo (KAMARAINEN et al., 2013); descrição de um método para a produção de imagens 3D interativas de estruturas proteicas que podem ser manipuladas em tempo real pelo uso de *software* de RA (BERRY; BOARD, 2014); desenvolvimento de um modelo de aprendizagem de eco-descobrimto baseado em RA (EDALM) que é implementado em um sistema de aprendizagem de eco-descoberta baseada em RA (EDALS) (HUANG; CHEN; CHOU, 2016); comparação dos fatores tamanho e peso em um jogo educacional sobre ciclo da água para *iPhone*[®] e *tablet* (FURIÓ

et al., 2013); exame da efetividade de atividades de aprendizagem em RA baseadas em questionamento para a aprendizagem e motivação (CHIANG; YANG; HWANG, 2014); desenvolvimento de um sistema ecológico de borboletas virtuais baseada em RA (TARNG et al., 2015); desenvolvimento de um sistema em RA para aprendizagem durante exercícios e comparando à instrução regular com assistência de computador (HSIAO; CHEN; HUANG, 2012); e criação de uma série de visualizações interativas de sistemas complexos inspirados na biologia (JI; WAKEFIELD, 2016).

Tabela 3 - Número de estudos analisados na Etapa 2 (por periódico).

Descrição	Quantidade
<i>Biochemistry and Molecular Biology Education</i>	1
<i>Computers & Education</i>	3
<i>Educational Technology & Society</i>	1
<i>IEEE Computer Society</i>	1
<i>Interactive Learning Environments</i>	1
<i>Journal of Computer Assisted Learning</i>	1
<i>Virtual Reality</i>	1

Fonte: elaborada pelo autor.

Pergunta de Pesquisa 4

Quais são as principais tecnologias de sistemas em RA utilizadas, ferramentas de desenvolvimento, aplicações, público, local da instrução, vantagens, limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras?

1) Tecnologias de RA utilizadas

A maioria dos sistemas era dependente de visão computacional para a experiência em RA, sendo a baseada em marcadores a mais recorrente. Os sistemas de RA utilizados são apresentados a seguir:

- 1) RA com visão computacional baseada em marcadores (BERRY; BOARD, 2014; FURIÓ et al., 2013; (HSIAO; CHEN; HUANG, 2012; HUNG; CHEN; HUANG, 2017);
- 2) RA com visão computacional sem uso de marcadores (JI; WAKEFIELD, 2016);
- 3) RA baseada em localização (HUANG; CHEN; CHOU, 2016; KAMARAINEN et al., 2013; TARNG et al., 2015);
- 4) RA baseada em localização combinada a RA com visão computacional sem uso de marcadores (CHIANG; YANG; HWANG, 2014).

Os equipamentos utilizados variaram de acordo com os propósitos do estudo. Hung, Chen e Huang (2017) usaram HMDs de RV associados a câmeras com marcadores de rastreamento em páginas de um livro aumentado. Os HMDs foram conectados a um computador por cabos. Kamarainen et al. (2013) usaram dispositivos móveis wireless associados a ferramentas de medição de água. Berry e Board (2014) utilizaram um computador e camera, assim como Hsiao, Chen e Huang (2012) que incluíram um projetor. Tarnng et al. (2015) e Furió et al. (2013) usaram *iPhone*[®]s e *tablets* se valendo de acelerômetros e telas sensíveis ao toque. Chiang, Yang e Hwang (2014) usaram *tablets* e seus sistemas de GPS, câmera, compasso digital, giroscópios de três eixos e acelerômetros para criar RA. Ji e Wakefield (2016) utilizaram projetores, computadores, areia e cameras RGB-D. Huang, Chen e Chou (2016) usaram *tablets*, mas não informaram detalhes do sistema.

2) Sistemas e procedimentos de desenvolvimento

Dentre as ferramentas usadas para criar experiências em RA a mais comum foi o *ARToolKit*[®] (BERRY; BOARD, 2014; FURIÓ et al., 2013; HUNG; CHEN; HUANG, 2017), o que não surpreende, uma vez que é um dos *softwares* líderes de mercado. Outra plataforma mencionada foi a *FreshAiR*[®] que permite utilização sem conhecimento aprofundado de programação (KAMARAINEN et al., 2013). Para programação, Chiang, Yang e Hwang (2014) usaram a linguagem *JAVA*[®] para o *website*, *Oracle*[®] para base de dados e *Xcode*[®] para *iPad mini*[®] como ambiente de desenvolvimento. Os recursos utilizados por Furió et al. (2013) foram: o ambiente de desenvolvimento *Xcode 4*[®] e *iPhone*[®] SDK 4.3 para jogos; e na criação da cena 3D o *Blender*[®], o *OpenSceneGraph*[®]

(OSG), e o módulo de extensão *OSGplugin osgART 2.0 RC 3*. Tarng et al. (2015) utilizaram *3DS Max*[®] para os modelos 3D e *Shiva 3D*[®] para animações. Ferramentas de desenvolvimento *Java*[®] (JDK), *Android*[®] 1.5 SDK, *Eclipse* e o módulo de extensão *Android Development Tool* também foram utilizados.

O processo de criação da experiência em RA é raramente descrito, o que parece indicar que pouco ou nada é seguido com relação a diretrizes específicas de desenvolvimento de aplicativos para educação em ciências. Conforme destacado para a Etapa 1, pesquisas neste tópico são necessárias. Furió et al. (2013) e Tarng et al. (2015) foram os únicos que apresentaram alguma informação nesse sentido. Os primeiros incluíram em seu processo de desenvolvimento: profissionais de educação para determinar as preferências dos sujeitos e estudo da literatura para ter indicação de diretrizes. Os modelos 3D foram então criados no *Blender*[®] e depois importados para plataformas de desenvolvimento. Uma cobertura externa para proteger os dispositivos também foi construída. Os segundos digitalizaram fotos de borboletas e inseriram elas em um modelo 3D no *3DS Max*[®], programa de modelagem 3D. Na sequência, o resultado foi exportado para o *Shiva 3D*[®], um programa de animação, onde o movimento de voo foi adicionado. Este, por sua vez, dependia de programação que atribuía um modelo probabilístico. O produto final foi publicado no *GooglePlay*[®] para *download*.

Ji e Wakefield (2016) utilizaram instalações em RA para o público em geral, ficando menos adstritos à forma de instrução quando comparado à escola. Uma das configurações utilizadas consistia em um conjunto de câmeras RGB-D instaladas acima de um recipiente com areia representando ilhas nas quais condições adaptativas de espécies ficcionais eram manipuladas. Algoritmos computacionais foram usados para simular a evolução das espécies.

3) Teorias de ensino ou aprendizagem utilizadas

Cinco dos artigos analisados davam suporte às experiências em RA com algum tipo de teoria/construto cognitivo ou de aprendizagem, sendo eles: teoria dos recursos múltiplos (HUNG; CHEN; HUANG, 2017); aprendizagem baseada em questionamento (CHIANG; YANG; HWANG, 2014); aprendizagem situada (KAMARAINEN et al., 2013); teoria da aprendizagem experiencial de David Kolb (FURIÓ et al., 2013; HUANG; CHEN; CHOU, 2016); e teoria das múltiplas inteligências de Gardner, aprendizagem móvel (*M-Learning*) e educação com entretenimento (*Edutainment*).

4) Aplicações

As aplicações incluíram: livro aumentado para apresentar modelos de seis bactérias com diferentes características (HUNG; CHEN; HUANG, 2017); combinação de experiência em RA com o uso de amostradores durante saídas de campo para a aprendizagem de ecossistemas (KAMARAINEN et al., 2013); navegação em áreas abertas com orientação para lugares específicos com propósitos educativos, integrando informação virtual ao ambiente ecológico e favorecendo a aprendizagem exploratória (HUANG; CHEN; CHOU, 2016); criação de jogo educativo sobre ciclo da água para *iPhone*[®] e *tablet* (FURIÓ et al., 2013); condução de atividades de aprendizagem baseada em questionamentos (CHIANG; YANG; HWANG, 2014); simulação da ecologia de borboletas, incluindo reprodução (TARNG et al., 2015); ensino de conceitos de ecossistemas durante o exercício (HSIAO; CHEN; HUANG, 2012); e envolvimento de participantes em um ecossistema por meio de um ambiente responsivo que utiliza *displays* auditivos e visuais de realidade misturada (JI; WAKEFIELD, 2016).

5) Público

A maior parte do público alvo das intervenções estava no ensino fundamental e séries iniciais do ensino médio. No ensino fundamental, as ocorrências foram no: quarto ano (CHIANG; YANG; HWANG, 2014; TARNG et al., 2015), quinto ano (HUNG; CHEN; HUANG, 2017); sexto ano (KAMARAINEN et al., 2013); e sétimo ano (HSIAO; CHEN; HUANG, 2012; HUANG; CHEN; CHOU, 2016). Furió et al. (2013) incluíram em seus estudos crianças de oito a dez anos que frequentavam escolas de verão, enquanto em Ji e Wakefield (2016) o público podia compreender, conforme descrito pelos autores, desde crianças de três anos de idade até um cientista de oitenta. Não incluímos em nossas buscas matérias não classificadas como pertencentes à biologia e ciências ambientais, conforme o ISCED. Alguns campos comuns no ensino superior, como a educação em saúde, portanto, não foram abarcados, o que pode justificar a ausência de achados na área. Berry e Board (2014) não especificaram o público.

6) Local da instrução

Quatro trabalhos utilizavam sistemas de RA ao ar livre em saídas de campo (KAMARAINEN et al., 2013; HUANG; CHEN; CHOU, 2016; CHIANG; YANG; HWANG, 2014; TARNG et al., 2015). Esse achado faz sentido uma vez que as principais matérias eram relacionadas a ambiente, ecologia, botânica e zoologia, mas também refletem a flexibilidade da tecnologia. Também é este o caso para as instalações descritas em Ji e Wakefield (2016). Hung, Chen e Huang (2017), Hsiao, Chen e Huang (2012) e Furió et al. (2013) utilizaram os sistemas em salas de aula regulares. Berry e Board (2014) não especificaram o local.

7) Vantagens

Conforme descrito pelos autores, as principais vantagens no uso de sistemas de RA foram:

- 1) Forma prática e proativa de explorar e aprender (HUNG; CHEN; HUANG, 2017);
- 2) Aumento em interesse/motivação (CHIANG; YANG; HWANG, 2014; HUANG; CHEN; CHOU, 2016; HUNG; CHEN; HUANG, 2017; TARNG et al., 2015);
- 3) Ganho em medidas afetivas dos estudantes (KAMARAINEN et al., 2013);
- 4) Aumento de aprendizagem (CHIANG; YANG; HWANG, 2014; HUANG; CHEN; CHOU, 2016; KAMARAINEN et al., 2013; TARNG et al., 2015);
- 5) Interações com a matéria e os colegas, centradas no estudante ao invés de dirigidas pelo professor (KAMARAINEN et al., 2013);
- 6) Estimulação de emoções positivas (HUANG; CHEN; CHOU, 2016);
- 7) Facilitação da prática de exercícios durante a aprendizagem (HSIAO; CHEN; HUANG, 2012);
- 8) Facilidade de uso e adaptação aos dispositivos (FURIÓ et al., 2013; TARNG et al., 2015);
- 9) Aumento de confiança (CHIANG; YANG; HWANG, 2014; HSIAO; CHEN; HUANG, 2012);
- 10) Realismo da experiência (TARNG et al., 2015);

- 11) Maior independência espaço-temporal em comparação a ambientes tradicionais (TARNG et al., 2015);
- 12) Baixo custo de manutenção.

Furió et al. (2013) destacam que o tamanho da tela e o peso dos dispositivos (*iPhone*[®] e *Tablet*) não influenciaram a aquisição de conhecimento, engajamento, satisfação, facilidade de uso e experiência em RA dos estudantes.

Assim como visto nos estudos de revisão apresentados na Etapa 1, aumento de aprendizagem foi prevalente nos resultados. O mesmo pode ser dito sobre interesse e motivação. A RA se mostrou uma ferramenta valiosa no ensino, mas a validade dos achados deve ser vista com cautela, uma vez que o entusiasmo dos alunos pela novidade da ferramenta pode estar influenciando os resultados. Pesquisas mais aprofundadas neste assunto são recomendadas.

8) Limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras

Pontos nos quais a RA não atendeu às expectativas também foram apontados pelos autores. Hung, Chen e Huang (2017) concluíram que apesar de eficiente, a RA não se provou superior aos objetos físicos 3D ou a imagens 2D. Nos questionários de Kamarainen et al. (2013), aplicados a professores, não foi indicada forte convicção a respeito da efetividade da RA. Os autores também levantaram dúvidas sobre a persistência dos ganhos de aprendizagem, o que pode ser objeto de pesquisas futuras. Outro fator a ser considerado é o preço do equipamento que, para certos contextos, pode ser excessivamente oneroso (HUANG; CHEN; CHOU, 2016). Isso tende a diminuir com o passar do tempo pois o aumento do poder computacional em razão do preço tem sido a tendência. A possibilidade de utilizar equipamentos que os próprios alunos possuam, como *smartphones*, também pode ser um redutor de custos. É importante mencionar que em alguns casos a alternativa à RA pode ser mais cara, como é o caso de jardins de borboleta tradicionais (TARNG et al., 2015).

Com relação ao peso dos equipamentos, embora não tenha havido grande impacto na aprendizagem, algumas crianças de oito anos tiveram dificuldade para segurar o *tablet* pelo seu avantajado tamanho ou peso (FURIÓ et al., 2013). Alguns precisaram de ajuda para apontar os dispositivos para os marcadores. Isso deve ser levado em consideração quando desenvolvendo para essa audiência. Uma opção, sugerida pelos autores, é incluir

pausas para descanso do braço durante a utilização. Em RA baseada em localização, assim como verificado nas revisões anteriores, a precisão do GPS parece continuar sendo um problema (CHIANG; YANG; HWANG, 2014).

Hsiao, Chen e Huang (2012) destacam como aspectos importantes a serem considerados durante o desenvolvimento de sistemas em RA: dar treinamento a professores e estudantes para operar a tecnologia; ter uma boa proposta para todos os passos de ensino e preparação do equipamento e um bom livro guia para diretrizes de ensino em RA como forma de reduzir a resistência dos professores à sua adoção; e tornar a ferramenta de RA flexível com seleção de nível de dificuldade. O tempo da atividade também deve ser considerado uma vez que experiências em RA podem demorar mais que a instrução regular.

Huang, Chen e Chou (2016) propõem pesquisas futuras em RA que explorem: o efeito intermediário de diferentes capacidades emocionais em um mesmo ambiente; e o uso de tecnologias de RA para combinar dispositivos sensórios para aprimorar competência emocional. Ressaltam que pesquisas em *design* emocional também são necessárias para integrar processos cognitivos e afetivos. Furió et al. (2013) sugerem que jogos poderiam ser melhorados adicionando-se funções de jogadores múltiplos, colaboração e competição.

CONCLUSÕES

Neste estudo nós pesquisamos e apresentamos revisões anteriores do estado da arte da RA na educação e descobrimos que nenhum trabalho desse tipo havia sido feito nos campos específicos (ISCED-F 2013) da biologia e ciências ambientais. Nós também notamos que nenhuma das revisões destacou o ambiente no qual as pesquisas foram conduzidas, tampouco endereçaram os processos de desenvolvimento ou ferramentas utilizadas para criar os aplicativos. As principais teorias de aprendizagem usadas como fundamento para aplicações em RA também não foram abordadas. Nós então conduzimos uma revisão sistemática da literatura na base de dados da CAPES por artigos científicos no uso de RA na educação em biologia e ciências ambientais publicados a partir de 2012. Havia muito poucas pesquisas nessas áreas. Seus principais elementos foram apresentados, incluindo tecnologias utilizadas, ferramentas de desenvolvimento, aplicações, público; local da instrução, vantagens, limitações, desafios e orientações para pesquisas futuras. Sistemas e equipamentos de RA têm sido usados com arranjos diversos que incluem visão computacional, sensores e GPS. No geral, houve pouca ou nenhuma descrição do processo

de desenvolvimento o que indica que este é um campo potencial de investigação. Nós reforçamos a necessidade, já levantada por outras pesquisas, de criação de diretrizes específicas para o desenvolvimento de aplicativos em RA. Há experiências de utilização desse tipo de tecnologia dentro e fora de sala, sendo este último caso mais comum em ciências ambientais. A maioria dos estudos focou em crianças do ensino fundamental. A RA mostrou ser um modo prático e proativo para explorar e aprender, estimular emoções positivas, aumentar interesse, motivação, confiança e aprendizado. Também é uma possibilidade para estudantes interagirem com as matérias e colegas em uma base centrada no aluno ao invés de dirigida pelo professor. Limitações incluíram o preço dos equipamentos em certos contextos, tempo longo de preparação e peso do equipamento (no caso de *tablets* e, especialmente, para crianças pequenas). O custo, por outro lado, pode ser reduzido para algumas situações nas quais métodos tradicionais envolvem materiais caros e manutenção. No geral, as pesquisas têm ganho *momentum*, mas resultados preliminares devem ser tomados com cautela considerando-se o tamanho da amostragem. Tópicos de interesse para pesquisas futuras incluem: usabilidade, procedimentos e diretrizes para desenvolvimento de aplicativos, efeitos do uso contínuo e consistente na aprendizagem, e refinamento de tecnologias de localização e pareamento.

REFERÊNCIAS

AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review os the literature. **Educational Research Review**, v. 20, p. 1-11, 2017.

ANDERSON, E.; MCLOUGHLIN, L.; LIAROKAPIS, F.; PETERS, C.; PETRIDIS, P.; FREITAS, S. Developing serious games for cultural heritage: a state-of-the-art review. **Virtual Reality**, v. 14, n. 4, p. 255-275, 2010.

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

BACCA, J.; BALDIRIS, S.; FABREGAT, R.; GRAF, S.; KINSHUK. Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. **Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 133-140, 2014.

BAEK, D.; CHO, S.; YUN, K.; YOUN, K.; BANG, H. Time-lapse microscopy using smartphone with augmented reality markers. **Microsc. Res. Tech.**, v. 77, p. 243-249, 2014.

BERRY, C.; BOARD, J. A Protein in the Palm of Your Hand Through Augmented Reality. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, p. 446-449, 2014.

BORRERO, A. M.; MÁRQUEZ, J. M. A. A Pilot Study of the Effectiveness of Augmented Reality to Enhance the Use of Remote Labs in Electrical Engineering Education. **J Sci Educ Technol**, v. 21, n. 5, p. 540-557, 2012.

BOTELLA, C.; PÉREZ-ARA, M. A.; BRETÓN-LÓPEZ, J.; QUERO, S.; GARCÍA-PALACIOS, A.; BAÑOS, R. M. *In: Vivo* versus Augmented Reality Exposure in the Treatment of Small Animal Phobia: A Randomized Controlled Trial. **Plos One**, v. 11, n. 2, p. 1-22, 2016.

CAPES **Acervo**. 2017. Disponível em: http://www.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pcollection&Itemid=104. Acesso em: 17 set. 2017.

CARMIGNIANI, J.; FURHT, B.; ANISETTI, M.; CERAVOLO, P.; DAMIANI, E.; IVKOVIC, M. Augmented reality technologies, systems and applications. **Multimed Tools Appl**, v. 51, p. 341-377, 2011.

CHEN, C.; TSAI, Y. Interactive augmented reality system for enhancing library instruction in elementary schools. **Computers & Education**, v. 59, n. 2, p. 638-652, 2012.

CHIANG, T. H. C.; YANG, S. J. H.; HWANG, G. J. An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities. **Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 352-365, 2014.

CLARK, D. B.; TANNER-SMITH, E. E.; KILLINGSWORTH, S. S. Digital Games, Design, and Learning. **Review of Educational Research**, v. 86, n. 1, p. 79-122, 2016.

DELEUZE, G. **Diferença e Repetição**. Tradução Luiz Orlandi e Roberto Machado. Lisboa: Relógio d'Água, 2000. Original de: 1968.

FURIÓ, D.; GONZÁLEZ-GANCEDO, S.; JUAN, M. C.; SEGUÍ, I.; COSTA, M. The effects of the size and weight of a mobile device on an educational game. **Computers & Education**, v. 64, p. 24-41, 2013.

GRABOWSKI, M. Research on Wearable, Immersive Augmented Reality (WIAR) Adoption in Maritime Navigation. **Journal of Navigation**, v. 68, n. 3, p. 453-464, 2015.

GRUBERT, J.; GRASSET, R. **Augmented Reality for Android Application Development**. Birmingham: PACKT Publishing, 2013.

HSIAO, K. F.; CHEN, N. C.; HUANG, S. Y. Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents. **Interactive Learning Environments**, v. 20, n. 4, p. 331-349, 2012.

HUANG, T. C.; CHEN, C. C.; CHOU Y.W. Animating eco-education: to see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. **Computers & Education**, v. 96, p. 72-82, p. 2016.

HUNG, Y. H.; CHEN, C. H.; HUANG, S. W. Applying augmented reality to enhance learning: a study of different teaching materials. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 33, p. 252-266, 2017.

Jl, S.; WAKEFIELD, G. Endogenous Biologically Inspired Art of Complex Systems. **IEEE Computer Society**, p. 16-21, 2016.

KAMARAINEN, A. M.; METCALF, S.; GROTZER, T.; BROWNE, A.; MAZZUCA, D.; TUTWILER, M. S.; DEDE, C. EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. **Computers & Education**, v. 68, p. 545-556, 2013.

KIPPER, G.; RAMPOLLA, J. **Augmented Reality: An Emerging Technologies Guide to AR**. Massachusetts, USA: Elsevier, 2013. p. 208.

KITCHENHAM, B. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in software engineering. **EBSE Technical Report EBSE-2007-01**, 2007.

LACERDA SANTOS, G. A descoberta de novas formas de ensinar e aprender por meio de softwares educativos: o Projeto Ábaco. In: **Prêmio Jovem Cientista e Prêmio Jovem Cientista do Futuro: Novas Metodologias para a Educação**. Porto Alegre: CNPq, 2002. 213 p.

LAGÜELA, S.; GESTO, M.; RIVEIRO, B.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D. Infrared Cephalic-Vein To Assist Blood Extraction Tasks: Automatic Projection And Recognition. *Int. Arch. Photogramm.* **Remote Sens. Spatial Inf. Sci.**, v. XLII-2/W4, p. 193-197, 2017.

MANRIQUE-JUAN, C.; GROSTIETA-DOMINGUEZ, Z. V. E.; ROJAS-RUIS, R.; ALENCASTRE-MIRANDA, M.; MUÑOZ-GÓMEZ, L.; SILVA-MUÑOZ C. A Portable Augmented-Reality Anatomy Learning System Using a Depth Camera in Real Time. **National Association of Biology Teachers**, p. 176-183, 2017.

MATURANA, H.; VARELA, F. J. **A árvore do conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana. Tradução Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001. p. 288.

MILGRAM, P.; COLQUHOUN, H. W. JR. (1999) A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. *In*: Ohta Y.; Tamura H. **Mixed Reality**: Merging Real and Virtual Worlds. Ohmsha, Ltd., p. 5-30, 1999.

PIERDICCA, R.; FRONTONI, E.; ZINGARETTI, P.; MANCINI, A.; MALINVERNI, E. S.; TASSETTI, A. N.; MARCHEGGIANI, E.; GALLI, A. Smart maintenance of riverbanks using a standard data layer and Augmented Reality. **Computers & Geosciences**. v. 95, p. 67-74, 2016.

PRIETO, L. P.; WEN, Y.; CABALLERO, D.; DILLENBOURG, P. Review of Augmented Paper Systems in Education: An Orchestration Perspective. **Journal of Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 169-185, 2014.

QUMILLAILA; SUSANTI, B. H.; ZULFIANI. Developing Android Augmented Reality as a Learning Media of Human Excretory System. **Cakrawala Pendidikan**, n. 1, p. 57-69, 2017.

TAMURA, Y.; MASHITA, T.; KURODA, Y.; KIYOSAKAWA, K.; HARUO, T. Feature detection in biological tissues using multi-band and narrow-band imaging. **Int J CARS**, v. 11, p. 2173-2183, 2016.

TARNG, W.; OU, K.L.; YU, C. S.; LIOU, F. L.; LIOU, H. H. Development of a virtual butterfly ecological system based on augmented reality and mobile learning technologies. **Virtual Reality**, v. 19, p. 253-266, 2015.

TSAI, C.; SHEN, P.; FAN, Y. (2014) The Application of Augmented Reality in Online Education: A Review of Studies Published in Selected Journals from 2003 to 2012. **International Journal of Information and Communication Technology Education**, v. 10, n. 2, p. 75-80, 2014.

UNESCO. **International Standard Classification of Education**: Fields of Education and Training 2013 (ISCED-F 2013) – Detailed field descriptions. Montreal: UNESCO Institute for Statistics, 2015.

UNESCO. **ISCED Fields of Education and Training 2011**. Montreal: UNESCO Institute for Statistics, 2012.

UNESCO. **ISCED Fields of Education and Training 2013**. Montreal: UNESCO Institute for Statistics, 2014.

WOJCIECHOWSKI, R.; CELLARY, W. Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. **Computers & Education**, v. 68, p. 570-585, 2013.

WU, H. K.; LEE, S. W. Y.; CHANG, H. Y.; LIANG, J. C. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. **Computers & Education**, v. 62, p. 41-49, 2013.

YILMAZ, R.M.; GOKTAS, Y. Using augmented reality technology in storytelling activities: examining elementary students' narrative skill and creativity. **Virtual Reality**, v. 21, n. 2, p. 75-89, 2017.

ZHU, E.; HADADGAR, A.; MASIELLO, I.; ZARY, N. Augmented reality in healthcare education: an integrative review. **Peer J**, p. 1-17, 2014.

ZUFFO, M. (2012) Aprendizagem por meio de ambientes de realidade virtual. *In*: Litto, F.; Formiga, M. **Educação a Distância**: o estado da arte. São Paulo: Pearson, 2012. p. 461.

O Ribeirão e a Escola: análise da transposição didática no desenvolvimento de um aplicativo de realidade aumentada para a educação ambiental baseada no lugar

RESUMO

O conceito de transposição didática proposto por Chevallard (1998), desenvolvido dentro do campo teórico das ciências matemáticas, parte do pressuposto ontológico de que existe um saber objetivo que pode ser objeto de investigação. Essa ideia implica uma realidade cognoscível, externa ao sujeito. Dentro desse constructo e sob risco de perda de rigor científico, o autor rejeita a hipótese de que o saber aprendido deva ser objeto da didática. Operacional para a didática das ciências matemáticas, para as ciências ambientais, cujos saberes possuem um nível maior de contingência, sujeitos a atualizações constantes do campo, o conceito se mostra deficiente. Levantamos a hipótese de que para que a transposição didática seja efetiva é necessário levar em consideração como os alunos interpretam o material. Nosso interesse se deu particularmente na área de desenvolvimento de aplicativos para o ensino da educação ambiental baseada no lugar. O objetivo do presente trabalho foi verificar a necessidade de conhecimento da realidade local e participação de professores e estudantes no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e deste ao saber ensinado com vistas à educação ambiental baseada no lugar. Para isso, analisamos o processo de desenvolvimento de um aplicativo intitulado *O Ribeirão e a Escola*, que foi utilizado em quatro momentos com seis turmas (quatro do 4º e duas do 5º ano do ensino fundamental) da Escola Classe 05 de Sobradinho, Distrito Federal. Por meio de nossa análise, demonstramos a necessidade de conhecer a realidade local e incluir professores e estudantes no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e deste ao saber ensinado com vistas à educação ambiental baseada no lugar.

Palavras-chave: Realidade Aumentada. Educação Ambiental. Didática. Biologia. Ciências Ambientais.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de aplicativos em realidade aumentada (RA) para fins educativos esbarra em um problema que se ramifica em vários braços de questionamento e investigação: como atender às demandas da sociedade por meio da educação escolar integrando elementos reais e virtuais?

A didática, que em sua acepção original significa a arte de ensinar (DOS SANTOS, 2014), nos ajuda a iniciar o endereçamento da questão. A educação não é uma função e atividade social que ocorre somente na sala de aula, mas nela há elementos de sistematização de saberes e mediações culturais que a diferem dos ambientes informais. Dentre os elementos de mediação estão os materiais didáticos, que se posicionam entre a cultura elaborada pelos especialistas e aquela recebida pelos estudantes (SACRISTÁN, 2013).

Chevallard (1998), ao analisar a didática das ciências matemáticas, propõe um modelo conceitual para explicar como se dá essa passagem do saber sábio, produzido nos círculos acadêmicos, para o saber ensinado nas escolas. Esse processo, denominado por ele transposição didática, ocorreria de modo dialógico às demandas sociais e às dinâmicas do próprio sistema de ensino. Na busca por estabelecer a didática das matemáticas como ciência, o autor concebe o sistema didático (relações entre aluno, ensinante¹¹ e saber) como objeto real, independente da observação que o transformará em conhecimento. Por este motivo, exclui a dimensão da aprendizagem do processo de transposição didática.

Em sentido oposto, no caso da educação ambiental, defendemos que a dimensão da aprendizagem é fundamental para a própria determinação do saber ensinado. Isso requer uma mudança ontológica para adequação do conceito de transposição didática. Para tanto, recorreremos ao conceito de *objetividade-entre-parênteses* de Maturana e Varella (2001).

São duas as demandas sociais às quais buscamos dar resposta: a primeira é a melhora da qualidade ambiental do Ribeirão Sobradinho, que ao longo de todo o seu trecho urbano sofre a influência negativa da ação antrópica (DISTRITO FEDERAL, 2012); a segunda é o enfrentamento do risco de escassez de água pelo qual passa a região. Os anos de 2016 e 2017 foram marcados por uma grave crise hídrica no Distrito Federal que culminou na decretação de estado de emergência e restrição do uso da água (DISTRITO

¹¹ O termo *enseñante*, em língua espanhola, comumente traduzido como professor para o português é mais amplo, motivo pelo qual foi adaptado para *ensinante*. Tem sido assim referido por outros autores, como em Castro e Carvalho (2018).

FEDERAL, 2017b). Ambas são relacionadas, uma vez que os aquíferos que abastecem o Ribeirão também interferem na disponibilidade hídrica dos poços que respondem por boa parte do suprimento de água da região.

A resolução das demandas exige engajamento de indivíduos e grupos e este só ocorre quando há comprometimento. Neste ponto, se coloca a educação baseada no lugar, que tem demonstrado fomentar a ligação entre ambiente e comunidade locais (SOBEL, 2005). A integração de elementos reais e virtuais, por sua vez, pode direcionar a experiência de lugar dos indivíduos para alcançar objetivos como a sensibilização por questões sociais específicas (OLEKSY; WNUK, 2016).

Isso posto, resta a questão de como fazer essa integração durante o desenvolvimento de aplicativos em RA de modo que o saber ensinado leve a uma aproximação com o saber sábio ao mesmo tempo em que é criado um senso de lugar com o Ribeirão Sobradinho. Levantamos a hipótese de que para que esse processo de transposição didático seja efetivo é necessário levar em consideração como os alunos interpretam o material.

O objetivo do presente trabalho foi verificar a necessidade de conhecimento da realidade local e participação de professores e estudantes no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e deste ao saber ensinado com vistas à educação ambiental baseada no lugar. Para isso, analisamos o processo de desenvolvimento de um aplicativo intitulado *O Ribeirão e a Escola*, que foi utilizado em quatro momentos com seis turmas (quatro do 4º e duas do 5º ano do ensino fundamental) da Escola Classe 05 de Sobradinho, Distrito Federal.

REALIDADE AUMENTADA

Milgram e Kishino (1994) propõem um *continuum* indo da Realidade em um extremo à Realidade Virtual em outro extremo, que abrange todas as manifestações nas quais elementos virtuais se misturam a elementos reais, a chamada Realidade Misturada. Aquelas nas quais há predominância de elementos reais recebem o nome de Realidade Aumentada (RA) em contraposição àquelas nas quais há predomínio de elementos virtuais, a Virtualidade Aumentada (MILGRAM; KISHINO, 1994).

Azuma *et al.* (2001) define as seguintes propriedades como essenciais à RA: combinação de objetos reais e virtuais em um ambiente real; execução interativa e em tempo real; e registro ou alinhamento entre os objetos reais e virtuais. Não estão limitados

a tecnologias específicas nem se aplicam somente à percepção visual, mas a todos os sentidos. Os autores também incluem a supressão de elementos reais, por alguns classificadas como *Realidade Diminuída*, como um subconjunto da RA.

Qual realidade?

Convém conceituar os termos componentes da definição de Milgram e Kishino (1994). Conforme colocado por Heim (1994, p. 116, tradução nossa), “a questão da realidade sempre foi uma questão sobre direção, sobre foco, sobre o que nós deveríamos reconhecer e nos preocupar”. O foco deste trabalho recai sobre a experiência do indivíduo nos processos educativos. Lançando um olhar sobre a realidade a partir da experiência individual, podemos dizer que a noção do real emerge à medida que, nos domínios de repetidas interações do organismo, nosso sistema nervoso se reconfigura (MATURANA; VARELLA, 2001). É a consistência habitual dessas interações que afirma e reafirma a realidade.

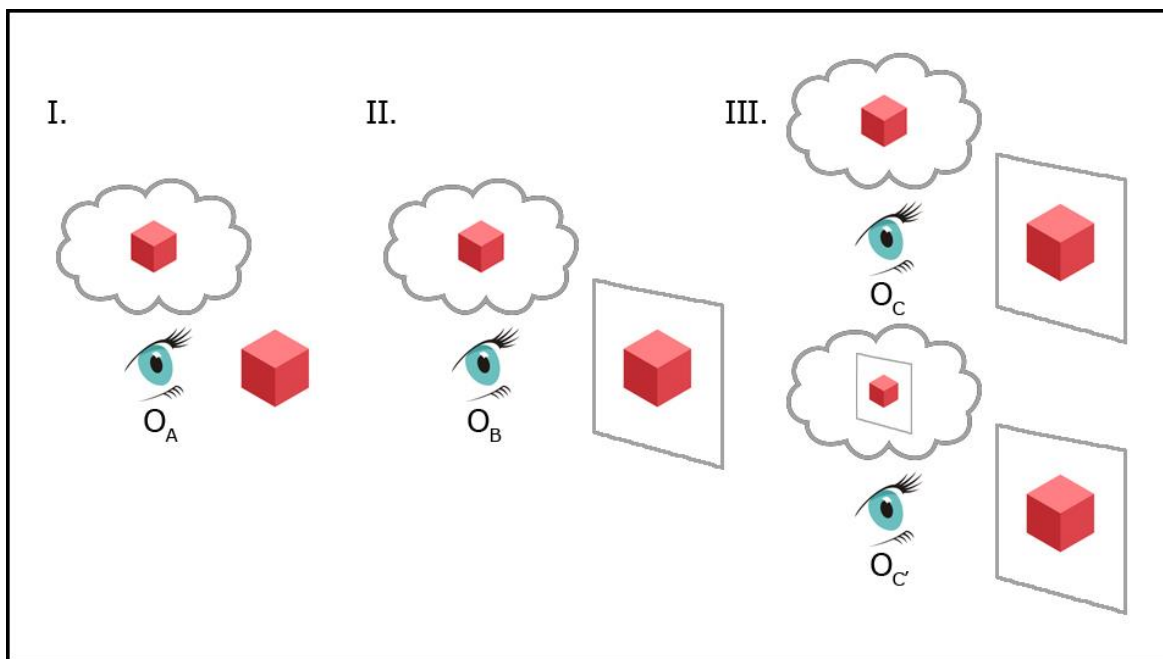
A palavra *virtual* tem sua raiz etimológica na palavra *virtus*, que significa força, potência. Filosoficamente, tem sido utilizada para expressar o que não existe em ato, mas pode vir a existir como tal por meio da atualização. Real e virtual são, portanto, estados da realidade (LÉVY, 2011).

Esse construto teórico, contudo, pode ser utilizado em mais de um contexto ontológico. Dentro do enfoque deste trabalho, temos duas condições para definir o real: (1) ser apresentado ao sistema nervoso; (2) proporcionar uma experiência congruente com a habitual. Essa congruência pode ser colocada em termos de *imersão* e *presença*. A primeira se refere à fidelidade dos estímulos que o sistema fornece ao usuário. No caso de estímulos visuais, ligada à qualidade de imagem, campo de visão, estereoscopia e rastreamento. A segunda se refere à sensação de presença, ou seja, a percepção psicológica do usuário de estar no ambiente, que pode ser: espacial, sentir-se em determinado local; corporal, sentir o próprio corpo; física, capacidade de interagir com os elementos a sua volta; ou social, poder se comunicar com personagens do ambiente (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018). A partir de Axt e Schuch (2001), podemos considerar ainda uma terceira condição: (3) em uma análise recursiva na qual o indivíduo pensa a situação em que está, a congruência deve ser mantida.

Considerando as imagens geradas por computação gráfica, elas são virtuais por sabermos estarem inscritas na memória do computador e poderem ser tornadas atuais por

meio de um dispositivo de exibição, como uma tela. Os objetos nas imagens são reais na medida de sua consistência com a experiência sensório-motora habitual aliada à análise recursiva. Temos três cenários, representados na Figura 1.

Figura 1 – Percepções de indivíduos sob diferentes condições.



Os balões em I, II e III representam, respectivamente, as percepções dos indivíduos O_A , O_B e O_C . (I) O_A percebe um cubo localizado à sua frente. (II) O_B percebe um cubo a sua frente, mas do ponto de vista de um observador externo está em frente a um *display*. (III) situação “dual”: O_C recebe os mesmos estímulos visuais que O_B , mas tendo consciência de que está diante de uma tela, pode analisar recursivamente a situação. Fonte: elaborada pelo autor.

Tanto para a situação I quanto para a II, estamos tratando de realidade do ponto de vista de vista de O_A e O_B . Para a situação III, é possível pensar em “graus de realidade”, que se dariam em função dos graus de imersividade e presença, ou “momentos de realidade”, que se daria em função da análise recursiva. São nestes casos, que o termo realidade virtual ganha sentido dentro de sua ambiguidade. É realidade enquanto experiência sensório-motora e virtualidade enquanto dimensão oculta, acessível pela análise recursiva. A provocação dessa análise pode se dar pelo conhecimento prévio (sujeito sabe que “entrou” na realidade virtual) ou ao longo da experiência (percepção sensório-motora incongruente). Isso pode ocorrer de modo consciente ou inconsciente, uma vez que a percepção é em si imbricada por experiências prévias, não sendo um processo estritamente passivo.

Tecnologias e Sistemas Habilitadores da Realidade Aumentada

Para criar uma experiência em RA é necessário utilizar uma série de funções computacionais, o que costuma exigir a conjugação de vários dispositivos. Um sistema habilitador de RA abrange tipicamente um módulo de entrada, um de processamento e um de saída. No de entrada, são fornecidos ao sistema informações sobre a cena real (mais comumente por captura de vídeo), bem como sobre a identificação de objetos, observador e/ou posicionamento e ações deles (sensoriamento). Em seguida, as informações são processadas para realizar três funções: (1) o monitoramento dos objetos, que consiste na identificação de posição e orientação (registro), e seu deslocamento no ambiente (rastreamento); (2) gerenciamento da interação, que é a identificação e determinação da resposta às ações de seleção ou manipulação feitas pelo usuário; e (3) o processamento da interação, que dá sentido às interações e promove mudanças na cena, conforme os objetivos da aplicação. Por fim, o módulo de saída apresenta ao usuário o resultado final dos processos, o que pode se dar: visualmente, pela renderização do objeto virtual em um dispositivo de saída, como tela de computador ou celular; ou em outra modalidade sensorial, como por dispositivos hápticos, a exemplo de luvas especiais (atuação) (HOUNSELL; TORI; KIRNER, 2018).

Tipos de RA

Há uma variedade de classificações para a RA a depender do recorte que se queira. Nosso recorte é o sujeito, por isso daremos especial atenção àquelas nas quais ele está implicado, mais estritamente ligados aos módulos de entrada e saída. Desse modo, adotaremos classificações quanto ao método de rastreamento e ao modo de visualização.

O método de rastreamento determina os objetos do ambiente real que podem servir ao sistema, podendo ser de três tipos: baseada em sensores; baseada em visão computacional; ou mista, que une ambas as técnicas (HOUNSELL; TORI; KIRNER, 2018). Os sensores mais utilizados são os de orientação e de localização (como o GPS, que recebe sinais do sistema global de navegação por satélite). O método de visão computacional, por sua vez, se vale da interpretação de imagens e pode ser de *rastreamento baseado em marcadores* ou *rastreamento sem marcadores*. O primeiro se vale de figuras, que podem ser marcadores fiduciais ou fotos, e o segundo de imagens de objetos do ambiente tridimensional real (GRUBERT; GRASSET, 2013). Os marcadores

mais comuns são os fiduciais, cartões com uma moldura retangular e um símbolo em seu interior. Funcionam de modo semelhante a um código de barras (HOUNSELL; TORI; KIRNER, 2018).

Dois aspectos do modo de visualização podem ser utilizados para criar duas subcategorias: a direção e o controle. Quanto à direção de visualização, esta pode se dar por visada direta ou indireta. Na direta, manipulação e observação se dão na mesma visada podendo ser *ótica* ou *por vídeo*. A primeira se caracteriza pela visão não mediada do real, sendo o elemento virtual projetado sobre ela. É o caso da visão ótica direta, quando os objetos virtuais são projetados diretamente na retina, e da RA espacial, na qual os objetos virtuais são projetados diretamente sobre o cenário real. A segunda se caracteriza pela visão mediada do real, feita por uma tela, na qual as imagens do real e virtual são renderizadas em conjunto na constituição do vídeo. É o caso dos visualizadores de apontamento direto manuais, como os celulares e *tablets*, e dos de visão direta por vídeo, como os que se acoplam à cabeça. Na visada indireta, por sua vez, a manipulação e observação se dão em visadas diferentes. Objetos no mundo real não estão alinhados com o *display*. Exemplo disso são sistemas que utilizam *webcams* e computadores em arranjo tradicional (HOUNSELL; TORI; KIRNER, 2018).

O papel aumentado

Papel aumentado é um termo abrangente não se referindo apenas ao uso de RA associada à folha de papel tradicional, como se poderia supor, mas a todo o conjunto de artefatos de papel que sirvam como interface para o mundo digital. Seu uso pedagógico tem sido defendido pela ampla ubiquidade do uso do papel nas escolas, o que permite a inserção dos artefatos educacionais digitais de forma fluida e intuitiva (Prieto et al., 2014).

Steimle (2012) os descreve em cinco grupos de acordo com a forma de interface: cartões e notas adesivas aumentadas, que utilizam símbolos correlacionados aos recursos digitais para os acessar e controlar; livros aumentados, que além de conteúdo impresso próprio, possuem *links* para acessar conteúdos digitais adicionais; cadernos aumentados, que sincronizam as anotações feitas em papel para uma versão digitalizada; documentos impressos aumentados, que permitem adicionar respostas e notas a conteúdo impresso; e mesas, blocos de cavaletes e quadros brancos aumentados, que combinam mídia baseada em papel com *displays* interativos sobre a mesa ou na parede.

Tal divisão não é exaustiva, havendo uma gama de tipos e subtipos de artefatos impressos não mencionados. Seguindo o padrão de nomenclatura anterior, incluímos um subgrupo aos livros aumentados, os *fotolivros*¹² *aumentados*. No último grupo, adicionamos o *pôster aumentado*, que pode ser utilizado tanto em paredes como sobre a mesa ou chão. Estendemos o conceito de *papel*, dos termos, para materiais de uso similar como tecidos e lona, com os quais pode-se fabricar artefatos análogos.

ÁGUA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Aproximando-nos de um rio, ouvimos seu burburinho, sentimos o frescor que o rodeia, vemos suas contínuas perturbações, e os reflexos do céu e das árvores que o rodeiam. Se as pernas nos levam a um ponto de remanso, nos vemos ali a nós mesmos, ao mesmo tempo em que pedras se revelam através de seu corpo translúcido, mostrando aos olhos que há mais ao fundo. Ao nos lançarmos a ele, a água que nos envolve confirma à pele sua presença, ao mesmo tempo em que afirma a nossa. Ela redemoinha no rio e circula também em nós, em infindas efetações moleculares. E se, como elemento, ela nos permite estar, como substância ao espírito, ela nos permite estar bem.

A ligação é umbilical. Nela, estamos envoltos no útero, e antes mesmo de ali estar, nos atrelamos em um passado filogenético e cultural que enraíza em nós uma urgência existencial e contemplativa. Mas há também em nós outras urgências, que se associam em hiperestruturas às urgências de nossos semelhantes para gerar ferramentas físicas e intelectuais que possuem dinâmicas próprias. Surgem, assim, ecossistemas antrópicos, insustentáveis localmente, cujo elevado nível de entropia se esparrama para fora do sistema.

Como os robôs de Isaac Asimov, as criações ganham independência e nos ameaçam. A cidade nos sequestra em automóveis cruzando pontes que nos separam do que por baixo delas corre. Os símbolos que consumimos estampam garrafas que reaparecem em enchentes. Os dejetos fluem dos apartamentos e retornam em doenças. A todo o momento somos lembrados de que a separação nunca foi completa. A sede é testemunha.

É preciso ajustar esse universo propriamente humano àquele no qual as demais espécies habitam. Disso, depende a sobrevivência delas e a nossa. A água é um recurso

¹² *Fotolivre* é um termo que designa livros em que as fotografias são protagonistas, podendo haver ou não texto, sendo usado tanto para álbuns de fotografia contemporâneos quanto livros de fotografia autorais. FELDHUES, Marina (2017) A presença dos fotolivros no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 40., 2017, Curitiba.

renovável, mas o limite de sua renovação esbarra em nossas demandas de uso. Embora a maior parte do planeta seja coberta por água, apenas 2,5% é água doce e mais da metade desse total não está disponível para uso. Além disso, a água não se distribui igualmente pelos continentes, havendo regiões abundantes e outras em grave estresse hídrico (KAZAZIAN, 2005). Também desigualmente distribuídos estão os impactos ambientais de seu mau uso, que tendem a se concentrar mais próximos às populações em vulnerabilidade social, impelidas a habitar espaços urbanos degradados (COELHO, 2011).

A captação, tratamento e distribuição de água exigem recursos que serão tão maiores quanto menor for a qualidade das fontes. O comprometimento de reservas aquíferas, portanto, gera custos que se refletem no preço da água fornecida para consumo. Tratar rejeitos domésticos, industriais e hospitalares também é oneroso, o que pode contrariar interesses individuais, os colocando em oposição a interesses coletivos. Os conflitos em torno dos diversos usos da água abrangem também: a construção de barragens para irrigação e geração de energia; captação de água subterrânea para consumo próprio, agricultura e pecuária; e uso de agentes químicos como inseticidas e fertilizantes em lavouras, que acabam chegando aos cursos d'água (BERLINCK et al., 2003).

O problema da disponibilidade e qualidade da água é ambiental, mas também é técnico, econômico, social e político. Entender como essas diversas esferas atuam e se relacionam é o primeiro passo para que indivíduos e comunidades possam atuar na preservação e recuperação ambiental. Fomentar esse entendimento é o papel da *educação ambiental*. No caso da água, abrange o conhecimento do meio físico natural, particularmente do ciclo hidrológico; da estrutura urbana direta ou indiretamente relacionada, como sistemas de água e esgoto, pluvial, área cimentada, localização espacial de atividades de risco ambiental; do meio social, como os determinantes para ocupações e uso irregular da água e do solo; bem como do cenário político no qual se insere o problema, quais são os agentes tomadores de decisão e o que as motiva.

Previsão legal

O arcabouço jurídico brasileiro em torno da educação ambiental é robusto, havendo previsão constitucional e leis federais, estaduais e distritais endereçando o tema. Apesar da legislação extensiva, sua implementação é deficiente tanto em ambientes formais quanto informais de educação. Na constituição, a promoção da educação ambiental aparece no art. 225, § 1º, inciso VI, como uma incumbência do poder público para assegurar a efetividade

do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, devendo ser feita em todos os níveis de ensino (BRASIL, 2019).

A lei federal nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, prevê: que na formação básica do cidadão, deve ser assegurada a compreensão do ambiente natural e social; que o currículo do ensino fundamental deve abranger o conhecimento do mundo físico e natural; e que a Educação tem, como uma de suas finalidades, a preparação para o exercício da cidadania (BRASIL, 1996).

A lei federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999, por sua vez, dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Nela, a educação ambiental é estabelecida como componente essencial e permanente da educação nacional, sendo de incumbência das instituições educativas sua promoção de maneira integrada a seus programas educacionais. A lei também a define e elenca seus princípios básicos:

Art. 1º Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

[...]

Art. 4º São princípios básicos da educação ambiental:

I - o enfoque humanista, holístico, democrático e participativo;

II - a concepção do meio ambiente em sua totalidade, considerando a interdependência entre o meio natural, o sócio-econômico e o cultural, sob o enfoque da sustentabilidade;

III - o pluralismo de ideias e concepções pedagógicas, na perspectiva da inter, multi e transdisciplinaridade;

IV - a vinculação entre a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais;

V - a garantia de continuidade e permanência do processo educativo;

VI - a permanente avaliação crítica do processo educativo;

VII - a abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;

VIII - o reconhecimento e o respeito à pluralidade e à diversidade individual e cultural (BRASIL, 1999).

A compreensão da relação entre os elementos de que trata o inciso II exige uma abordagem interdisciplinar, localizada no tempo e espaço, capaz de permitir ao educando analisar a problemática de forma crítica (BACCI; PATACA, 2008). Sua relevância para este estudo é evidenciada pelos conflitos ambientais que se dão em torno do Ribeirão Sobradinho. Problemas socioeconômicos levam muitas famílias a procurar abrigo em pontes ou construir habitações improvisadas às margens do ribeirão. Esses locais normalmente possuem sistemas precários para a disposição de dejetos, que acabam no rio e comprometem a qualidade da água para outros usos, como a recreação.

O inciso VII se relaciona à educação baseada no lugar, discutida na sessão seguinte. A formação de consensos para fins de preservação e uso do meio ambiente costuma ser mais facilmente obtida a nível local, uma vez que pessoas em uma mesma comunidade tendem a compartilhar problemas e objetivos. A partir de exemplos próximos à escola, é possível expandi-los para a compreensão das questões em âmbito regional, nacional e global.

A resolução nº 2, de 15 de junho de 2012, do ministério da educação, pretende orientar a implementação da lei nº 9.795, estabelecendo as diretrizes curriculares nacionais para a educação ambiental. Alinhado com nossa pesquisa, o inciso IV do art. 14 prevê que, no contexto da educação ambiental, devem as instituições de ensino incentivar a pesquisa e a “apropriação de instrumentos pedagógicos e metodológicos que aprimorem a prática discente e docente e a cidadania ambiental” (BRASIL, 2012).

Em 2017, com a resolução CNE/CP nº 2, de 22 de dezembro de 2017, foi homologada a Base Nacional Curricular Comum. Nela, a educação ambiental perpassa a composição dos currículos e a formação de competências nas áreas da linguagem, ciências da natureza, ciências humanas e ensino religioso (BRASIL, 2017).

Baseada nessa resolução, a Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal (SEEDF) elaborou nova edição (1ª publicada em 2014) do *Currículo em Movimento do Distrito Federal: ensino fundamental*, no qual coloca objetivos para cada ano desse nível. Para aqueles alunos com os quais trabalhamos neste estudo, estão previstos no documento: para os 5^{os} anos, reconhecer os diversos tipos de poluição, discutindo atitudes para a preservação ambiental e soluções para superar a degradação ambiental, e compreender que a taxa de consumo dos recursos naturais está além da capacidade ambiental e humana de renovação; e para os 4^{os} anos, identificar as atividades econômicas do DF e suas relações com a saúde, a qualidade de vida, bem como a sustentabilidade ambiental (DISTRITO FEDERAL, 2018). A escola com a qual trabalhamos adotou este documento na construção de seu Projeto político Pedagógico (PPP).

A lei orgânica do Distrito Federal vai ao encontro do proposto ao colocar a obrigatoriedade de conteúdo programático de educação ambiental em todos os níveis da rede oficial de ensino. O art. 279, inciso XXII, estabelece ainda que deve o poder público “promover a educação ambiental, objetivando a conscientização pública para a preservação, conservação e recuperação do meio ambiente” (DISTRITO FEDERAL, 2017, p. 120).

EDUCAÇÃO BASEADA NO LUGAR

Talvez a mais referida definição, na literatura científica, de Educação Baseada no Lugar (EBL), seja aquela apresentada por Sobel (2005, p. 7, *tradução nossa*), que a entende como “o processo de utilização do ambiente e comunidade locais como ponto de partida para ensinar conceitos na linguagem das artes, matemática, estudos sociais, ciências, e outras matérias ao longo do currículo”.

Alguns pontos merecem destaque. Primeiramente, definir a educação como processo implica um enfoque na prática pedagógica, o que denuncia correlações com a educação experiencial de progressistas educacionais como John Dewey. De fato, as ideias defendidas pela EBL não são novas. Práticas de ensino e aprendizagem situadas e ricas em contexto remontam à antiguidade, com Aristóteles (ELFER, 2011) e as utilizadas há séculos pelas populações indígenas das américas (SEMKEN, et al., 2017). Apesar das raízes antigas, apenas recentemente a EBL surgiu formalmente como pedagogia. Adotar o lugar como epicentro da prática pedagógica, como argumentaremos adiante, é transformador.

O segundo ponto é o uso do artigo “o” na contração prepositiva que antecede *ambiente e comunidade locais*¹³, reforçado novamente pelo autor ao falar que a EBL “melhora a apreciação dos alunos *pelo* mundo natural”¹⁴ (SOBEL, 2005, p. 7, *tradução e destaque nossos*). O mesmo ocorre na expressão *no lugar*, na tradução de *place-based education*. Críticos têm argumentado que o uso é indevido por implicar determinação, o que retiraria a dimensão humana, caracterizando lugar apenas por aspectos naturais que estariam igualmente acessíveis a todos (visão muito comum no ensino de ciências). Tal abordagem ignoraria que os elementos que compõem o lugar se efetuem na consciência e têm significado. Os significados, por sua vez, constituem e são constituídos em vivências espaço-temporais que variam entre indivíduos e grupos (EIJCK; ROTH, 2010).

Parte da identidade pessoal é baseada na cognição do mundo físico pelo indivíduo, o que inclui memórias, sentimentos, atitudes, valores, preferências, conceitos e experiências comportamentais. Criamos um *senso de lugar* utilizando estruturas cerebrais especializadas para processar informação espacial, combinadas a emoções e comportamentos (LENGEN; KISTEMANN, 2012).

¹³ No original, *the local community and environment*.

¹⁴ No original, *enhances students' appreciation for the natural world*.

Por outro lado, se podemos falar que o lugar de um indivíduo jamais será estritamente o mesmo de outro, também é importante que consideremos o que lugares individuais tem em comum, sobretudo ao se pensar a relevância para determinada comunidade. A solução que adotamos é semelhante à de Maturana e Varela (2001) para o problema da objetividade nas ciências frente à impossibilidade de percepção da realidade sem considerar o perceptor. Para resolvê-lo, os autores utilizam o conceito da *objetividade-entre-parênteses*, que se funda na ideia de se estabelecer na regularidade das experiências individualmente vividas, pontos de convergência para se chegar a verdades não absolutas, mas funcionais.

No nosso caso, a realidade é o lugar, que pode variar de comunidade para comunidade, posto que não absoluto, mas, *entre-parênteses*, determinado. Encontrar essa base comum serve à função de aglutinar esforços localmente em prol de um bem compartilhado. Pelo senso de lugar, indivíduos e grupos criam identidades, ligações e algum nível de dependência. O vínculo gerado predispõe à valorização do lugar, o que, por sua vez, leva ao engajamento para sua conservação, recuperação e melhora. Grupos coesos nesses valores são mais fortemente motivados a agir dessa forma. A educação ajuda a promover tal ligação (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

A comunidade local

O estabelecimento da identidade de lugar não se restringe às cercanias do local onde o indivíduo vive. O advento da internet, seguido da popularização dos dispositivos móveis e mídias sociais, aumentou o contato com informações sobre lugares geograficamente distantes, com os quais podem ser estabelecidas ligações afetivas. A melhoria da eficiência na mobilidade dentro das cidades e entre cidades ao redor do globo diminuiu distâncias temporais de deslocamento, tornando regiões afastadas mais propensas a fazerem parte da construção dessa identidade. Não obstante esses fatores contribuírem para fomentar engajamento em nível regional, nacional e global, o processo tende a ser mais fácil de ser alcançado na esfera local, na qual os grupos costumam compartilhar problemas, desejos e aspirações (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

O cenário é passível de mudança ao longo do tempo. Na medida em que as conexões estabelecidas à distância se tornem mais fortes e os aparatos tecnológicos melhor incorporados à experiência, a barreira geográfica tende a ser cada vez mais permeável. Na educação pública brasileira, contudo, assim como na maior parte do mundo, os estudantes

prosseguem conectados fisicamente entre si e com o professor, com as salas da edificação, com as ruas e caminhos pelas quais chegam a elas, e todo o ambiente em torno desse contexto. Residindo na mesma cidade e, frequentemente, nas imediações da Escola, são afetados em maior ou menor grau pelos mesmos alagamentos, enchentes, falta de abastecimento de água, insegurança e outras tantas questões vinculadas geograficamente. Também tendem a ser maiores as congruências idiomáticas e culturais, padrão socioeconômico e expectativas de futuro.

Verdade é que, como regra, o *lugar* na EBL continua bastante atrelado ao contexto da comunidade que circunda a Escola. O caminho de menor resistência (em analogia ao percorrido por uma corrente fluvial ou elétrica) para se conseguir engajamento é, portanto, sensibilizar a comunidade e daí ampliar a discussão para níveis mais amplos. Esse é o caso da educação ambiental para a gestão e preservação de recursos hídricos. Conforme colocado por Catalão (2011):

As questões ambientais da água são globais, mas uma comunidade as vivencia de forma singular e única, daí a necessidade de abordagens pedagógicas vinculadas a contextos locais e que sejam apropriadas para as comunidades de aprendizagem reconhecerem seus problemas, assumirem a corresponsabilidade da gestão e encontrarem respostas criativas para enfrentar a crise (CATALÃO, 2011, p. 96).

Criando lugares em RA

Técnicas computacionais utilizadas na geração de ambientes de realidade virtual (RV) propiciam experiências sensório-motoras similares àquelas que temos habitualmente. Nesses ambientes, a movimentação, navegação e interação com objetos são consistentes a ponto de se criar um senso de presença. Os indivíduos sentem como se habitassem esse mundo, ao menos pelo período em que permanecem conectados aos dispositivos habilitadores da RV. Como no “mundo real”, buscam significado nesses ambientes e constroem narrativas integrando o que vivem nele a suas experiências passadas (MURRAY et al., 2000).

Psicologicamente, portanto, são também lugar, e as interações que nele ocorrem têm sido reconhecidas na pesquisa sociológica. Mas há peculiaridades. Ambientes de RV têm maior flexibilidade para personalização, o que torna mais diversa a experiência individual naqueles que são multiusuários. Os estímulos visuais, auditivos e tácteis, por sua vez, não reproduzem fielmente aqueles que experienciamos fora da RV, o que pode causar sensação de deslocamento do ambiente (FALCONER, 2017).

No caso da RA, esse problema é reduzido, uma vez que se utiliza como base o ambiente real, ao qual são adicionados os elementos virtuais. Estes, por sua vez, podem estar em: escala real, como no caso da inclusão de móveis em uma sala (PHAN; CHOO, 2010); aumentados, como na manipulação de moléculas virtuais sobre uma mesa (BERRY; BOARD, 2014); ou reduzidos, como na visualização de ilhas e organismos sobre um recipiente com areia (JI; WAKEFIELD, 2016).

Passam a ser colocados no mesmo contexto que o nosso, lugares microscópicos como o interior de uma célula e, também, lugares muito mais amplos, como uma cidade inteira. Ao mesmo tempo em que vista de cima, a cidade pode ser também manipulada, rotacionada e partida para revelar relações não observáveis quando em nossa escala. O lugar da sala passa a conter outros lugares, alterando nosso senso dela, e esses outros lugares também tem seu senso alterado em nós, à medida em que nos tornamos íntimos deles.

A forma de representação, contudo, não é neutra. Os aspectos gráficos e textuais pelos quais um lugar é representado lhe imprimem uma “voz” cultural e historicamente situada que fala ao leitor sua narrativa. O idioma afirma nacionalidade e territorialidade, os nomes revelam origens e pertencimentos. Os construtos sociais atrelados à representação do lugar se materializam nas relações sociais, afirmando ou negando direitos (EIJCK; ROTH, 2010). Um exemplo disso é evidenciado pela forma com que o *Google Maps*¹⁵ representa países cujas fronteiras são alvo de disputas territoriais. Arunachal Pradesh, uma região localizada no sul da Ásia, é disputada entre Índia e China. Para uma pessoa acessando o aplicativo da Índia, Arunachal Pradesh é mostrada como um dos 29 estados indianos. Caso o aplicativo seja aberto a partir da China, a mesma região é mostrada como Tibete do Sul (SPARKES, 2014).

Nossas representações também não são neutras e exprimem conceitos retirados de modelos científicos, associados a observações diretas e indiretas dos locais representados, de pontos de vista específicos sobre recortes e seleções parciais da realidade. Certamente devem muito a todo o contexto social, cultural e científico aos quais todos aqueles que influíram em seu desenvolvimento estão imersos.

¹⁵ Mapa e navegador digital da empresa *Google*[®].

TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

A empreitada pedagógica à qual nos lançamos é situada na Escola e ela não é um projeto social desinteressado. Pelo contrário, ela materializa ao mesmo tempo um direito, o de ser educado, e um dever, do Estado e da família educarem, ambos previstos no Art. 205 da Constituição Federal (BRASIL, 2019) e no Estatuto da Criança e do Adolescente, Art. 53 e 55 (BRASIL, 1990). Essas duas dimensões, de direito e dever, denunciam um duplo interesse na Escola: educação para o indivíduo e educação para o Estado. Tais interesses são o reconhecimento de que a educação que ocorre na Escola tem valor e propósitos sociais que a diferem de contextos educativos informais, como o da família. A diferenciação tem um elemento central: a natureza do conhecimento.

Chevallard (1998) se debruça sobre esse distanciamento. O *saber ensinado*, que é aquele explicitado durante as aulas, estaria idealmente localizado entre o saber constituído na sociedade em geral, que podemos associar ao senso comum, e aquele que circula nos meios acadêmicos, o *saber sábio*.

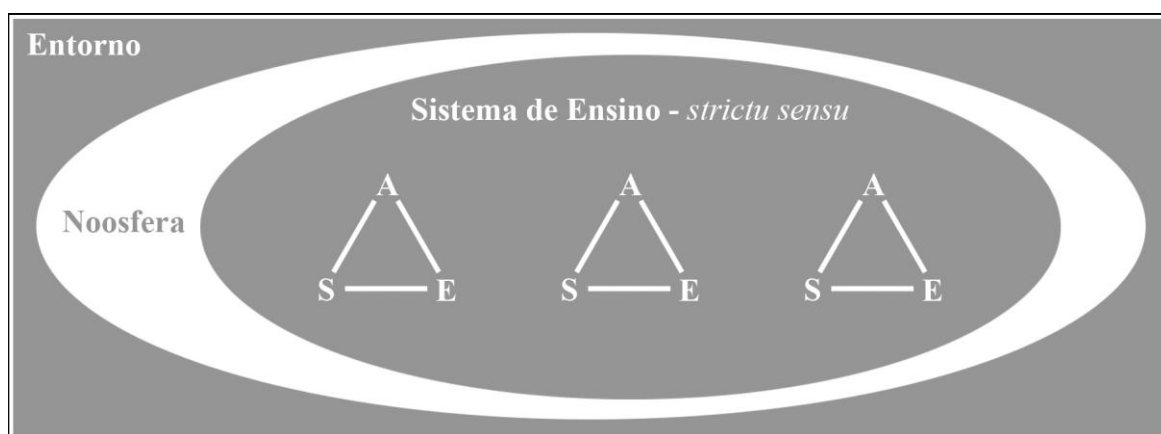
O saber do senso comum se liga intimamente às atividades do dia-a-dia, servindo à execução da maioria das tarefas quotidianas das pessoas. O saber sábio, por sua vez, é por demasiado complexo para ser compreendido e utilizado em sua totalidade por elas. Isso não quer dizer que não seja útil, pelo contrário, sua inclusão no projeto da Escola se deu historicamente pelo reconhecimento de sua aplicabilidade. Da forma como é concebido dentro dos círculos especializados, contudo, sua penetração como saber na sociedade é baixa. Há, portanto, um caminho a ser trilhado: partir do *saber sábio* e chegar a um *saber ensinado* que atenda à função social da Escola. Esse caminho é a *transposição didática*, que abordamos a partir da visão do autor nos parágrafos seguintes.

Quando se constrói um programa educacional, são identificados dialeticamente aqueles *conteúdos de saberes* que deverão se tornar *conteúdos a ensinar*. Isso se dá explicitamente, com a elaboração do programa em si, no qual estarão listados, e implicitamente, na tradução dele. Uma vez tornado conteúdo a ensinar, um conjunto de transformações adaptativas acontecem para torna-los *objeto de ensino*, que são aqueles utilizados de fato na prática educativa.

São diversos os atores e elementos que participam desse processo. Em uma escala micro, temos os alunos, o ensinante e o saber ensinado compondo um *sistema didático*, conforme ilustrado na Figura 2. Imediatamente ao redor do sistema didático, está o *sistema de ensino*, que reúne diversos sistemas didáticos juntamente com um conjunto de

dispositivos estruturais que permitem o funcionamento didático e que nele intervêm em diversos níveis. O sistema de ensino está contido na sociedade como um todo, mas há nas suas imediações uma esfera com a qual interage mais diretamente, que é aquela onde se pensa o funcionamento didático. Chevallard (1998) a denomina *noosfera*, parodiando um conceito elaborado primeiramente por Pierre Teilhard de Chardin, um padre, teólogo, filósofo e paleontólogo que em seus estudos sobre o fenômeno humano, a concebe como uma “camada pensante” fora e acima da Biosfera, englobando “a cultura, ideias, espírito, linguagens, teorias, pensamentos, emoções, sentimentos, informações, geradas ou captadas desde o início da vida” (RIBEIRO, 2015, p. 197). Na *noosfera* descrita por Chevallard (1998), é que se enfrentam de modo mais imediato os problemas e demandas da sociedade frente ao funcionamento didático, onde se desenvolvem os conflitos, as negociações e também de onde surgem as soluções. Participam dela os representantes dos sistemas de ensino, com ou sem mandato, e também os representantes da sociedade.

Figura 2 – Relações entre *sociedade, noosfera, sistema de ensino e sistemas didáticos*, conforme propostos por Chevallard (1998), com adaptações.



As letras *A*, *S* e *E* representam, respectivamente, alunos, saber e ensinante (professor). Conectadas conforme a figura, formam um sistema didático. Fonte: elaborada pelo autor.

Percebe-se que há uma complexa e imbrincada rede de poderes, demandas, expectativas e limitações de ordem técnica, material, cognitiva e cultural que atuam ao longo da transposição didática. Dada a sua relevância para o resultado final da aprendizagem, seria de se esperar que os atores que participam da noosfera de modo geral e, particularmente, aqueles que estão dentro do sistema de ensino lhe dessem a devida atenção. Ocorre, porém, que essa dinâmica é frequentemente ignorada. Programas de

ensino são elaborados como se recortes prontos do *saber sábio* fossem. Professores frequentemente têm o *saber ensinado* de suas aulas como espelhos que refletem, diretamente, fatos científicos. Ao agirem dessa forma, os agentes negligenciam sua responsabilidade epistemológica, e verdadeiras normas didáticas passam despercebidas e acriticamente ditam condutas e saberes na prática pedagógica.

A análise didática constitui instrumento apto a identificar o problema e buscar soluções. Não é tarefa simples. Enxergar o problema vai além do mero apontamento. Reconhecer que o *saber ensinado* está em desacordo com o *saber sábio*, ou com as demandas da sociedade, pode causar sentimentos de culpa e fracasso. Numa reação de resistência, como as que ocorrem em terapias psicanalíticas freudianas, o sujeito pode negar a existência do problema.

Por esse motivo, o resultado da análise didática está muito atrelado a como se concebe a transposição didática. Uma primeira postura é apontar o distanciamento dos conteúdos dos saberes como falhas de transposição didática, como fuga aos ideais de saber do campo de conhecimento que o professor representa. Nessa hipótese, ela seria um mal a ser evitado, ou ao menos minimizado. Essa postura tende a criar uma atmosfera inquisitiva, que aumenta a resistência em admitir sua ocorrência, tendo pouco resultado prático. Outra opção é enxergar na transposição didática uma oportunidade para busca pela “boa” transposição didática. Essa visão otimista, contudo, pode limitar as iniciativas de ensino àqueles temas que já foram transpostos didaticamente de maneira ótima, sob o risco de incorrer em uma má transposição. Uma terceira posição é adotar uma postura pragmática, na qual se deveria buscar uma síntese dos exemplos de sucesso da construção histórica do saber, “deixando de lado os becos sem saída, os fracassos, mas reempregando toda a riqueza dos desenvolvimentos fecundos e às vezes esquecidos” (CHEVALLARD, 1998, p.55, tradução nossa).

Por fim, há a postura que funda a própria didática como campo científico, ao admitir a especificidade e heterogeneidade do projeto de construção didática dos saberes. É esta última que adotamos neste trabalho. Nesse sentido, a transposição didática é manifestação da distância obrigatória do saber sábio ao saber ensinado e é também ferramenta conceitual para se questionar a enganosa familiaridade com o objeto de estudo, tomar distância dele e interrogar evidências.

Cabe ainda fazer a distinção entre a transposição que ocorre dentro do sistema de ensino, a *transposição interna*, e aquela que ocorre fora dele no âmbito da noosfera (por

especialistas e autores de livro, por exemplo), a *transposição externa* (MAGALHÃES JÚNIOR; TOMANIK; CARVALHO, 2016).

Transpondo saberes para o ensino em RA

A transposição didática não se encerra como produto acabado no momento em que determinado conteúdo é didatizado. Os saberes sábios mudam com o tempo. Também o fazem os valores e demandas da sociedade, as forças políticas, as condições materiais e institucionais da Escola, as condições psicológicas dos integrantes do sistema didático e todos os demais fatores atuantes no fenômeno. Pode ser o caso de o *saber ensinado* se tornar inadequado. Um fator relevante de mudança que se impõe atualmente e que diz respeito à nossa pesquisa é a crescente ubiquidade das Tecnologias Digitais da Informação, Comunicação e Expressão (TICE).

As TICE trouxeram consigo novas formas de armazenar, processar, organizar e apresentar informações. Nas fronteiras do conhecimento, grandes volumes de dados passaram a ser analisados de forma automática, o que permitiu novas descobertas científicas que mudaram e continuam mudando o saber sábio a cada instante. A própria natureza dos saberes, pode-se argumentar, passou a sofrer mudanças.

Conforme colocado por Lévy (2010b), o uso de ferramentas físicas e intelectuais é capaz de operar mudanças na própria humanidade. Evidências fósseis e arqueológicas sugerem que características como a robustez do dedo polegar presente em humanos, por exemplo, evoluiu muito depois da primeira aparição da fabricação e uso de ferramentas. Isso é indicativo de que a intensificação da manipulação de ferramentas foi um fator na evolução de aspectos derivados da anatomia da mão humana (RICHMOND; ROACH; OSTROFSKY, 2016, p.516).

Com o surgimento da escrita, por sua vez, o edifício cultural das sociedades mudou da memória humana para o registro físico. Isso permitiu o desenvolvimento da filosofia, das ciências, da história e do direito, conforme os concebemos hoje. Tais domínios do conhecimento não são apenas registrados na forma escrita, mas se constituíram nela. Foi a partir de arquivos, listas, tabelas de números e códigos legislativos que eles se sistematizaram (LEVY, 2010). Artaud (1958) vai mais longe em sua análise, colocando a própria forma de estruturação do pensamento humano como determinante da experiência:

um homem cultivado “civilizado” é tido como uma pessoa instruída em sistemas, uma pessoa que pensa em formas, sinais, representações – um monstro cuja faculdade de derivar pensamentos de atos, ao invés de identificar atos com pensamentos, é desenvolvida ao absurdo [...] eu diria que é essa infecção do humano que contamina ideias que deveriam ter se mantido divinas (ARTAUD, 1958, p. 8-9, *tradução nossa*).

Neste estudo, a transposição didática foi feita considerando-se os sistemas de realidade aumentada (RA) a serem utilizados no momento da instrução e, também, as condições de seu desenvolvimento. Não partimos, contudo, de um saber sábio descontextualizado. O projeto teve início dentro de uma escola nas quais aulas que abrangiam parte dos conteúdos a serem ministrados já ocorriam. Havia, portanto, saberes sábios já didaticamente transpostos em maior ou menor grau.

Aqui, cabe trazer o conceito de transposição midiática, desenvolvido por Garonce e Lacerda Santos (2012). Em contraposição à transposição didática, de natureza epistemológica, relativa ao conhecimento, os autores descrevem a transposição midiática, de natureza metodológica, relativa ao meio. O conhecimento já didatizado anteriormente, seria recortado e ajustado para um novo meio, influenciado por fatores humanos e tecnológicos. Por este motivo, pode ser entendida como uma transposição didática de segunda ordem.

Retornamos ao problema ontológico da realidade. Ao tentar propor *as didáticas matemáticas* como ciência, Chevallard (1998) critica uma postura epistemológica excessivamente relativista, defendendo como condição necessária para ela a existência de:

um objeto pré-existente e independente com respeito às nossas intenções e dotado de uma necessidade, com seu próprio determinismo; um objeto, portanto, cognoscível, no sentido em que a atividade científica, em todas as áreas em que foi implantada até agora, pretende conhecer o mundo (CHEVALLARD, 1998, p.14, *tradução nossa*).

O objeto que pretende o autor estabelecer para o seu campo são os sistemas didáticos (relações entre saber, ensinante e aluno). Não seria objeto da ordem da natureza, mas objeto *tecnocultural*, de formação histórica e, ao mesmo tempo, contendo um “espírito” (a exemplo do “espírito” das leis) a ser explicado por nós.

Tal visão se distancia da *objetividade-entre-parênteses* de Maturana e Varela (2001), que adotamos como postura epistemológica neste trabalho. Isso implica algumas considerações a respeito do objeto mencionado. Não consideramos o sistema didático objeto inteiramente cognoscível, pois seus constituintes (estudante, ensinante e saber) são

fundamentalmente incognoscíveis, só podendo ser “conhecidos” pela ciência didática em uma perspectiva de objetividade-entre-parênteses.

O saber para nós é, assim, uma abstração útil, construída no processo negocial entre as partes que o elaboram. No caso do saber sábio (como acadêmico), o consenso dos especialistas; no caso do saber a ensinar, o consenso dos planejadores da educação; ou, no caso do saber ensinado, um consenso indireto, obtido a partir do uso de métodos e instrumentos, esses sim, pré-estabelecidos consensualmente.

Retornando à transposição midiática, julgamos frutífera a consideração de uma transposição didática de segundo nível, mas como indicação da formação histórica do saber ensinado. Com efeito, pode-se conceber vários níveis de transposição. Os níveis atuam, para nós, como registro dos sucessivos recortes ou pontuação dos trabalhos de transposição já desenvolvidos e dos quais os seguintes são devedores. São, eles mesmos, abstrações úteis que servem a um propósito. No caso, a qualificadora “*midiática*” indica que a mudança de mídia foi o principal aspecto a ser considerado, sendo as alterações de saber (a ensinar e ensinado) minimizadas na autodeclaração do termo. Não sendo nossa intenção destacar os efeitos epistemológicos da mudança metodológica, abandonaremos a qualificadora.

Para nós, a via da transposição didática não é *stricto sensu* unívoca. Parte de pontos diferentes, se divide, se combina e se entrecruza. Idealmente, ao fazer a transposição para ordens maiores que 1, a transposição revisita o saber sábio do campo que se quer intervir, reconfigura o saber a ser ensinado dialogicamente com o novo contexto e também incorpora o saber sábio da didática gerado nas ordens inferiores, resultando em um novo saber ensinado.

CONTEXTO DA PESQUISA

Este estudo foi realizado entre abril de 2016 e dezembro 2018. De modo mais estrito, a pesquisa abrangeu a Escola Classe 05 de Sobradinho (EC5) e, de modo mais amplo, a região de Sobradinho e adjacências, em especial a que abarca o Ribeirão que leva o nome da cidade. Foram consideradas também a sub-bacia do Ribeirão e a bacia do Rio São Bartolomeu, da qual ele faz parte, tanto no que diz respeito aos impactos ambientais reflexos de atitudes locais, quanto aos impactos presentes e futuros da atuação dos sujeitos da pesquisa.

A Escola Classe 05 de Sobradinho

A Escola Classe 05 de Sobradinho foi inaugurada em 1965 e faz parte da rede pública do DF desde 1966. Está localizada na região administrativa de Sobradinho – DF, a 300 m das margens do Ribeirão Sobradinho. Da porta da escola, é possível ver ao fundo a vegetação da mata de galeria, que desaparece tão logo adentramos seus muros pintados, onde se lê: “educar estimulando o senso crítico e a responsabilidade, para construção de uma nova sociedade”.

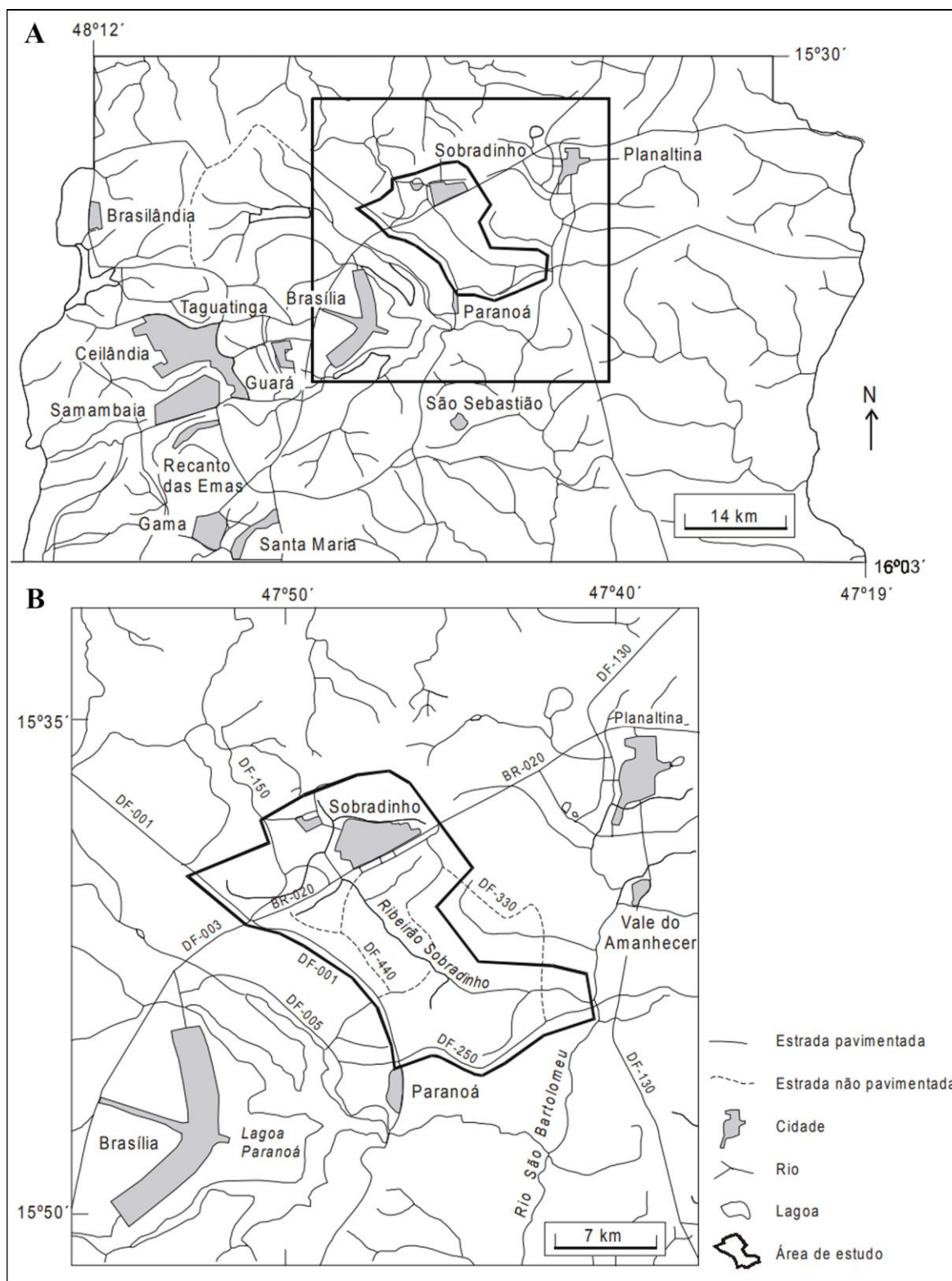
Ao todo, são 46 docentes (37 efetivos e 11 contratos temporários) atuando na instituição, de um total de 103 profissionais. Além de 18 salas de aula e espaços administrativos, a escola dispõe de: laboratório de estudos, sala de serviço de orientação educacional; enfermaria; cantina com refeitório para alunos; brinquedoteca; quadra de esportes; parque infantil; pátio livre descoberto; pátio de entrada coberto; e sala de informática, funcional e com conexão à internet. O piso do parque, pátio livre e de entrada é na maior parte de concreto. Aos fundos da escola há um gramado, preferido dos recreios, e algumas árvores estão presentes nos canteiros que disputam espaço com as áreas cimentadas.

A escola funciona em dois períodos, matutino e vespertino, e atende atualmente 649 alunos, de 5 a 14 anos, assim distribuídos: dois alunos de classe especial no turno vespertino; 50 alunos de educação infantil; 93 alunos no 1º ano do ensino fundamental (currículo de nove anos); 119 alunos no 2º ano do ensino fundamental (currículo de nove anos); 142 alunos no 3º ano do ensino fundamental (currículo de nove anos); 133 alunos no 4º ano do ensino fundamental (currículo de nove anos); e 110 alunos no 5º ano do ensino fundamental (currículo de nove anos). A maioria dos alunos é residente da zona urbana de Sobradinho, outros habitam zonas rurais e condomínios próximos à cidade. A condição socioeconômica das famílias dos alunos é variável, com predominância de classe média baixa, algumas bastante carentes (ESCOLA CLASSE 05 DE SOBRADINHO, 2018).

O Ribeirão Sobradinho

A unidade hidrográfica do Ribeirão Sobradinho (Figura 3) se encontra na porção centro-norte do Distrito Federal, entre os paralelos 15° 36'25" e 15°45'35" e os meridianos 47° 53'00" e 47° 31'08". Faz parte da Bacia do Rio São Bartolomeu, que ocupa 62,5% da área do DF, drenando seu trecho central no sentido norte-sul (SALCEDO, 2006).

Figura 3 – Área de estudo.



(A) Mapa do Distrito Federal. (B) Unidade Hidrográfica do Ribeirão Sobradinho. Fonte (com modificações): ZOBY, José L. G.; DUARTE, Uriel (2001) *Caracterização Hidrogeológica da Bacia do Ribeirão Sobradinho - Brasília (DF)*. *Geo. USP Sér. Cient.*, v.1, p.79-99.

O ribeirão nasce em diversos pontos e olhos d'água nas partes mais altas de Sobradinho e sua calha principal contorna, desde seu início, a área urbana da cidade que lhe dá o nome, se estendo por 28 Km até o rio São Bartolomeu (DISTRITO FEDERAL, 2012).

A região possui aquíferos em dois domínios distintos: o domínio poroso, de grande extensão e continuidade lateral que recobre praticamente 99% da área estudada e onde estão localizadas as águas subterrâneas rasas; e o domínio fraturado, composto por rochas com fendas que permitem certo grau de permeabilidade vertical e lateral, onde se localizam as águas subterrâneas profundas. O primeiro domínio é alimentado sobretudo pela água das chuvas e o segundo, por sua vez, é alimentado pelo primeiro. A impermeabilização reduz a infiltração no domínio poroso o que compromete o abastecimento de todo o sistema. Outra questão que se coloca é a captação de água por meio de poços rasos e profundos. Ambas as camadas aquíferas são utilizadas na região para abastecimento humano, sendo a primeira principalmente pela população rural e alguns condomínios que utilizam poços rasos, e a segunda, mais comum, por condomínios que utilizam poços profundos. Neste último caso, parcela da água captada retorna ao aquífero superficial, uma vez que os condomínios utilizam fossas sépticas ou negras para as águas residuais (ZOBY; DUARTE, 2001). Exemplo disso é o Condomínio Alto da Boa Vista (CABV), que utilizou a recarga artificial como meio para a regularização da utilização dos aquíferos fraturados na região (CAMPOS; GASPAR; GONÇALVES, 2007).

Antes mesmo de aflorar à superfície, o volume das águas subterrâneas do Ribeirão Sobradinho é afetado por captações, desmatamentos e impermeabilizações superficiais sem critério. No trecho ao longo da cidade, que somada aos condomínios conta com cerca de 150 mil pessoas, há disposição final de rejeitos industriais e do agronegócio, águas pluviais misturadas a esgotos clandestinos e resíduos sólidos urbanos. Também há ocupações irregulares do solo em suas margens. A cerca de 500 m da BR-020 há lançamento de efluentes oriundos da estação de tratamento de esgotos (ETE) de Sobradinho, operada pela CAESB, que trata os esgotos domésticos de Sobradinho e dos condomínios do Grande Colorado. Este é o ponto de maior impacto. Dele em diante, há 17,6 Km por propriedades rurais, o que é preocupante pelo aporte de nutrientes e químicos advindos do agronegócio e casos de lançamento irregular de efluentes (DISTRITO FEDERAL, 2012).

O Ribeirão Sobradinho corta três parques ao longo de seu curso e são eles, das primeiras nascente à área próxima à ETE, respectivamente: Ecológico e Vivencial de Sobradinho, criado pela Lei nº 1.427, de 1997; dos Jequitibás, criado pela Lei nº 16.239, de

1994; e Centro de Lazer e Cultura Viva Sobradinho, criado pela Lei nº 743, de 2007. Todos os dispositivos legais citados preveem a participação da sociedade civil na conservação e manutenção dos parques. Para que a previsão seja efetivada é fundamental que a população do local saiba de sua relevância e da relação entre a preservação deles e a do Ribeirão Sobradinho e vice-versa, o que revela a importância de um trabalho de educação ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo trata de uma pesquisa participante, entendida como aquela orientada a facilitar a transformação social por meio do envolvimento de uma comunidade na busca do conhecimento profundo de seus problemas na tentativa de solucioná-los. Esse tipo de pesquisa pretende: “não só conhecer os problemas, mas gerar juntamente à comunidade os conhecimentos necessários para definir as ações adequadas que estejam na linha de mudança, da transformação e da melhoria da realidade social” (ESTEBAN, 2010, p.178). Nessa abordagem, os sujeitos da pesquisa participam ativamente da tomada de decisões e execução de algumas das etapas. Sua utilização na área da educação se destaca porque o próprio trabalho é um método de ensino, uma forma de educar (MALHEIROS, 2011).

Seguindo os preceitos da pesquisa participante, conforme apresentados em Esteban (2010), estabelecemos como plano de ação inicial: (1) investigar a situação da escola quanto a iniciativas em educação ambiental e possíveis problemas ou pontos de melhoria nessa área; e (2) avaliar a situação do entorno da escola, particularmente do perímetro urbano do Ribeirão Sobradinho.

O resultado da primeira ação evidenciou a falta de materiais didáticos que endereçassem o tema. Conforme relatado pelos professores, quando havia algum material fornecido pelo governo, eles eram atrelados a políticas de conscientização ambiental instrumentais e pouco efetivas, não havendo nenhum que utilizasse o Ribeirão Sobradinho como palco para discussões acerca de educação ambiental ou temas relacionados, como o ciclo da água. Até o momento do início da pesquisa, iniciativas em educação ambiental haviam sido incipientes e esporádicas, situação que começava a se alterar com uma pesquisa de mestrado intitulada *A água como formadora do sujeito ecológico na escola*, de Heron de Sena Filho, sob orientação da Prof.^a Dra. Vera Margarida Lessa Catalão. A pesquisa, que se iniciou concomitantemente à nossa, investigava estratégias vivenciais de educação ambiental, tendo como foco a água. Conclusa ao final de 2017, foi importante

para pavimentar o caminho na escola para a parte final de nossa pesquisa, facilitando a participação dos sujeitos nas intervenções.

O resultado da segunda ação, por sua vez, evidenciou diversos pontos de risco e degradação ambiental ao longo do Ribeirão Sobradinho, incluindo a parcela que se localiza nas imediações da escola.

Com base nesses achados, apresentamos aos professores a realidade aumentada (RA) como possível ferramenta e a educação baseada no lugar como proposta pedagógica. A sugestão foi exitosa e, a partir daí, passamos a trabalhar em conjunto com eles para conceber, desenvolver e implementar um aplicativo em RA que pudesse suprir a falta de material didático em educação ambiental e que endereçasse a problemática ambiental do Ribeirão Sobradinho.

Ao longo da prática da pesquisa, foram sendo evidenciadas questões sobre a transposição didática, tanto no que diz respeito à que se dá na seleção dos saberes a ensinar, quanto na que ocorre do saber a ensinar ao saber ensinado. O conhecimento que ia sendo gerado na medida em que reuniões, aplicações em sala e desenvolvimento ocorriam, tinham dupla função: servir à pesquisa, e à melhora do aplicativo e seus métodos de uso para ensino.

A pesquisa pode ser dividida em três momentos, não sequenciais e inter-relacionados: (1) planejamento, uso e avaliação do aplicativo e atividades na escola; (2) registro em imagens e mapeamento aéreo do Ribeirão Sobradinho; e (3) desenvolvimento do aplicativo. A seguir, descrevemos as técnicas e instrumentos adotados para cada um deles.

Coleta de dados sobre o planejamento, uso e avaliação do aplicativo

Nossas visitas à Escola Classe 05 de Sobradinho (EC5) se iniciaram em abril de 2016. Nos reuníamos com os professores durante os momentos de coordenação pedagógica, pela manhã, com os que lecionavam no turno vespertino, e à tarde, com os que lecionavam no período matutino. Nessas reuniões, foram definidos o Ribeirão Sobradinho e o ciclo da água como os temas centrais, e os 4^{os} anos como aqueles aos quais a temática se mostrava mais adequada ao currículo, uma vez que nestes anos era estudada a hidrografia do DF. Alguns professores dos 5^{os} anos, contudo, também demonstraram interesse em fazer parte da pesquisa, e eles e suas turmas foram incluídos. Ao todo, seis turmas participaram do estudo, sendo quatro do 4^o ano e duas do 5^o. O público alvo do

aplicativo, contudo, permaneceu sendo o 4º ano, uma vez que de 2019 em diante, não haveria sentido para os alunos trabalhar com o aplicativo ao cursar o 4º ano e fazê-lo novamente no ano seguinte. Os testes, portanto, foram iniciados com as turmas de 5º ano, o que permitiu ajustes maiores antes de iniciar o uso com as de 4º.

A partir do mês de setembro e conforme caminhávamos para uma maior especificidade dos objetivos, passamos a nos reunir separadamente com os professores dos 4ºs e 5ºs anos e a discutir o desenvolvimento do aplicativo para educação ambiental em RA. A importância do tema se tornou ainda mais evidente com o cancelamento da última reunião agendada para aquele ano por conta do racionamento de água enfrentado pela escola.

Inicialmente, se delimitou os temas que deveriam ser abordados, tomando-se como base o Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola, aquilo que eles já abordavam em suas respectivas turmas, e os principais problemas relacionados ao Ribeirão e à crise hídrica. Também fizeram parte da discussão os temas constantes dos PCNs para esse ciclo¹⁶. Posteriormente, os tópicos eleitos como mais relevantes e os principais problemas a eles associados foram sistematizados.

No ano de 2017, iniciou-se o desenvolvimento do aplicativo e mapeamento do Ribeirão. A primeira versão do aplicativo foi concluída em janeiro de 2018. A partir de então, seguiu-se um ciclo de desenvolvimento, teste preliminar e avaliação com o grupo de professores, que durou até o mês de maio. De junho a dezembro, o ciclo de desenvolvimento continuou, com a diferença de que o aplicativo era utilizado em sala com professores e alunos. A distribuição das turmas de 4ºs e 5ºs anos foi feita de modo que as aulas fossem iniciadas com os 5ºs e houvesse ao menos três semanas para efetuar ajustes antes da mesma aula ser conduzida com os 4ºs.

O objeto principal da pesquisa foi a transposição didática a partir da perspectiva da educação baseada no lugar (EBL), tendo a coleta de dados e ações de intervenção na realidade sido realizadas nos seguintes momentos: (1) levantamento do saber a ser ensinado presente no programa das turmas e identificação da interpretação e uso que os professores fazem dele; (2) reconstrução do saber a ser ensinado revisitando o saber sábio e reconectando aquilo que era ensinado com as necessidades da comunidade a partir da perspectiva da EBL, bem como levando em conta as características do aplicativo a ser desenvolvido; (3) proposição e implementação de métodos de ensino com sistemas de RA

¹⁶ Apêndices A e B.

adequados ao saber a ser ensinado; e (4) verificação do saber ensinado, tendo como base a interação dos alunos com o aplicativo durante as aulas e a aprendizagem a curto prazo.

No total, foram realizadas 24 aulas, quatro com cada uma das seis turmas. Utilizamos como elementos de coleta de dados a observação participante, questionários e representações pictóricas, grupos focais, entrevistas informais e vídeos. Para garantir a privacidade dos participantes, os nomes mencionados são fictícios. Os instrumentos de coleta de dados são detalhados a seguir.

Observação participante

A observação participante, ou observação ativa, é a modalidade de observação na qual o pesquisador assume uma postura de integração ao grupo. Ao fazê-lo, o pesquisador passa a ter acesso a situações habituais que ocorrem no local de pesquisa e entre os membros do grupo, e pode captar nuances de contexto que acompanham o comportamento dos observados (GIL, 2006).

Se adequa à nossa pesquisa uma vez que procuramos avaliar a realidade da escola e o processo de desenvolvimento a partir de dentro, das problemáticas sentidas pela comunidade. Desenvolver um objeto de aprendizagem com e para eles, implica perceber suas expectativas e necessidades, que raramente são dadas “de pronto”. Durante a fase de utilização do objeto de aprendizagem, por sua vez, a observação participante foi fundamental para identificar os problemas que surgiam.

Grupos focais

Grupos focais são formados quando o pesquisador/moderador reúne indivíduos que tiveram uma experiência comum ou que, presumidamente, compartilham opiniões. Neles, a figura do moderador serve a induzir o grupo a expressar suas opiniões com o mínimo de influência ou direcionamento possível. Durante o processo, o moderador deve procurar administrar as falas para que todos sejam ouvidos (YIN, 2016).

As discussões em grupo se mostraram um instrumento fundamental para identificar como os professores realizavam a transposição didática dos conteúdos até então e como ela seria feita na concepção dos métodos de ensino que seriam utilizados. Foram fonte de idealização, proposituras e avaliação do objeto de aprendizagem que desenvolvemos. Em nossas conversas com eles, buscamos adotar uma postura não diretiva, deixando o caminho

aberto para posicionamento e propositura das ações pedagógicas com uso da RA, balizando aquilo que era colocado dentro das possibilidades de desenvolvimento no âmbito da pesquisa.

Entrevistas informais

No decorrer da pesquisa, era comum, após a realização das aulas com o aplicativo, conversar a respeito da atividade recém desenvolvida. Nesses momentos, aproveitávamos para conduzir a conversa na direção de responder às nossas perguntas de pesquisa. Tais intervenções, nas quais pesquisador e entrevistado estão à vontade, em uma conversa direcionada pelo entrevistador, sem o rito ou a formalidade de uma entrevista tradicional, são conhecidas em pesquisa qualitativa como *entrevistas informais* (MALHEIROS, 2011). Essas oportunidades também eram momentos para que impressões, dúvidas e indagações surgissem tanto por parte dos professores quanto de nossa parte.

Questionários e representações pictóricas

Utilizamos questionários com questões abertas¹⁷, que são aquelas que não sugerem qualquer tipo de resposta, sendo as respostas espontâneas e dadas nas próprias palavras dos respondentes. Uma das vantagens desse tipo de pergunta é a possibilidade de receber respostas inesperadas, que ajudam a entender o assunto foco do estudo (VIEIRA, 2009). Utilizamos os questionários com duplo propósito: analisar o conhecimento prévio e posterior dos alunos acerca do tema (Aula 1); orientar a atividade e servir como base para questionamentos direcionados (Aulas 2, 3 e 4). Neste último caso, as respostas e representações pictóricas eram utilizadas para fazer questionamentos aos alunos sobre o que tinham visto. As respostas eram anotadas no diário de campo. Em todos os casos, explicações sobre as representações contidas nos aplicativos só eram feitas após os questionários serem respondidos e as indagações feitas. Nosso objetivo com isso foi investigar a potencialidade do aplicativo em fazer a transposição do saber a ensinar ao saber ensinado.

¹⁷ Apêndice C.

Vídeos

A grande vantagem da utilização de vídeo como meio de registro é captar, além da fala, as expressões não verbais (MALHEIROS, 2011). Não dispensam, contudo, a definição de parâmetros sobre onde, quando e o que registrar. Apesar de os videoteipes poderem ser pausados para análise pormenorizada de detalhes, uma câmera de vídeo tem muitas limitações, se comparada ao olho humano, e não irá captar tudo o que observadores humanos veem (YIN, 2016).

Anteriormente às filmagens, os pais ou responsáveis pelos alunos foram informados do contexto da pesquisa e necessidade das filmagens, tendo a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido¹⁸ sido requisito para sua realização. Aqueles alunos que não trouxeram o termo assinado foram posicionados fora do alcance das câmeras. Os vídeos foram tomados a partir de vista superior, em grande angular e captando todo o restante da sala. As respostas às perguntas e demais registros sobre a utilização, feitos no diário de campo, foram comparados às sequências imagéticas para verificar o contexto e dirimir dúvidas. Não obstante, a câmera não conseguiu captar com qualidade todos os diálogos, devido à distância de alguns falantes e às falas simultâneas. Como os alunos, professor e pesquisador se moviam em sala, também ocorreram obstruções.

Procedimento de análise dos dados coletados na escola

Para a análise dos dados, tomamos como referência os procedimentos descritos por Bardin (1977). Primeiramente, o material foi organizado e as respostas separadas por turma, aula e data. Em seguida, procedemos à leitura e releitura do material, utilizando as filmagens como referência. Na sequência, passamos a agrupar as respostas utilizando o tema como unidade de registro. Os agrupamentos iniciais foram refinados e reagrupados até chegarmos às categorias dispostas na Tabela 4, juntamente com uma descrição sintética de suas propriedades.

¹⁸ Apêndice D

Tabela 4 - Descrição das categorias de estudo.

Categorias		Descrição
<i>Loop</i>		A execução reiterada de uma animação, sem intervalo entre o início de uma execução e a seguinte, que faz com que eventos sejam percebidos em ordem inversa.
Nuance		Diferença entre o estado das coisas que pela sutileza não é percebida, ainda que esteja dentro do campo de visão do usuário.
Concretude		Elemento que representa com cor e volume entidade invisível ou abstrata.
Substituição		Representação de entidade visível cujas propriedades diferem do objeto representado a ponto de não permitir sua correta identificação.
Abrangência		Representação que engloba mais de um elemento e é percebida como referente a menos que o todo que representa.
Transparência		Modelo ou parte de modelo que não deveria ser percebida, mas interfere na representação.
Fragmentação		Entidades contíguas que por opção do desenvolvedor ou limitação dos meios são representadas separadamente.
Complexidade		Elemento ou sistema cujo número elevado de detalhes ou desorganização dificulta a compreensão.
Ângulo de visão		Orientação de elementos no campo de visão do usuário que não permite ou dificulta a identificação e localização no espaço.
Dimensão reduzida		Elemento que ocupa pouco espaço no campo de visão de modo que passa despercebido.
Dimensão ampliada		Elemento ocupa grande espaço no campo de visão do usuário dificultando a visão do todo.
Tempo de animação		Animação ou elemento que permanece no campo de visão por tempo insuficiente para que seja compreendido.
Multiplicidade síncrona		Uma animação ou objeto que retém a atenção do usuário fazendo com que outra apresentada ao mesmo tempo não seja percebida.
Multiplicidade assíncrona		Uma animação em <i>loop</i> que pela expectativa de seu início retém a atenção do usuário fazendo com que objeto ou outra animação apresentada anteriormente não sejam percebidos.
Descolamento modelos	entre	Destaque de modelo pertencente a um conjunto por aumento de escala ou mudança de posição que dificulta a percepção de sua ligação aos demais elementos.
Descolamento modelo e objeto real	entre	Posicionamento ou escolha de cor, textura ou tamanho que induz relações não intencionais com objetos reais.

Fonte: elaborada pelo autor.

As categorias evidenciam características do aplicativo que foram entraves à transposição didática do saber a ensinar ao saber ensinado, seja por não o efetuar por completo ou fazê-lo de modo distorcido. Concluso o tratamento do material, passamos à análise descritiva das categorias de cada assunto, que apresentamos na seção resultados.

Registro em imagens e mapeamento aéreo do Ribeirão Sobradinho

Foram feitos registros em imagens do ribeirão em dois momentos: durante o levantamento topográfico com uso de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT); e durante visitas a alguns pontos ao longo do Ribeirão. O primeiro momento teve como objetivo fazer um mapeamento da situação atual do corpo hídrico e servir de base para criação de um modelo inicial do Ribeirão. O mapeamento não permite visualizar o Ribeirão em si por conta da vegetação densa, com exceção de alguns pontos muito desmatados. As visitas serviam, portanto, para verificar visualmente as condições macroscópicas da água e das margens. Durante as visitas, também foram feitos registros em foto e vídeo, posteriormente utilizados no desenvolvimento do aplicativo nas aulas 2 e 4.

O levantamento topográfico foi feito com uso de VANT da área em torno da porção urbana do Ribeirão Sobradinho, cujas etapas são descritas abaixo. Com base no resultado delas se deu a criação posterior de um modelo 3D inicial do terreno.

- (a) Planejamento e configuração do voo: os percursos de voo foram definidos a partir de pontos de pouso e decolagem, considerando-se a autonomia do VANT e a largura do terreno a ser coberto às margens do rio. Os planos de voo foram então atualizados no *software*.
- (b) Execução dos voos e obtenção de imagens: a partir dos pontos de pouso e decolagem, foram posicionados um receptor e equipamento para acompanhamento e monitoramento do trajeto. Iniciou-se o voo com o lançamento do VANT que passou a percorrer o trajeto planejado. Durante o voo, o equipamento capturou imagens em intervalos periódicos de modo que pudessem se sobrepor parcialmente. O percurso foi acompanhado durante todo o tempo.
- (c) Ortorectificação e Mosaico no programa *ArcGIS® for Desktop*: as cenas obtidas na etapa anterior foram organizadas com base nos meta-dados coletados simultaneamente às fotos durante o voo. Em seguida, foram mosaicadas e

ortorretificadas utilizando-se *software* de processamento de imagens e aerofotogrametria.

Desenvolvimento do aplicativo

Embora as etapas de desenvolvimento não tenham seguido uma ordem fixa, se sobrepondo umas às outras, podemos identificar três fases principais: criação, ajuste e animação dos modelos tridimensionais (3D); integração dos modelos à plataforma *Android*[®] para uso com RA; e teste, adequação e avaliação do aplicativo.

Criação, ajuste e animação dos modelos 3D

Tendo em conta a dificuldade de observação direta daqueles fenômenos que são ocultos ou de difícil acesso, os modelos 3D tentaram evidenciá-los com animações em corte e uso de transparências. As representações não foram exaustivas, principalmente no que concerne aos problemas, que foram também discutidos durante a utilização.

No programa *ArcGIS for Desktop*, posteriormente à ortorretificação e mosaico das cenas obtidas no levantamento topográfico, os dados foram processados e a partir deles foi gerada uma nuvem de pontos tridimensional utilizada para criar um modelo digital do terreno. Esse modelo foi então ajustado, diminuindo-se sua complexidade, para que pudesse ser adaptado ao sistema de RA (modelos muito grandes exigem maior capacidade de processamento).

O modelo obtido na etapa anterior foi convertido para um formato editável por modelagem de polígonos no *Autodesk Maya*[®]. Seguiu-se, então, à edição do terreno, retirando-se faces que constituíam ruído e preenchendo-se locais de falha. Também foram realizados cortes tanto para ajustes das extremidades, quanto para divisão do modelo em segmentos. Os segmentos obtidos foram então editados, adicionando-se laterais que pudessem evidenciar as camadas do terreno e a presença de água.

O segmento do terreno que correspondia à área das nascentes serviu como base para criar o primeiro modelo para o ciclo da água. Esse modelo, contudo, foi considerado muito complexo nos primeiros testes com os professores e foi substituído por outro. Optou-se por fazer uso dos modelos gerados nessa etapa na *aula 4*, momento em que os alunos já estariam mais familiarizados com o terreno e a complexidade seria bem-vinda.

Os demais modelos – globo terrestre, terrenos (área de nascentes, DF, entorno do Ribeirão), nuvens, raios solares, árvores, arbustos, gramíneas, rio, gotas de chuva, estações de tratamento, tubulações, residências, reservatórios, EC5) – foram criados por modelagem de polígonos, texturizados e animados no *Autodesk Maya*. As texturas foram criadas no *Adobe Photoshop*[®] a partir de mapas UV exportados do *Autodesk Maya*. Após edição, as texturas foram exportadas do *Adobe Photoshop* e importadas para o *Autodesk Maya*.

Integração dos modelos à plataforma Android para uso com RA

Os modelos e animações criados foram importados no programa de criação de jogos *Unity*[®], que havia sido previamente integrado ao *Vuforia*[®] engine, um motor de RA. Nele, foi feita a sobreposição dos modelos a planos com imagens que serviriam de marcadores para a RA, fazendo os ajustes dimensionais necessários. Foram criadas duas versões do aplicativo: uma para uso com *tablets* e outra para uso com óculos de RA.

A criação de duas versões se justifica porque nos óculos de RA a tela deve ser dividida em duas para criar a visão estereoscópica. Ambas as versões foram publicadas na *Play Store*, loja virtual de aplicativos para *Android*, sob os nomes *O Ribeirão e a Escola* e *O Ribeirão e a Escola para Tablet*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos e discutimos a seguir os resultados do: registro em imagem e mapeamento aéreo do Ribeirão Sobradinho; e da concepção, desenvolvimento e utilização do aplicativo *O Ribeirão e a Escola*. As fases envolvendo o aplicativo foram divididas conforme nosso referencial teórico em: da realidade ao saber sábio; do saber sábio ao saber a ensinar; e do saber a ensinar ao saber ensinado.

Da realidade ao saber sábio

As visitas *in loco* e o mapeamento aéreo da região nos permitiram ter uma visão geral das condições e possíveis riscos ambientais do Ribeirão Sobradinho. Em todos os pontos visitados (Figura 4) encontramos evidências de ações antrópicas potencialmente prejudiciais à qualidade da água do ribeirão.

Figura 4 - Pontos visitados ao longo do Ribeirão Sobradinho.



Imagens dos pontos visitados (A a H). Parques (indicados em verde): Ecológico e Vivencial de Sobradinho (1); Dos Jequitibás (2); Centro de Lazer e Cultura Viva Sobradinho (3); e Recreativo e Ecológico Canela de Ema (4). Fonte: elaborada pelo autor.

Na região das nascentes (ponto A), havia sacos de lixo e pontos de despejo de entulho próximo às margens. Na estrada de terra que atravessa a região havia sinais de erosão provocada por águas pluviais, o que indica carreamento de material que pode causar assoreamento. Situação similar foi verificada nos pontos C e E. Ao contrário destes últimos, contudo, no ponto da região das nascentes a água estava límpida.

Seguindo o curso do rio, logo após a Associação de Desportos Recreativa Bancrévea, o ribeirão passa por um aterro (ponto B). No local, há uma placa indicativa da proibição de despejo de entulhos e a densa vegetação que cobre a área indica que, se ainda há lançamento no local, isso não tem ocorrido em grandes quantidades no passado recente. A água, contudo, corta camadas de rejeitos antigos que, em conjunto, ultrapassam 2 m de profundidade. Constatamos plásticos, borrachas, latas e rejeitos de construção civil presos à vegetação marginal. Além da poluição visual, aventamos a possibilidade de poluição química da água pelos materiais aterrados.

No Parque dos Jequitibás (ponto D), o ribeirão estava margeado por densa vegetação e não encontramos lixo ou entulho. O parque recebe a visitação de escolas, dentre as quais a EC 05, embora esporadicamente. Conforme relato de segurança do local, morador de Sobradinho, ações de preservação e recuperação do ribeirão, promovidas em governos anteriores haviam sido suspensas. Em uma retrospectiva da condição ambiental do ribeirão, ele nos relatou:

Quando eu era novo a gente costumava se banhar na região da nascente. Havia muita água e ela era limpa, e era ótimo. Hoje não dá mais, a água é pouca e o ribeirão está poluído. A água é malcheirosa. Até sofá e cavalo morto eu já encontrei aí.

JS, segurança do Parque dos Jequitibás

No ano de 2016, os alunos da EC 05 visitaram o ponto E, que dista cerca de 500 m da escola, no âmbito do projeto de educação ambiental *A água como formadora do sujeito ecológico na escola*, citado anteriormente. Neste ponto, encontramos despejo de lixo e entulhos, bem como moradores em situação de vulnerabilidade social.

Nas cercanias do ponto F, encontramos locais de despejo de entulhos e trânsito de carroceiros. Embaixo da passarela que corta o Parque Centro de Lazer e Cultura Viva Sobradinho foram achados colchões, garrafas e vasilhames plásticos. No ponto G foi encontrado lixo com matéria orgânica a céu aberto a cerca de 120 m do curso d'água. O Ribeirão neste ponto apresentava maior volume de água que em pontos anteriores e é

utilizado para banho, conforme relato de moradores da área que encontramos pelo caminho.

Após o ponto de lançamento dos efluentes tratados pela Estação de Tratamento de Esgoto de Sobradinho (ETE Sobradinho), nas proximidades da BR-020, a água é bastante malcheirosa. Há 100 m da margem há também um local de depósito de entulho e lixo a céu aberto (ponto H), com presença de moscas e outros insetos.

O mapeamento aéreo revelou outros problemas e riscos ambientais associados ao ribeirão que não haviam sido observados nas visitas *in loco* e difíceis de diferenciação pelas imagens disponíveis no *Google Earth*[®], sendo os mais relevantes: pontos adicionais de despejo de entulhos; atividades agrícolas e de suinocultura; residências irregulares; e áreas de preservação permanente (APP) desmatadas. A partir dos dados obtidos durante o levantamento topográfico também foi possível gerar o modelo apresentado na Figura 5, utilizado no desenvolvimento do aplicativo.

Figura 5 – Modelo gerado a partir de nuvem de pontos obtida após processamento de levantamento topográfico da região do Ribeirão Sobradinho.



Fonte: elaborada pelo autor.

Os resultados obtidos nesta etapa foram analisados à luz da literatura científica para melhor compreensão dos fenômenos. O mal cheiro verificado após o lançamento de efluentes é condizente com o resultado de um levantamento realizado em 2015, que constatou que o volume de esgoto despejado no Ribeirão Sobradinho era maior que a capacidade de depuração do mesmo (DISTRITO FEDERAL, 2016).

Entramos em contato com pesquisadores em biologia microbiana da Universidade de Brasília que realizaram coletas de água neste ponto e fomos informados que os resultados preliminares do estudo apontavam para a presença de bactéria hospitalar nas amostras. O resultado é preocupante, uma vez que a espécie identificada foi a *Klebsiella Pneumoniae*, responsável pela morte de uma idosa no hospital daquela região em 2015 (PORTAL G1, 2015).

O menor volume de água no ponto A em décadas passadas, conforme relatado acima por JS, pode estar relacionado à urbanização da área com a criação de grande número de condomínios a partir da década de 90. Edificações, ruas e calçadas tornam o solo impermeável, dificultando a recarga natural dos aquíferos que abastecem a área (CAMPOS; GASPAR; GONÇALVES, 2007).

Nesta etapa, procedemos à busca de saber sábio sobre o ribeirão de três maneiras: o visitando e significando nossa experiência por meio da literatura científica; obtendo uma representação do ribeirão por meio de imagens integradas no programa *ArcGIS*[®], cujos algoritmos computacionais são validados entre especialistas das geociências; e consultando diretamente especialista da área de biologia microbiana.

As visitas ao ribeirão e seu mapeamento se deram concomitantemente às idas à escola. O saber a ensinar que buscávamos orientou o saber sábio ao qual tivemos acesso e, por que não dizer, o que produzimos num acoplamento estrutural com as TICEs e referências bibliográficas que utilizamos? Conforme descrito por Maturana e Varela (2001), no acoplamento estrutural não há uma separação completa entre meio e organismo. A ação de um, causa alterações no outro e vice-versa, em uma dinâmica de modelamento e acomodação. O saber sábio orientou a produção de nossos instrumentos e também foi fruto deles, assim como nós.

Não buscamos expandir a noção de saber sábio a ponto de esvaziá-la, mas sim orientá-la à busca da objetividade-entre-parênteses, sob o risco de perder de foco nosso objetivo de transpor saberes que respondam à demanda da sociedade. Considerando um cenário um pouco mais complexo para a transposição, não nos cegamos às contingências e determinações de produção do saber sábio.

Ao contrário das ciências matemáticas, cujos objetos simbólicos obtidos na descrição racional da realidade conseguem operar com relativa independência das entidades que lhes deram origem, o objeto das ciências ambientais precisa ser revisitado constantemente. Um mesmo fenômeno, não raro possui explicações diversas, como é o caso dos mecanismos de recarga dos aquíferos. Temos conhecimento deles de modo

bastante indireto, muitas vezes com base em perfurações pontuais a partir das quais desenhamos um cenário daquilo que está abaixo de nós. Explicar o porquê de a água ser encontrada a duas profundidades diferentes e não sê-lo em uma posição intermediária, por exemplo, pode encontrar tutela: no *modelo das duas superfícies potenciométricas*, que supõe uma camada de permeabilidade intermediária na qual o fluxo de água depende da pressão; e no *modelo físsuro-cárstico*, que pressupõe a existência de cavidades provocadas pela dissolução de rochas específicas, associadas a fraturas das rochas que as abarcam, pelas quais a água da camada superior escoia (LOUSADA; CAMPOS, 2005).

Para as bactérias encontradas, por sua vez, não há ainda uma explicação consensual entre especialistas. Não se sabe nem mesmo se o retorno ao mesmo ponto as revelaria novamente. Poderiam, os alunos e professores, auxiliarem na busca por explicações? Neste e em outros casos, a educação pode almejar, não apenas a transposição de saber sábio em saber a ensinar, mas a própria construção do mesmo?

Do saber sábio ao saber a ensinar

Após conclusa a etapa anterior, os resultados foram apresentados e discutidos nos grupos focais, à luz do currículo. Como os problemas do Ribeirão Sobradinho se relacionavam estreitamente com os fluxos de água dentro e fora do sistema, *o ciclo da água e os sistemas de abastecimento e saneamento* foram definidos como principais temas complementares. De forma acessória, os temas de localização espacial e bacias hidrográficas também compuseram o planejamento e execução.

Definidos os temas, passou-se à eleição do que abordar e como abordar. Nessa etapa, atuaram elementos internos e externos à escola, próprios da noosfera. Conforme colocado por Chevallard (1998):

A noosfera é o centro operacional do processo de transposição, que traduzirá em ação a resposta ao desequilíbrio criado e verificado [...] ali ocorre todo conflito entre sistema e ambiente e lá encontra seu lugar privilegiado de expressão. Nesse sentido, a noosfera desempenha um papel de tampão. Mesmo em períodos de crise, mantém a autonomia do funcionamento didáticos dentro de limites aceitáveis (CHEVALLARD, 1998, p. 34, *tradução nossa*).

São várias os fatores, declarados e ocultos, que regularam a autonomia que tínhamos para realização das atividades didáticas. Delimitamos aqueles que mais

diretamente afetaram o processo de desenvolvimento e os apresentamos nos tópicos que se seguem.

Limitações quanto aos assuntos

O currículo delimita assuntos gerais, dentro dos quais cabem uma infinidade de tópicos e abordagens. Não obstante, há uma cultura pedagógica na escola, expressa nos livros e materiais didáticos, e também na história formativa dos ensinantes. Tendemos a gravitar em torno das mesmas representações e formas de distribuição dos tópicos ao longo do planejamento. A entrada do pesquisador/desenvolvedor funcionou como um catalizador para mudança.

Um problema que eu vejo é a questão da fragmentação. Nós abordamos o tema da educação ambiental com os alunos, mas nunca dentro de uma ação maior. Com essa ação na escola nós podemos abordar os assuntos de forma conjunta.

GL, professora do 4º ano

A mudança a ser implementada, contudo, é feita dentro de limites. Os problemas que identificamos no ribeirão se relacionam a demandas sociais que merecem ser endereçadas. Os assuntos, portanto, devem idealmente possibilitar a geração de resposta a elas. Dentro dos temas principais propostos, procuramos identificar aqueles que melhor se adequavam à compreensão dos problemas do ribeirão e os dividimos em função deles, chegando à organização a seguir.

Assuntos referentes ao ciclo da água:

1. Precipitação e escoamento superficial
Problemas - erosão em área sem vegetação, e transporte de resíduos sólidos e poluentes químicos (pesticidas e fertilizantes);
2. Infiltração vertical e formação do lençol freático
Problemas - impermeabilização de áreas construídas e contaminação do lençol;
3. Infiltração lateral e formação das nascentes
Problemas - captações irregulares e poluição da água antes da descarga;
4. Infiltração vertical e formação do aquífero profundo
Problemas - captação irregular e contaminação;
5. Fluxo do curso d'água

Problemas: poluição (efluentes, resíduos sólidos, ocupação irregular), baixo volume de água e assoreamento;

6. Evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens

Problemas: maior evaporação em área desmatada e construída.

Assuntos referentes aos sistemas de abastecimento de água e saneamento:

1. Captação e adução

Problemas - captações irregulares, baixos níveis de água nos reservatórios, decisão política de conservação dos mananciais;

2. Tratamento e Distribuição

Problemas - custos financeiros e ambientais;

3. Consumo/uso

Problema - desperdício;

4. Rede coletora de esgotos

Problema - locais não atendidos;

5. Tratamento

Problema - a classe 3, na qual está enquadrado o Ribeirão Sobradinho, é inadequada para certos usos, como a natação;

6. Despejo

Problema: volume despejado no ribeirão após tratamento é superior à capacidade de depuração, diminuindo a qualidade da água após ponto de despejo.

Limitações quanto ao tempo

A escola possui os seus tempos e os desenvolvedores também. As crianças realizavam atividades dentro e fora de sala de aula, como as aulas de educação física. Além disso, há os tempos de intervalo para lanche e recreação. A preparação de atividades com sistemas de RA costuma demandar um tempo adicional de ajuste de equipamentos e organização do espaço e disposição dos estudantes. Tendo essas questões em perspectiva, as ações foram programadas nas maiores janelas de tempo, ao início e final dos turnos letivos.

Há muitas possibilidades de utilização dos sistemas de RA para ensino desses e outros assuntos relacionados aos temas. Antes de se chegar a um consenso, outros assuntos foram aventados como acessórios.

Eu estou trabalhando agora com eles em geografia a questão do relevo. Seria interessante que o terreno mostrasse as montanhas, dando um zoom nos vales. Assim eu poderia utilizar o material para essa aula.

RC, professor do 5º ano

Na medida do possível, procuramos atender às demandas, sempre buscando orientar as discussões para os temas centrais definidos e buscando o consenso. A colocação anterior nos levou a adicionar relevo ao mapa utilizado na aula inicial, mas sem alterar o plano de visão para dar enfoque aos morros. Caso o fizéssemos seria necessário maior tempo de desenvolvimento e de aplicação.

Limitações quanto aos sistemas de RA utilizados

Também a tecnologia utilizada impõe suas limitações. Os ambientes em RA devem apresentar os elementos virtuais e reais em tempo real, o que requer grande capacidade de processamento. Os modelos obtidos a partir do programa *ArcGIS*® se mostraram muito complexos para serem utilizados sem tratamento no aplicativo. Tentativas de simplificação automática foram ineficazes porque os modelos continham muita informação. No momento em que era processada a operação, detalhes como árvores e construções passavam a ser indiscerníveis. Foi necessário, portanto, a fragmentação dos pontos de interesse e a modelagem por polígonos.

Alguns aspectos estéticos também estão atrelados ao sistema. Além das cores, que mudam de tonalidade conforme o programa de desenvolvimento, a forma de processar e apresentar transparências também é distinta. A transposição de texturas com transparência do *Maya* para o *Unity/Vuforia* gerava um contorno que denunciava elementos que deveriam estar ocultos. Como resultado, a representação das árvores e arbustos foi completamente refeita.

Percebe-se que a criação dos modelos não obedece a um sentido unívoco dos tomadores de decisão e desenvolvedor até o programa informático, mas o próprio programa impõe aspectos estéticos. Estes são utilizados para representar saberes a ensinar, que no ato de se tornarem saberes ensinados significam a realidade na mente dos

estudantes. Conforme colocado por Lévy (2010b, p. 21) “não somente as técnicas são imaginadas, fabricadas e reinterpretadas durante seu uso pelos homens, como também é o próprio uso intensivo de ferramentas que constitui a humanidade enquanto tal”.

As ferramentas utilizadas neste estudo – tanto as físicas, como celulares e imagens, quanto as intelectuais, como os métodos de utilização – são constituidoras do pensamento e saberes dos alunos. A técnica que utilizamos orienta a escolha do recorte de conteúdo mais adequado a ela e vice-versa, dialogicamente.

Considerando a ubiquidade das TICE na sociedade, isso pode ocorrer nas instâncias mais amplas, como na seleção da base nacional curricular comum e dos currículos dos sistemas de ensino, ou, o que é mais comum devido ao contato mais direto com as técnicas didáticas disponíveis, na definição dos projetos político pedagógicos da Escola e da preparação dos planos de aula dos professores.

Em nosso caso, tanto a técnica como ferramenta de desenvolvimento quanto como ferramenta de ensino orientaram a transposição. Dentre os fatores que foram considerados estão: quantidade de dispositivos disponíveis; peso dos dispositivos; ângulos de visão; capacidade de rastreamento; e facilidade de uso.

Ações pedagógicas propostas

Como resultado do processo negocial, foram definidas quatro aulas com uso do aplicativo, apresentadas de modo sintético abaixo:

1) Aula 1 (Figura 6A)

Tema: situando o Ribeirão Sobradinho.

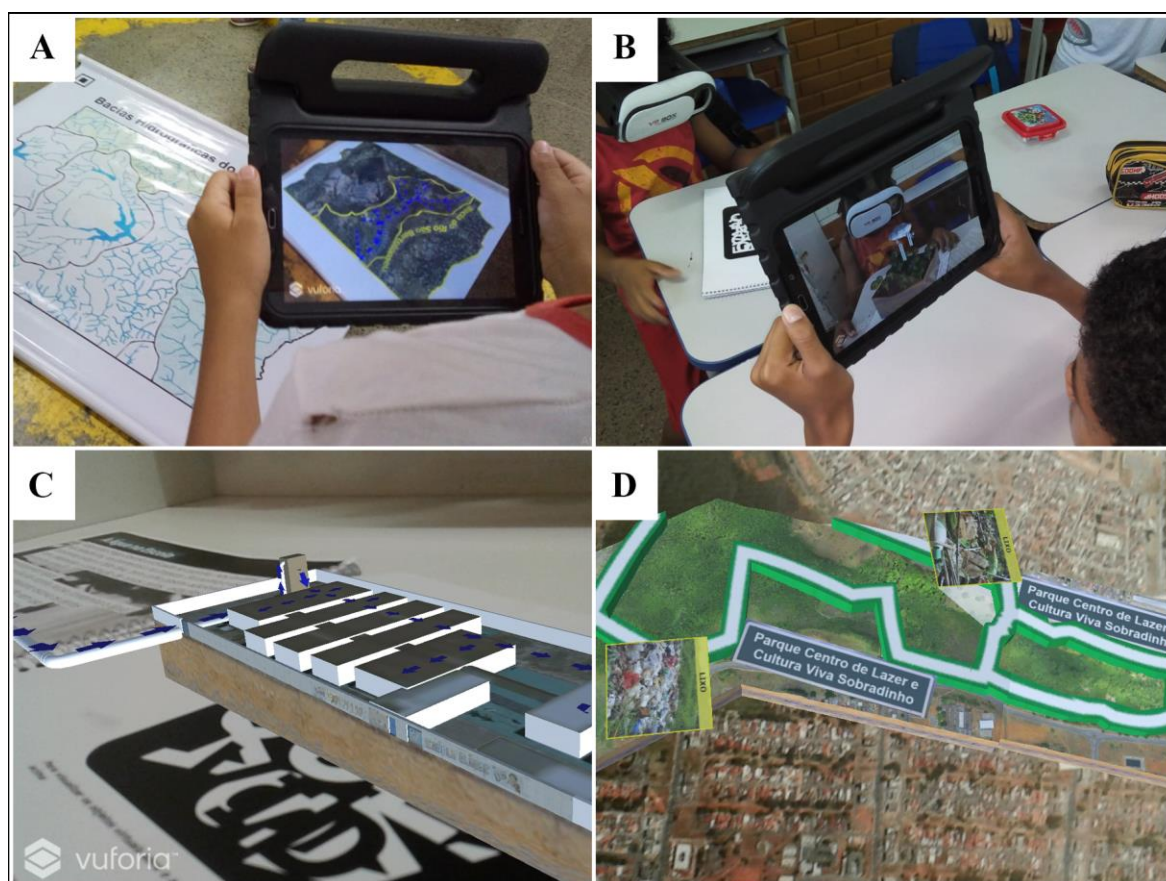
Saberes a ensinar: localização geográfica de Sobradinho, do Ribeirão Sobradinho, da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, do Distrito federal e do Brasil.

Interface 1^a e 2^a versões: *poster aumentado*.

Descrição: O pôster, disposto no centro da sala, servia como marcador (Apêndice E) para o carregamento dos modelos. Os alunos se distribuíam em volta do pôster e podiam circular livremente para ver as animações. O globo terrestre aparecia em movimento de rotação em sentido anti-horário e, após duas voltas completas em torno do eixo, se movimentava em direção ao piso colocando o mapa do Brasil em evidência. Este era ampliado e, a partir dele,

exibido o DF. O mapa se ampliava mostrando o plano piloto e a cidade de Sobradinho. Em seguida, era indicado o curso do ribeirão, seu ponto de encontro com o Rio São Bartolomeu e a área de sua bacia hidrográfica. Na primeira versão, o mapa do DF era uma imagem do *GoogleEarth* com relevo adicionado, e a região do ribeirão sobradinho era ampliada e mostrada em volume. O pôster, que era em si um mapa do DF, não aparecia dentro do aplicativo. Na segunda versão, o pôster e o mapa eram congruentes e o ribeirão sobradinho era mostrado diretamente sobre o mapa. Antes e após a atividade, os alunos respondiam o questionário referente a essa aula.

Figura 6 - Imagens do aplicativo *O Ribeirão e a Escola*.



(A) Aula 1; (B) Aula 2; (C) Aula 3; e (D) Aula 4. Fonte: elaborada pelo autor.

2) Aula 2 (Figura 6B)

Tema: ciclo da água.

Saberes a ensinar: precipitação e escoamento; infiltração e formação do lençol freático; formação de nascentes e do aquífero profundo; e evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens.

Interface 1^a, 2^a e 3^a versões: *fotolivro aumentado*, sem texto.

Descrição: Nesta aula, os alunos, separados em grupos de quatro pessoas, recebiam um livro com fotos que serviam como marcadores (Apêndice F) para apresentação das etapas do ciclo da água. Juntamente com o livro, eram distribuídos questionários nos quais os alunos deveriam representar o que viam em cada animação. A primeira e segunda versões continham quatro animações (uma por marcador) que mostravam os seguintes processos principais: (1) precipitação e escoamento; (2) infiltração e formação do lençol freático e nascentes; (3) infiltração e formação do aquífero profundo; e (4) evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens. Os principais ajustes entre a primeira e segunda versões se concentraram nos tempos de animação e refinamento das animações. A terceira versão foi uma reestruturação completa. Novos modelos foram elaborados e os processos subdivididos em: (1) precipitação; (2) infiltração e lençol freático; (3) precipitação e escoamento superficial; (4) infiltração e formação de nascente; (5) surgimento do aquífero profundo; e (6) evaporação, evapotranspiração e formação das nuvens.

3) Aula 3 (Figura 6C)

Tema: sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgotos.

Saberes a ensinar: captação e adução; tratamento e distribuição de água; consumo/uso de água; rede coletora de esgotos; tratamento de esgotos; despejo de esgotos.

Interface 1^a versão: *fotolivro aumentado*, com texto.

Interface 2^a versão: *cartões aumentados*.

Descrição: A primeira versão da aula foi elaborada para uso com fotolivro contendo imagens que funcionavam como marcadores, bem como textos acessórios. As animações mostravam, nesta ordem: (1) manancial representando a área das nascentes do Ribeirão Sobradinho, evidenciando o lençol freático e o aquífero profundo; (2) um modelo geral de um sistema de abastecimento de água mostrando a captação, adução, tratamento, reserva e distribuição; (3) a estação de tratamento de água de Pípiripau, uma das que abastece Sobradinho, bem

como seus principais pontos de captação; (4) a estação de tratamento de água de Sobradinho e seus pontos de captação; (5) o caminho (esquemático) que a água percorre das estações de tratamento até a escola; (6) modelo da Escola Classe 05, mostrando a chegada da água à caixa d'água e distribuição para os blocos de salas; (7) esquema de entrada e saída de água de um vaso sanitário, com destino à rede de esgotos; (8) rede coletora de esgoto, incluindo a escola e casas adjacentes; (9) chegada de efluentes à estação de tratamento de esgoto de Sobradinho, indicação genérica de tratamento e despejo subsequente no ribeirão. A segunda versão evidenciava os mesmos processos, mas no lugar do fotolivro foram utilizados cartões em formato de losango (Apêndice G) que os alunos deveriam buscar encaixar para formar o sistema como um todo. Não havia indicação de ordem pré-estabelecida, constituindo o conjunto dos cartões um quebra-cabeça. Juntamente com o material, era distribuída uma questão que solicitava a representação do caminho da água até a escola, bem como sua destinação final.

4) Aula 4 (Figura 6D)

Tema: problemas e riscos ambientais do Ribeirão Sobradinho, e suas possíveis causas.

Saberes a ensinar: assoreamento, poluição, falta d'água, diminuição do nível dos reservatórios e suas causas.

Interface 1ª versão: *pôster aumentado*.

Interface 2ª versão: *pôster e cartões aumentados*.

Descrição: esta aula foi elaborada no formato de um jogo. Na primeira versão, oito marcadores enumerados e nove indicados por letras apresentavam, respectivamente, problemas do ribeirão e possíveis causas. As causas não respondiam a um único problema, tampouco os problemas tinham apenas uma causa. Os alunos eram divididos em grupo e, num primeiro momento, podiam explorar o mapa livremente. Em seguida, cada grupo escolhia um problema e tinha de buscar possíveis causas, bem como explicar como estavam associadas. A cada problema resolvido, o grupo anotava, no questionário distribuído, sua resposta e escolhia um novo problema. Ao final da aula, as soluções eram discutidas e, para cada explicação plausível, o grupo recebia um ponto. Ganhava o grupo que tivesse mais pontos. A segunda versão do jogo teve dinâmica

similar, porém, marcadores com os problemas eram distribuídos em cartões, que se associavam por numeração ao mapa (Apêndice H). No mapa, eram representadas apenas as possíveis causas.

Do saber a ensinar ao saber ensinado

O objeto da didática é o ensino. Ensinar é um processo intencional em relação a quem recebe a comunicação. A intenção, contudo, não atinge o destinatário exatamente como idealizado pelo ensinante ou, em nosso caso, pelos ensinantes e desenvolvedor. Uma vez que o aplicativo é concebido, ele ganha independência nas mãos dos estudantes, que o utilizam dentro da forma e objetivos propostos, mas também fora deles, em dinâmicas próprias. Também particulares são as representações mentais que formam daquilo que percebem, que tentamos acessar de forma indireta por suas manifestações verbais e imagéticas.

Durante nossa investigação, a forma mais frutífera de fazer a ligação entre aquilo que os alunos percebiam, e os modelos que apareciam nos *tablets* e celulares em óculos de RA, foi observá-los durante o uso e questioná-los diretamente sobre o que observavam, bem como solicitando que explicassem *in loco* suas representações pictóricas. Conforme discutiremos a seguir, o primeiro momento do saber aprendido, ocorrido imediatamente após a visualização de cada animação, possuiu estreita relação com a forma como eram representados os modelos. Alguns aspectos eram previstos e intencionais dos ensinantes e desenvolvedor, outros eram resultado de avaliações equivocadas dos tempos escolhidos para representar os fenômenos, do modo como os volumes dos modelos eram alterados, ou mesmo de artefatos dos programas de desenvolvimento, dentre outros. As categorias de análise serviram ao objetivo de evidenciar as relações nas quais o saber ensinado se desviava do saber a ensinar por alguma característica da utilização do aplicativo.

Aula 1

Os resultados para a primeira aula são apresentados na Tabelas 5. Os problemas foram maiores para a primeira versão do aplicativo, para a qual os tempos de animação se mostraram inadequados, tendo sido uma categoria relevante para todos os assuntos, exceto na representação do Rio São Bartolomeu, principal da bacia.

Tabela 5 - Aula 1. Ocorrências das categorias nas turmas por assunto.

Assunto	Categoria	Ocorrências*									
		1ª versão				2ª versão					
		5º I	5º II	Total	%	4º I	4º II	4º III	4º IV	Total	%
Localização do Brasil	Dimensão ampliada	6	4	10	59		1			1	13
	Tempo de animação	4	3	7	41	2	1	1	3	7	88
	Total	10	7	17	100	2	2	1	3	8	100
Localização do DF	Tempo de animação	3	5	8	100						100
	Total	3	5	8	100						100
Localização de Sobradinho	Ângulo de visão	2	3	5	17	2		2	1	5	63
	Tempo de animação	4	4	8	28			2	1	3	38
	Multiplicidade síncrona	5	7	12	41						
	Descolamento entre modelo e objeto real	2	2	4	14						
	Total	13	16	29	100	2		4	2	8	100
Localização do ribeirão	Tempo de animação					1	1		2	4	100
	Descolamento entre modelos	4	3	7	70						
	Descolamento entre modelo e objeto real	2	1	3	30						
	Total	6	4	10	100	1	1		2	4	100
Rio principal da bacia	Substituição	1		1	33						
	Descolamento entre modelo e objeto real		2	2	67						
	Total	1	2	3	100						
Conceito de bacia	Abrangência	3	4	7	54	5	2	2	1	10	91
	Tempo de animação	2	4	6	46			1		1	9
	Total	5	8	13	100	5	2	3	1	11	100

*número de ocorrências da categoria no grupo.

Fonte: elaborada pelo autor.

No caso da localização de Sobradinho, o problema foi magnificado pela apresentação simultânea de outros aspectos geográficos para os quais os alunos voltavam a sua atenção (multiplicidade síncrona). Também foram relevantes neste assunto dois aspectos referentes ao mapa: o ângulo de visão e o descolamento entre modelo e objeto real. Como o mapa quadrilátero do DF é quase simétrico, a depender da posição em que o aluno se posicionava com relação a ele, Sobradinho se localizava acima ou abaixo no mapa. A indicação do nome da cidade em um círculo parece ter dificultado ainda mais a orientação conforme a representação tradicional. Para a primeira versão, o mapa impresso no pôster que servia de marcador não era o mesmo do apresentado nos modelos, sendo que a junção entre ambos não era perfeita. Ao utilizar o *tablet*, os alunos tentavam fazer a correlação, que nem sempre acontecia de modo correto.

Quanto à localização do Brasil, além da questão do tempo, a dimensão com que o globo aparecia no campo de visão também foi um problema. Os alunos focavam em múltiplos aspectos, tentando ver detalhes dos polos e dos continentes. Quando o globo se deslocava ao chão para dar enfoque ao mapa do Brasil, a dimensão continental já havia sido perdida. Na primeira versão, quando os alunos estavam próximos ao mapa, o globo se projetava muito próximo ao rosto dos estudantes e, por vezes, quando estavam inclinados em direção ao marcador, os alunos chegavam a ver o interior da esfera ao invés de seu exterior.

Localizar corretamente o Ribeirão Sobradinho foi dificultado na primeira versão pela opção que fizemos de ampliar a unidade hidrológica dele para mostrar de perto a nascente e a foz. O movimento de ampliação, a partir do modelo de mapa, fez com que, em alguns casos, se perdesse a noção de sua posição original. No caso do uso do *tablet*, o mesmo foi verdade para o descolamento em relação ao mapa impresso.

Para o Rio São Bartolomeu, a primeira representação foi feita em linhas contínuas o que ocasionou uma ocorrência de substituição, na qual um aluno questionou o porquê de aparecer aquela “raiz”. Novamente, a diferença entre a representação e o mapa impresso ocasionou incongruências. Por fim, além do tempo de representação, para a bacia hidrográfica, houve associação de identidade entre ela e o ribeirão, entre ela e o Rio São Bartolomeu, e entre ela e a linha que delimitava a bacia a leste.

Aula 2

A Aula 2 foi a mais complexa em termos de representação e os resultados de sua análise são apresentados na Tabela 6. As animações mostravam processos simultâneos com elementos que alteravam formato, posição e velocidade. Gotas de chuva caíam e se infiltravam até que a superfície ficasse saturada, momento no qual escorriam em direção ao vale do ribeirão, antes seco. Quando a chuva cessava, a água do ribeirão secava novamente. Além das gotas que escoavam, uma seta indicando *escoamento superficial* buscava atrelar o efeito ao conceito. Alguns estudantes, contudo, não conseguiam lê-la a tempo e animação reiniciava antes que o fizessem. Buscamos estender o tempo na segunda versão, mas houve novas ocorrências. Também foi o caso de, neste assunto, estudantes estarem com a atenção orientada a outros aspectos da representação no momento em que o nome aparecia, deixando de observá-lo por completo. O mesmo ocorreu nos dois assuntos seguintes.

Tabela 6 - Aula 2. Ocorrências das categorias nas turmas por assunto.

Assunto	Categoria	Ocorrências*										
		1ª versão				2ª versão				3ª versão		
		5º I	5º II	Total	%	4º I	4º II	4º III	Total	%	4º IV	%
Precipitação e escoamento superficial	Tempo de animação	3	2	5	42	2	1	3	25			
	Multiplicidade síncrona	3	4	7	58	4	3	2	9	75	1	100
	Total	6	6	12	100	4	5	3	12	100	1	100
Infiltração vertical e formação do lençol freático	<i>Loop</i>	2		2	17	1		1	7			
	Dimensão reduzida	3	3	6	50	2	4	2	8	57		
	Multiplicidade síncrona	2	2	4	33	3	1	1	5	36		
	Total	7	5	12	100	5	6	3	14	100		
Infiltração lateral e formação das nascentes	Nuance	4	7	11	55	5	1	2	8	47	2	67
	Ângulo de visão	1	3	4	20	3	2	1	6	35	1	33
	Multiplicidade assíncrona	2	3	5	25	2	1	3	18			
	Total	7	13	20	100	8	5	4	17	100	3	100
Infiltração vertical e formação do aquífero	Transparência	1	4	5	50	4		1	5	45		
	Dimensão reduzida	3	2	5	50		4	2	6	55	3	100
	Total	4	6	10	100	4	4	3	11	100	3	100
Evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens	Nuance	9	11	20	47	12	14	8	34	58	5	42
	Concretude	10	13	23	53	8	12	5	25	42	7	58
	Total	19	24	43	100	20	26	13	59	100	12	100

*número de ocorrências da categoria no grupo

Fonte: elaborada pelo autor.

No caso da infiltração vertical e formação do lençol freático, ocorreu em três casos totais (primeira e segunda versões) de o aluno iniciar a observação ao final da animação e interpretar seu reinício como a sequência dos eventos, afirmando que a água secava e então voltava a chover (categoria *loop*). Esta não era nossa intenção, uma vez que a animação seguinte tomava como ponto de partida o final do anterior. Além da multiplicidade síncrona, a dimensão reduzida da representação das gotas e do lençol freático em comparação ao terreno fazia com que por vezes ele não fosse percebido. Isso foi corrigido na última versão, que mostra uma secção menor do terreno, portanto, com elementos ampliados.

A infiltração lateral era sutil. O azul por entre espaços na textura lateral do terreno mudava de forma, passando a gradativamente preencher a terra sob o vale do ribeirão. Ocorre que detalhes como esse passavam despercebidos para alguns estudantes (categoria nuance), ainda que o lençol estivesse em seu campo de visão a movimentação era ignorada. Outra forma pela qual o processo passava despercebido, era quando os alunos observavam o modelo por outro ângulo (categoria ângulo de visão). Em ambos os casos, a tendência foi atribuir a formação do corpo d'água às chuvas.

Na formação do aquífero, foram duas as categorias que causaram discrepância entre o saber a ensinar e o saber ensinado. O fluxo de água era representado por pequenos pontos nas duas primeiras versões do aplicativo. Na terceira versão, as gotas eram um pouco maiores, mas o efeito se repetiu. Alguns alunos que observavam o modelo de um ângulo passível de visualizar o fenômeno não o percebiam, devido à dimensão da representação. É sensivelmente diferente do caso da nuance, na qual a instância objeto da ação é vista, mas as alterações nela não o são. A transparência, por sua vez, não era completa, o que dificultou dar a impressão de fratura à rocha. Alguns alunos descreveram a ação como água passando pela “areia”.

Para a evaporação e evapotranspiração, foram duas categorias de ocorrências, que se repetiram em todas as versões. Quanto à nuance, ela se referiu à diferença entre a evaporação e a evapotranspiração. Muitos estudantes não notavam a diferença entre o que estava escrito nas setas que indicavam o vapor de água e de onde elas partiam. Quanto à representação de raios solares, por sua vez, estes eram mostrados como finas colunas semitransparentes, ao mesmo tempo em que aparecia o termo *raios solares* em uma representação acima deles. Foi recorrente a associação a barras. Na mesma categoria, foram agrupados aqueles que não fizeram a relação entre as setas de evaporação e evapotranspiração, e o vapor de água.

Aula 3

Os resultados para a Aula 3 são apresentados na Tabela 7. Nessa aula tivemos o menor número de ocorrências com relação à compreensão dos modelos individualmente. A única categoria registrada nesse sentido ocorreu na captação e adução para estação de tratamento de água de Sobradinho, que era mostrada captando água da superfície e subsolo. Em dois casos os alunos, ao explicar a origem da água, apontaram apenas para a fonte superficial, ignorando a outra. Os demais casos se referiram à complexidade e à fragmentação. O primeiro caso se associou sobretudo à última versão do aplicativo, na qual foram utilizados os cartões. O quebra-cabeça se mostrou por demais complexo para alguns estudantes, principalmente para a etapa de tratamento e distribuição, que admitia mais possibilidades de encaixe, uma vez que havia duas estações de tratamento.

Tabela 7 - Aula 3. Ocorrências das categorias nas turmas por assunto.

Assunto	Categoria	Ocorrências*								
		1ª versão						2ª versão		
		5º I	5º II	4º I	4º II	4º III	Total	%	4º IV	%
Captação e adução	Substituição			1			1	33		
	Complexidade								2	100
	Multiplicidade síncrona		2				2	67		
	Total		2	1			3	100	2	100
Tratamento e Distribuição	Fragmentação	4		8	7	7	26	100		
	Complexidade								5	100
	Total	4		8	7	7	26	100	5	100
Rede coletora de esgotos	Fragmentação	1			2	1	4	80		
	Complexidade				1		1	20	3	100
	Total	1			3	1	5	100	3	100
Tratamento e despejo	Fragmentação		1				1	100		
	Complexidade								2	100
	Total		1				1	100	2	100

*número de ocorrências da categoria no grupo

Fonte: elaborada pelo autor.

A fragmentação, por sua vez, ocorreu exclusivamente na primeira versão. Isso faz sentido, uma vez que as páginas do fotolivro não permitiam saber ao certo o ponto de conexão entre as unidades representadas, a não ser que fosse feita a leitura do texto, o que raramente ocorria. Foi justamente com esse intuito que idealizamos o quebra-cabeças. Duas coisas devem ser ressaltadas. Em primeiro lugar, não foi nosso objetivo mostrar as etapas de tratamento de água e esgoto, mas apenas as estações como componentes do sistema. Isto certamente é um dos fatores que explica a quase ausência de incongruências na interpretação das etapas em separado.

Em segundo lugar, a complexidade observada na segunda versão não é *a priori* indesejada, uma vez que o ensino exige desafio para que o interlocutor pense a respeito de algo. O conhecimento exige um saber que agrega uma condição de veracidade, a exigência racional e elementos de prova (CASTRO; CARVALHO, 2018). É, portanto, construção.

Aula 4

Ao contrário das demais aulas, a Aula 4 não continha animações específicas para os saberes a ensinar, de modo que as categorias anteriormente descritas não tiveram forte correlação com os assuntos. Pelo contrário, a concepção do jogo se deu de tal modo que as relações entre causas e efeitos não fossem apresentadas. A função do aplicativo, pois, foi

revelar a dimensão virtual somente quando os alunos/investigadores estivessem à procura de pistas para solucionar os problemas. Também foi possível por meio dos modelos sobrepor camadas de informação. Nosso objetivo com esta ação foi, utilizando os saberes trabalhados nas aulas anteriores, compreender os problemas do ribeirão e buscar soluções, aproximando alunos da realidade dele e criando identificações de lugar.

O mapa impresso era constituído de uma imagem aérea sem qualquer indicação além dos números e marcadores. Sobre ela eram adicionados elementos virtuais, conforme se observa na figura 6D, que evidenciavam limites de parques, locais onde se podia achar lixo e outras fontes de risco ambiental. Os aparelhos serviam, portanto, como uma espécie de lupa de aumento ou equipamento raio-x, para revelar uma dimensão encoberta, oculta no mapa e oculta também em nosso dia-a-dia. Os problemas do meio ambiente estão lá, mas as hiperestruturas de civilidade que os produzem também nos envolvem, não nos permitindo percebê-los. Aqui eles são revelados no apontar dos aparelhos informáticos.

A escola também estava lá. Ponto preferido no mapa, havia sido modelada incluindo a pintura do muro da frente dela como textura. A causa de problema que se associava a ela era a área cimentada, representada por uma foto do pátio da escola com água empoçada. O pátio era imediatamente reconhecido e o ponto de interrogação permanecia por um tempo no ar. Área cimentada? O que poderia ter isso a ver com qualquer problema do ribeirão?

Ao final da atividade seguia-se o momento de discussão, no qual esta e outras dúvidas eram discutidas, hipóteses levantadas e soluções confrontadas. Uma questão de difícil resposta foi a presença de bactéria hospitalar tão distante do hospital. As explicações foram tão variadas quanto criativas. Entre pacientes que poderiam ter se banhado no ribeirão e correntes de ar que poderiam conduzir essas bactérias ao corpo d'água, surgiram relatos com tom de veracidade sobre sacos com lixo hospitalar que supostamente teriam sido avistados em descampados. Tendo ou não relação com um problema concreto, a atividade serviu à reflexão sobre a realidade do ribeirão, a da comunidade em seu entorno e a escola.

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de nossa análise, demonstramos a necessidade de conhecer a realidade local e incluir professores e estudantes no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e, deste, ao saber ensinado, com

vistas à educação ambiental baseada no lugar. A inclusão dos estudantes na determinação do saber a ensinar contraria a proposição de Chevallard (1998), para quem a dimensão do saber aprendido não deve ser objeto da didática.

Discutimos a dimensão filosófica dessa afirmação, contrapondo a dinâmica de produção do conhecimento matemático àquela das ciências ambientais e propondo uma interpretação ontológica diversa da natureza do saber, mais adequada às ciências ambientais, ancorada no conceito da objetividade-entre-parênteses de Maturana e Varela (2001).

Além da proposta teórica, nosso trabalho apresentou como produto um aplicativo em versão para celular com óculos de RA e *tablet* intitulado *O Ribeirão e a Escola*. As quatro aulas que ele abarca foram idealizadas para turmas de 4º ano, mas se mostraram efetivas também para uso com os 5ºs anos. O método de desenvolvimento e as categorias de análise que utilizamos servem como parâmetros para o desenvolvimento de aplicativos em RA para o ensino de ciências.

Embora não fosse o foco de nosso trabalho, notamos maior engajamento dos alunos nas atividades da Aula 3 e 4, que enfocavam a resolução de problemas. A última, em particular, teve grande adesão. Recomendamos para investigações futuras a avaliação do potencial pedagógico de uso de RA com problemas pouco estruturados e gamificação.

O processo de desenvolvimento de aplicativos em RA é laborioso e exige domínio de diferentes programas e plataformas. A criação de ferramentas autorais simplificadas que possam ser utilizadas por professores pode ampliar a forma de participação da comunidade escolar nas etapas de desenvolvimento desse tipo de aplicativo.

Durante a utilização do aplicativo houve três casos de não adaptação à utilização do aparelho celular com óculos de RA. Os sintomas incluíram náuseas, dor de cabeça e vômitos. Melhoras nos dispositivos e tecnologias de visão estereoscópica são desejáveis.

REFERÊNCIAS

AXT, M., SCHUCH, E. M. M. Ambientes de realidade virtual e educação: que real é este? **Interface Comunic, Saúde, Educ**, v. 5, n. 9, p.11-30, 2001.

AZUMA, Ronald; BAILLOT, Yohan; BEHRINGER, Reinhold; FEINER, Steven; JULIER, Simon; MACINTYRE, Blair. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v.21, n.6, p.34-47, 2001.

BACCI, Denise de La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. Educação para a água. **Estudos Avançados**, n. 22, v. 63, 2008.

BARDIN, L. L. **Analyse de contenu**. França: Presses Universitaires, 1977. 232 p.

BERLINCK, Christian Niel; CALDAS, Ana Luiza Rios; MONTEIRO, Aline H. R. Rendall; SAITO, Carlos Hiroo. Contribuição da educação ambiental na explicitação e resolução de conflitos em torno dos recursos hídricos. **Ambiente e Educação**, v.8, p.117-129, 2003.

BERRY, C.; BOARD, J. A Protein in the Palm of Your Hand Through Augmented Reality. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, p. 446-449, 2014.

BRASIL. Constituição Federal. 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 15 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 8.069, de 13 de julho de 1990, que dispõe sobre o estatuto da Criança e do Adolescente. 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8069.htm. Acesso em: 20 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9394.htm. Acesso em: 05 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. 1999. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm >. Acesso em: 19 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução nº 2, de 15 de junho de 2012. 2012. Disponível em: <http://conferenciainfante.mec.gov.br/images/conteudo/iv-cnijma/diretrizes.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNE/CP nº 2, de 22 de dezembro de 2017. Institui e orienta a implantação da Base Nacional Comum Curricular, a ser respeitada obrigatoriamente ao longo das etapas e respectivas modalidades no âmbito da Educação Básica. 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/RESOLUCAOCNE_CP222DEDEZEMBRODE2017.pdf. Acesso em: 22 fev. 2019.

CAMPOS, José Eloi Guimarães; GASPAR, Márcia Tereza Pantoja Gaspar; GONÇALVES, Tatiana Diniz Gonçalves. **Gestão de recursos hídricos subterrâneos no**

distrito federal: diretrizes, legislação, critérios técnicos, sistema de informação geográfica e operacionalização. Relatório de Consultoria Técnica. 2007. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/Estudo_Eloi-Gestao_DF_Integrado.pdf. Acesso em: 20 jun. 2017.

CASTRO, Amelia Domingues de; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensinar a ensinar:** didática para a escola fundamental e média. 2 ed. São Paulo, SP: Cengage, 2018.

CATALAO, V. M. L.; JACOBI, P. R. Água como matriz ecopedagógica; uma experiencia de aprendizagem significativa e sustentável. In: PAULA JUNIOR, Franklin; MODAELLI, Suraya (org.) (2011) **Política de Águas e Educação Ambiental:** processos dialógicos formativos e gestão de recursos hídricos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1, p. 95-99, 2011.

CHAPIN III, F. Stuart; KNAPP, Corrine N. Sense of place: A process for identifying and negotiating potentially contested visions of sustainability. **Environmental Science & Policy**, v. 53, pp. 38-46, 2015.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica:** Del Saber Sabio al Saber Enseñado. 3. ed. Tradução Claudia Gilmar. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1998.

COELHO, Maria Célia Nunes. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2011. 418 p.

DELEUZE, Guilles. **Diferença e repetição**. Tradução: Luiz Orlandi e Roberto Machado. 2 ed. Rio de Janeiro: Graal, 2006. 437 p.

DISTRITO FEDERAL. GT Ribeirão Sobradinho. **Relatório de Diagnósticos e Soluções para a Recuperação Ambiental do Ribeirão Sobradinho**. Distrito Federal. 2012. Disponível em: http://www.cbhmaranhao.df.gov.br/ribeirao_sobradinho/documentos/Diagnostico_Solucoes.pdf. Acesso em: 08 fev. 2017.

DISTRITO FEDERAL. Câmara Legislativa. **Lei Orgânica do Distrito Federal**. 2017. Disponível em: http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70442/LO_DF_ELO_102.pdf?sequencia=9. Acesso em: 10 jan. 2019.

DISTRITO FEDERAL. Comissão Interinstitucional de Educação Ambiental do Distrito Federal. **Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica**. 2017b. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Plano-27%C2%AA-ciea.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

DISTRITO FEDERAL. Zoneamento Ecológico-Econômico. 2016. **Disponibilidade Hídrica no Distrito Federal e o Ordenamento Territorial**. Disponível em: http://www.zee.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ZEEDF_CT03_Pre-Zoneamento_03A-Disponibilidade-Hidrica.pdf. Acesso em: 10 mar 2019.

EIJCK, Michiel van; ROTH, Wolff-Michael. Towards a chronotopic theory of “place” in place-based education. **Cult Stud of Sci Educ**, v. 5, p. 869-898, 2010.

ELFER, Charles Joseph. **Place-based education**: a review of historical precedents in theory and practice. 2011. 463 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – University of Georgia, Athens, Georgia, 2011.

ESCOLA CLASSE 05 DE SOBRADINHO. **Projeto Político Pedagógico**: diversidade de aprendizagem, valorização das diferenças e sustentabilidade. 2018. Secretaria de Estado de Educação.

ESTEBAN, M. Paz Sandín. **Pesquisa Qualitativa em Educação**: fundamentos e tradições. Porto Alegre: AMGH, 2010. 268 p.

FALCONER, Liz. Experiencing sense of place in virtual and physical Avebury. **Pers Ubiquit Comput**, v. 21, pp. 977-988, 2017.

GARONCE, Francisco; LACERDA SANTOS, Gilberto (2012) Transposição Midiática: da Sala de Aula Convencional para a Presencial Conectada. **Educ. Soc.**, Campinas, v. 33, n. 121, p. 1003-1017, out./dez. 2012

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2006.

GRUBERT, J.; GRASSET, R. **Augmented Reality for Android Application Development**. Birmingham: PACKT Publishing, 2013.

HEIM, Michael. **The Metaphysics of Virtual Reality**. New York: Oxford University Press, 1994. 208 p.

HOUNSELL, Marcelo da Silva; TORI, Romero; KIRNER, Claudio. Realidade Aumentada. In: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre (RS): SBC, 2018.

KAZAZIAN, Thierry. **Design e desenvolvimento sustentável**: haverá a idade das coisas leves. São Paulo: SENAC, 2005. 196 p.

LENGEN, Charis; KISTEMANN, Thomas. Sense of place and place identity: Review of neuroscientific evidence. **Health & Place**, v. 18, pp. 1162-1171, 2012.

LEVY, Pierre. **As Tecnologias da Inteligência**: O Futuro do Pensamento na Era da Informática. São Paulo: Editora 34, 2010. Publicação original: 1990.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. Tradução: Carlos Irineu da Costa. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2010b. Publicação original: 1997.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual**. Tradução: Paulo Neves. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011. Publicação original: 1995.

LOUSADA, Enéas Oliveira; CAMPOS, José Elói Guimarães. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito federal. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 3, p. 407-414, 2005.

MAGALHÃES JÚNIOR, Carlos Alberto de Oliveira; TOMANIK, Eduardo Augusto; CARVALHO, Graça Simões. Análise da transposição didática na formação continuada

sobre meio ambiente de professores do ensino fundamental. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 2, pp. 237-256, 2016.

MALHEIROS, Bruno Taranto. **Metodologia da Pesquisa em Educação**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. Tradução Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001. 288p.

MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information Systems**, v. E77-D, n.12, 1994.

OLEKSY, Tomasz; WNUK, Anna (2016) Augmented places: An impact of embodied historical experience on attitudes towards places. **Computers in Human Behaviour**, v. 57, p. 11-16, 2016.

PHAN, Viet Toan; CHOO, Seung Yeon. Interior Design in Augmented Reality Environment. **International Journal of Computer Applications**, v. 5, 2010.

PORTAL G1. Morre idosa contaminada com KPC em hospital de Sobradinho, no DF. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/distritofederal/noticia/2015/06/morre-idosa-contaminada-com-kpc-em-hospital-desobradinho-no-df.html>. Acesso em: 20 set. 2017.

PRIETO, L. P.; WEN, Y.; CABALLERO, D.; DILLENBOURG, P. Review of Augmented Paper Systems in Education: An Orchestration Perspective. **Journal of Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 169-185, 2014.

RICHMOND, Brian G.; ROACH, Neil T.; OSTROFSKY, Kelly R. Evolution of the Early Hominin Hand. In: KIVELL, Tracy L.; LEMELIN, Pierre; RICHMOND, Brian G.; SCHMITT, Daniel. **The Evolution of the Primate Hand**. Springer, 2016. 589 p.

RIBEIRO, Maurício Andrés. Noodiversidade. **Rev. UFMG**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1 e 2, p. 194-217, 2015.

SACRISTÁN, José Gimeno. **Saberes e Incertezas Sobre o Currículo**. São Paulo: penso, 2013.

SALCEDO, Ana Karina Moreyra. **Varição temporal e espacial e importância ecológica de macroinvertebrados aquáticos num córrego periurbano do Distrito Federal**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SEMKEN, Steven; WARD, Emily Geraghty; MOOSAVI, Sadredin; CHINN, Pauline W. U. Place-Based Education in Geoscience: Theory, Research, Practice, and Assessment. **Journal of Geoscience Education**, v. 65, pp. 542–562, 2017.

SOBEL, David. **Place-based education: Connecting classrooms and communities**. Great Barrington, MA: The Orion Society, 2005.

SPARKES, Matthew. **Revealed: how Google moves international borders**. The Telegraph. 2014. Disponível em:

<<https://www.telegraph.co.uk/technology/google/10922595/Revealed-how-Google-moves-international-borders.html>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

STEIMLE, Jürgen. **Pen-and-Paper User Interfaces**. Berlim: Springer, 2012. 204 p.

VIEIRA, Sonia. **Como elaborar questionários**. São Paulo: Atlas, 2009.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa: do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZOBY, José L. G.; DUARTE, Uriel. Caracterização Hidrogeológica da Bacia do Ribeirão Sobradinho - Brasília (DF). **Geo. USP Sér. Cient.**, v.1, p.79-99, 2001.

Pirá-Brasília: planejamento e desenvolvimento de um aplicativo de educação ambiental baseada no lugar para uma exposição museal

RESUMO

Ambientes de realidade aumentada (RA) - concebidos como aqueles gerados com sistemas computacionais mesclando elementos reais e virtuais, com predominância dos primeiros - têm demonstrado melhoras nos níveis de interesse, motivação e aprendizagem. Esse potencial pode ser melhor explorado seguindo-se métodos e diretrizes para o desenvolvimento de aplicativos em RA que foquem em áreas específicas como é o caso da educação ambiental. O tema é relevante no contexto do Distrito federal, onde a expansão urbana desordenada, fruto da desconexão entre sociedade e meio ambiente, ameaça o suprimento de água e a existência de espécies endêmicas, como é o caso do pirá-brasília (*Simpsonichthys boitonei* Carvalho). Uma forma de aumentar o engajamento das pessoas para evitar que problemas como esses aconteçam, é criar identidades, ligações e dependências com o lugar, por meio de uma educação que o tenha como foco. Esse foi nosso objetivo ao desenvolvermos o aplicativo *Pirá-Brasília: realidade e virtualidades* para uma instalação no Museu Nacional da República, no contexto da exposição *A-Riscado: Arte Ciência e Tecnologia*. A partir da experiência de planejamento, desenvolvimento, montagem e acompanhamento da instalação, discutimos aspectos teóricos e metodológicos, e apresentamos diretrizes para pesquisas futuras. Durante a fase de planejamento, orientamos desenvolvedores a considerar a audiência, o tipo de experiência a ser proporcionada, o posicionamento dentro do espaço físico e em relação às demais obras, os requisitos tecnológicos necessários, as condições de iluminação e a disponibilidade de mediadores. Para o desenvolvimento, mostramos o método utilizado e apresentamos soluções para possíveis problemas. Por fim, discutimos os diferentes tempos e lugares do museu, e como os expositores devem lidar com eles durante a montagem e acompanhamento da exposição.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Educação Baseada no Lugar; Educação Ambiental.

INTRODUÇÃO

Ambientes de realidade misturada (RM) são concebidos como aqueles gerados com auxílio de sistemas computacionais mesclando elementos reais e virtuais. Quando há predominância dos primeiros, recebem a denominação de realidade aumentada (RA) (MILGRAM, P.; COLQUHOUN, 1999). Experiências pedagógicas com uso de RA têm demonstrado melhoras nos níveis de interesse, motivação e aprendizagem dos usuários (CHIANG; YANG; HWANG, 2014; HUANG; CHEN; CHOU, 2016; TARNG et al., 2015). Em estudo anterior de revisão da literatura (KRAUSE; LACERDA SANTOS, 2017), contudo, verificamos que há grande escassez de pesquisas que abordem o desenvolvimento de aplicativos em RA para educação em ciências ambientais. Existe, portanto, um potencial educativo para esta área, que deixa de ser explorado pela ausência ou inadequação de ferramentas pedagógicas apropriadas.

A relevância de se fomentar o ensino e aprendizagem das ciências ambientais e, particularmente, a educação ambiental, se sustenta na necessidade atual de preservação e uso sustentável dos recursos naturais, dentre os quais está a água (BACCI; PATACA, 2008). A expansão urbana coloca em xeque os limites da renovabilidade desse recurso, que se fazem sentir em momentos de escassez, como foi o caso da crise hídrica enfrentada no DF entre 2016 e 2017 (DISTRITO FEDERAL, 2017). Além do impacto na vida cotidiana, a degradação ambiental coloca em risco espécies nativas, como é o caso do pirá-brasília (nome científico *Simpsonichthys boitonei* Carvalho), peixe que só existe no DF e está ameaçado de extinção (BRASIL, 2016).

Situações como essa são sintomáticas de uma desconexão entre as necessidades da sociedade local e o meio ambiente, e vice-versa, posto que via de mão dupla. Uma forma de aumentar o engajamento das pessoas para melhor preservação e administração do meio ambiente local e seus recursos é, por meio da educação, criar e fortalecer o senso de lugar de indivíduos e grupos. Por meio dele, formam-se identidades, ligações e dependências que, por sua vez, geram cidadãos ativos e contributivos (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

Nossa equipe de pesquisa desenvolve aplicativos em realidade aumentada (RA) para a educação ambiental baseada no lugar. Os métodos de desenvolvimento utilizados têm se mostrado efetivos para criar experiências que aproximam os estudantes de problemas ambientais locais, os correlacionando a suas experiências em casa e na escola. Foi a partir dos trabalhos nesse grupo, que surgiu a oportunidade para participar da exposição *A-Riscado: Arte, Ciência e Tecnologia* (ACT).

A exposição foi uma proposta de mostra científica abrangendo a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2018 (instituída pelo decreto presidencial de 9 de junho de 2004) e contou com o apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal - FAPDF. Aberta à visitação no Museu Nacional da República de 23 de novembro de 2018 a 13 de janeiro de 2019, a mostra contou com instalações de 16 expositores, entre artistas e pesquisadores, e procurou explorar as confluências entre a arte, a ciência e a tecnologia.

Nossa experiência de pesquisa abarcava as ciências humanas, mais precisamente a área da educação; as ciências biológicas, em especial os temas da hidrologia e desenvolvimento sustentável; e a ciência da computação, particularmente no que se refere ao desenvolvimento de aplicativos em RA. Dentre as três esferas que abrangiam a exposição, portanto, nos inseríamos principalmente entre a Ciência e a Tecnologia, com aproximações com a Arte Computacional Gráfica.

Buscamos refletir em nossa proposta de instalação o caminho epistemológico que até ali nos conduzira. Desse modo, nosso desafio era criar uma instalação com recursos de RA que tivesse um viés educativo na área ambiental, priorizando uma abordagem baseada no lugar, e que ao mesmo tempo fosse adequada ao público e contexto da exposição museal em questão. A partir da experiência de planejamento, desenvolvimento, montagem e acompanhamento da instalação, discutimos aspectos teóricos e metodológicos, e apresentamos diretrizes para pesquisas futuras.

A ESCOLHA DO TEMA

O Museu Nacional da República está localizado no eixo monumental de Brasília, linha que corta o eixo rodoviário compondo o desenho do plano piloto da cidade. Inicialmente idealizado por Lúcio Costa como uma cruz, o formato se popularizou como sendo o de um avião, acompanhando o ideal nacional-desenvolvimentista e a estética modernista que marcaram a construção da capital. A partir de setembro de 1956, as linhas retas do projeto começaram a se materializar na abertura de estradas e na planificação do terreno, por onde a visão de Oscar Niemeyer se espalhou em poesias de concreto inauguradas como cidade em 1960.

A beleza do progresso não veio sem custos. Antes mesmo da inauguração da capital, seus impactos já se faziam sentir sobre o meio ambiente, colocando em risco a existência de uma espécie de peixe que só existe na região e que era, até então, desconhecida: o *pirá-brasília*. E a cidade não parou por aí. O plano piloto, concebido para

500 mil habitantes no final do século XX, contava, já em 2010, com uma população que ultrapassava 2,5 milhões (LAURIANO, 2015). O concreto, que substituiu a vegetação do cerrado, impermeabiliza o solo, impedindo o abastecimento dos lençóis freáticos. Outros fatores como a captação irregular de água e a degradação de mananciais e nascentes também contribuem para a escassez hídrica, como aquela enfrentada na região entre 2016 e 2017 (DISTRITO FEDERAL, 2017). Apesar disso, o pirá-brasília persiste. Até quando?

A realidade do pirá-brasília

A espécie foi descoberta pela comunidade científica em 1959, quando exemplares foram coletados em uma poça d'água temporária no sítio de construção do Jardim Zoológico de Brasília e levados ao Rio de Janeiro para identificação. Lá, foi constatado que se tratava de um novo gênero e espécie de peixe, que recebeu o nome de *Simpsonichthys boitonei*, em homenagem a José Boitone, responsável pela coleta (CARVALHO, 1959).

Assim como a maior parte dos mais de 200 peixes da família Rivulidae (ordem Cyprinodontiformes), à qual pertence, o pirá-brasília é um peixe pequeno e de água doce (COSTA, 1998). Apresenta considerável dimorfismo sexual, sendo os machos maiores (22-40 mm), de coloração avermelhada com listras e pintas azuis iridescentes no tronco e nas nadadeiras, e as fêmeas menores (18,7-32,1 mm), castanho-claras com faixas castanho-escuras e uma ou duas manchas negras no meio do tronco (SHIBATTA, 2005, SHIBATTA; ROCHA, 2001). Possui dieta onívora, que inclui alimentos de origem animal e vegetal, com predominância de pequenos crustáceos da ordem Cladocera (SHIBATTA; ROCHA, 2001).

É considerada uma espécie endêmica do Distrito Federal, uma vez que até o presente momento não foram identificadas populações fora da região. Seu habitat é formado por poças temporárias rasas em veredas de buritis ou brejos próximos às matas de galeria (RIBEIRO; LIMA, 2008). Desde o início da década de 80, não há mais registros de coleta de espécimes na localidade-tipo, onde foram descobertos, uma vez que as condições de formação das poças temporárias foram modificadas pela urbanização. Na mesma micro-bacia da localidade-tipo, a do Riacho Fundo, contudo, foi descoberta em 2005 uma nova população. Além desta, tem-se conhecimento de outras duas populações residentes na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – RECOR, cortada pela micro-bacia do Ribeirão Gama. Também há registro de coleta de dois indivíduos em área adjacente à reserva, na Fazenda Água Limpa da UnB (RAMOS, 2010).

O pirá-brasília é considerado um peixe-anual, possuindo um ciclo de vida curto, que se encerra anualmente por ocasião da estação seca, quando as poças temporárias deixam de existir. Os ovos, ali depositados durante a fase reprodutiva, eclodem com o enchimento das poças na estação chuvosa. Em cerca de dois meses, a espécie atinge a maturidade reiniciando o ciclo. A distribuição restrita da espécie, aliada à pressão imobiliária por construção de áreas urbanas, bem como os incêndios florestais sobre as áreas de vereda e mata de galeria representam ameaças à preservação (RIBEIRO; LIMA, 2008).

No período entre 2009 e 2014, o ICMBio avaliou a fauna brasileira por meio de categorias de risco de extinção, de acordo com o método criado pela União Internacional para Conservação da Natureza (UICN). Seguindo esse método, o pirá-brasília foi posicionado na subcategoria vulnerável (BRASIL, 2016), que é aquela que apresenta um risco alto de extinção na natureza (BRASIL, 2013).

A conservação da espécie depende da manutenção das áreas protegidas onde se localizam as principais populações e da adoção de estratégias para recuperação de brejos temporários no cerrado do distrito federal, para que possa ser reintroduzida. Medidas como esta, no entanto, são de difícil e complexa efetivação (RIBEIRO; LIMA, 2008).

Dentre os entraves a serem enfrentados, podemos citar o uso concorrente do solo e da água pelos empreendimentos imobiliários, o que evidencia a necessidade de convencimento da população da importância dessas áreas na preservação da espécie, para que possam exercer pressão política frente aos órgãos competentes para a tomada de decisão. Exemplo de iniciativa nesse sentido é o projeto de lei nº 1174/2016, que tramita na Câmara Legislativa do Distrito federal e declara o pirá-brasília Patrimônio Ambiental Natural do Distrito Federal (CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL, 2019). O projeto não prevê qualquer medida direta de preservação, mas constitui arcabouço jurídico para futuras reivindicações, além de possuir valor simbólico frente à luta dos movimentos ambientalistas pela preservação das nascentes e córregos do Distrito federal, conforme afirmado no próprio corpo do projeto.

Por que o pirá-brasília?

Diante da relevância histórica e ambiental da espécie, a ideia de elegê-la tema central a ser explorado na obra ocorreu de modo bastante natural. O próprio ciclo biológico do animal era um convite à reflexão sobre morte e recomeço, sobre a possibilidade de

recuperação de algo aparentemente perdido, que é resgatado dadas as condições necessárias, neste caso, um elemento tão essencial à vida dele e à nossa: a água.

Essa dinâmica também dialoga metaforicamente com o próprio local da exposição, templo-testemunho de morte e destruição, e ao mesmo tempo criação monumental que é a construção da cidade que lhe empresta o nome. E se ao nosso ser *Homo* não lhe basta apenas o elemento primordial da *bios*, posto que *sapiens*, nossa obra haveria de ser um convite à reflexão sobre desenvolvimento sustentável, para que pudesse habitar sem culpa esse fruto do progresso, morada da arte, elemento essencial à alma.

O pirá-brasília também deveria se prestar a uma experiência estética cativante, tarefa que a iridescência de suas listras e pintas sobre fundo vermelho, contrastando com a sobriedade do castanho de seu par, cumpriam com louvor. A capacidade de sensibilizar o público é uma característica que pode ser grande aliada em estratégias de educação ambiental. Uma espécie que desperta o interesse e simpatia do público serve como facilitadora em processos de conscientização para a conservação de todo o ecossistema que a abrange. É o que se denomina uma *espécie-bandeira* (BUSS et al., 2007).

A ESCOLHA DA ABORDAGEM

Por que educação baseada no lugar?

Como uma abordagem formal e denominada, a educação baseada no lugar (EBL) representa um campo relativamente novo de investigação, sendo a cunhagem do termo atribuída ao início da década de 90, com o trabalho de John Elder e colaboradores (ELFER, 2011). A EBL pode ser definida como:

o processo de utilização do ambiente e comunidade locais como ponto de partida para ensinar conceitos na linguagem das artes, matemática, estudos sociais, ciências, e outras matérias ao longo do currículo. Enfatizando experiências de aprendizagem no mundo real, de manipulação direta, essa abordagem educacional aumenta conquistas acadêmicas, ajuda estudantes a desenvolver laços mais fortes com a comunidade, aumenta a apreciação dos alunos pelo mundo natural, e cria um compromisso maior de servir como cidadãos ativos e contributivos (SOBEL, 2005, p.7, *tradução nossa*).

Apesar de as ideias por trás da EBL não serem novas em si, o termo serve ao propósito de abarcar diferentes formas de pedagogia que tenham como preceitos conectar a aprendizagem aos contextos ecológico, cultural e histórico locais. Na história da filosofia

pedagógica, suas raízes remontam à antiguidade, com a ênfase dada por Aristóteles à experiência sensível e à necessidade de se instruir com base em temas familiares ao indivíduo. A atenção à experiência vivida e o reconhecimento de sua relação com contextos locais pode ser encontrada na obra de Comenius, Pestalozzi e Froebel. Abordagens semelhantes às da EBL encontram estreita relação com aquelas defendidas há mais de 100 anos por progressistas educacionais como John Dewey (ELFER, 2011).

A grande contribuição da EBL como referencial teórico é posicionar o lugar como elemento aglutinante desse corpo de conhecimento desenvolvido ao longo dos séculos e propor, a partir dele, a orientação da prática pedagógica. Esse movimento não é trivial quando consideramos a relevância do lugar na formação identitária do indivíduo e o poder transformador que a conexão com ele pode gerar.

A neurociência tem fornecido evidências de que o lugar constitui uma dimensão bem específica e distinta do processamento neuronal, com estruturas cerebrais especializadas para perceber, memorizar, ligar, acessar e usar informação espacial. Além desses fatores cognitivos, emoções e comportamentos também atuam para a criação de um *sense de lugar*. Fazem parte desse processo o contexto cultural, histórico e espacial nos quais significados, valores e interações sociais são continuamente construídos e reconstruídos. Conforme argumentado pela psicologia ambiental, uma subestrutura da identidade pessoal é baseada na cognição do mundo físico pelo indivíduo, que inclui memórias, sentimentos, atitudes, valores, preferências, conceitos e experiências comportamentais (LENGEN; KISTEMANN, 2012).

Por meio do *sense de lugar*, indivíduos e grupos criam identidades, ligações e dependências com lugares. Essas associações possuem certa fluidez ao longo do tempo na medida em que são sentidas, imaginadas, interpretadas e entendidas. Sua estabilidade depende do vínculo criado. Quando ele ocorre com força, populações se dispõem a lutar pela manutenção dos seus lugares, por vezes, com grande custo individual. É o caso de algumas populações nativas e agricultores que subsistem com grande dificuldade econômica sem abandonar suas terras. Grupos coesos quanto às circunstâncias de valorização de determinado lugar demonstram ser mais fortemente motivados a tomar ações para sua manutenção e preservação. Ações que promovem esse tipo de ligação com o lugar, como é o caso da educação, podem servir para construir um reservatório de pessoas dispostas a gerenciar seu bom uso (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

Que lugar é esse?

Em uma instalação que inclui elementos virtuais em sua composição, não podemos nos furtar a questionamentos sobre a natureza e extensão do lugar. Ambientes virtuais têm demonstrado propiciar uma experiência de lugar consistente com a do “mundo-real”, apresentando pistas sensório-motoras que permitem aos sujeitos navegar, se movimentar e inferir propriedades dos objetos, como solidez e resistência. Essa interação não se restringe a uma esfera mecânica de ação e reação, mas inclui um senso de presença e a busca de aspectos semânticos. As pessoas trazem suas expectativas e entendimentos do “mundo-real” para esses ambientes e nele buscam significado (MURRAY et al., 2000).

Os aspectos citados fazem com que o papel de lugar desempenhado por ambientes virtuais seja reconhecido na pesquisa sociológica. Apesar de possuírem características semelhantes ou análogas às do mundo físico, ambientes virtuais permitem maior plasticidade e personalização. É possível, por exemplo, que ambientes compartilhados por avatares sejam configurados de modo diferente por cada usuário, trazendo nuances não compartilhadas. Por outro lado, a ausência de alguns aspectos sensoriais, como o tato, pode ser um empecilho na construção de uma experiência de senso de lugar (FALCONER, 2017).

A RA, por sua vez, permite trazer elementos virtuais a ambientes reais o que implica alterações na experiência e atitude dos sujeitos com respeito a ele. O potencial de experiências com uso de RA para mudança de pensamento e crenças sobre determinado lugar, especialmente na redução de preconceitos e aumento da abertura a outras culturas e tradições, foi demonstrado por um experimento realizado na cidade de Varsóvia, na Polônia. Nele, os sujeitos utilizaram um aplicativo de RA para visualizar, *in situ*, o passado histórico, atualmente obliterado, do antigo distrito judeu da cidade. A RA possibilita isso ao evocar o passado no contexto real, transferindo conhecimento e memória coletiva de um lugar para a experiência do indivíduo (OLEKSY; WNUK, 2016).

Para além da dimensão temporal, o senso de lugar pode ser alterado ao se encurtar distâncias. Isso pode ocorrer de variadas maneiras. A internet e as mídias sociais, por exemplo, ao facilitar o acesso à informação sobre outros lugares, tem a capacidade de aumentar nossa consciência e conexão com eles. O aumento da mobilidade pode fazer com que pessoas percebam lugares fisicamente distantes como também importantes em termos de conservação, mesmo quando não diretamente ligados ao seu contexto local. A identidade de lugar pode também se estabelecer em torno de categorias ou tipos de lugares,

como seria o caso da identificação com montanhas no geral, independentemente de onde estejam. O engajamento para preservação de locais em nível regional, nacional e global, contudo, se mostra mais difícil de ser alcançado quando comparado àquele em escala local (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

Importante destacar que há outras formas de distância que não aquela determinada em metros. Toda dificuldade de acesso a elementos constitutivos do lugar e seus significados sociais causa distanciamento e constitui entraves à incorporação dos mesmos ao senso de lugar do indivíduo. Barreiras físicas podem impedir o acesso a determinado ponto natural, diferenças culturais ou idiomáticas podem impossibilitar a apreensão de significados, o pertencimento a certa classe ou segmento social pode impedir ou desencorajar a frequência a ambientes reconhecidos como de classes diversas, dentre outros.

Os obstáculos para incorporação da realidade do pirá-brasília ao senso de lugar da população em geral por meio da observação direta *in loco* são muitos: a escassez da espécie em ambiente natural; seu tamanho reduzido; possíveis impactos ambientais da visitação do *habitat*; a restrição do acesso aos ambientes de conservação; a vontade e disponibilidade dos indivíduos para deslocamento; e os custos envolvidos. Isso exige alternativas remotas que façam o caminho inverso, levando a realidade do pirá-brasília às pessoas.

A centralidade do local onde ocorria a exposição e a temática de convergência da Ciência com a Arte e a Tecnologia faziam dela uma oportunidade ímpar para, por meio da RA, trazer virtualmente a espécie para dentro do museu e gerar uma narrativa visual que tornasse a experiência significativa.

PLANEJAMENTO DA INSTALAÇÃO

A exposição é “produto de um trabalho interativo, rico, cheio de vitalidade, de afetividade, de criatividade e de reflexão, que dá origem ao conhecimento que está sendo exposto” (SANTOS, 2008, p.136). Assim sendo, o processo comunicativo com o público tem sua gênese muito antes da inauguração. Para nós, teve início com o convite que recebemos e com a leitura da proposta da exposição, a partir da qual passamos a idealizar nossa ação.

O planejamento não se deu em um momento estanque, tendo sido um processo contínuo, se estendendo mesmo durante o desenvolvimento. À medida que nos reuníamos

com outros expositores e, particularmente, com a curadoria e equipe de montagem, o planejamento sofria alterações.

Adequação pedagógica ao ambiente museológico

Definidos o tema e nossa abordagem educativa, foi necessário pensar a implementação dentro do espaço do museu, que possui algumas particularidades. A educação nesse ambiente difere daquela do ambiente escolar pelo “seu caráter não cumulativo, realizada, no mais das vezes, em uma única oportunidade, durante a visita à instituição” (SÃO PAULO, 2016, p.4). É definida como educação não-formal, não confundida com as experiências informais geralmente associadas ao âmbito da família (MARANDINO, 2008). Ressalta-se a obrigatoriedade da presença da educação ambiental em caráter não-formal, como componente essencial e permanente da educação nacional, conforme estabelecido pela lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999).

Alinhados com Santos (2008), entendemos a educação e o fazer museológicos como processos. Em nosso caso, estes possuíam um direcionamento para a sensibilização do público da problemática vivenciada pelo pirá-brasília como veículo para reflexões mais amplas como: o impacto da ação humana sobre a realidade ambiental da cidade; a reversibilidade ou irreversibilidade dessas ações e os potenciais prejuízos à humanidade; e a possibilidade de desenvolvimento sustentável. Sendo processo, seria necessário considerar o público do museu e a experiência a ser proporcionada, dependentes do tempo de interação com a obra, do posicionamento dentro do espaço físico e em relação com as demais obras, dos requisitos tecnológicos necessários, das condições de iluminação e da disponibilidade de mediadores.

O público

O museu recebe anualmente cerca de um milhão de visitantes (DISTRITO FEDERAL, 2019), o que equivale a uma média de mais de 80 mil pessoas por mês e mais de três mil por dia, considerando que permanece fechado à visitação toda segunda-feira. Aberta ao público de todas as faixas etárias, com entrada franca e localizada na área central do museu, a exposição iria contar com público dos mais variados, tanto em termos de idade quanto de origem, dada a localização turística do museu.

Para que a experiência fosse interessante tanto para adultos quanto crianças, buscamos adequar o nível de complexidade das informações apresentadas. Construímos, portanto, uma narrativa predominantemente visual, associada a informações textuais complementares mais detalhadas sobre o ciclo de vida do animal. O tempo da mensagem também foi um fator determinante nessa escolha, posto que a exposição contava com mais de uma dezena de obras a serem visitadas.

Provocar a inserção da realidade do pirá-brasília dentro de um senso de lugar para um público de origens tão diversas foi um grande desafio. Considerando que o senso de lugar pode ser expandido ao se proporcionar a conexão com ambientes distantes (CHAPIN III; KNAPP, 2015), traçamos a estratégia de criar um vínculo afetivo com o problema vivenciado pelo pirá-brasília e fornecer uma experiência em primeira pessoa que pudesse “inserir” o visitante no *habitat* da espécie. Para tanto, planejamos certa narrativa e disposição no espaço físico negociados com a curadoria da exposição.

O processo negocial com a curadoria

A curadoria possui papel fundamental na construção da narrativa da exposição, permitindo ao visitante que a percorre construir uma nova ideia conceitual, o que reforça sua vertente educativa (PEREIRA DE MATOS, 2014). No caso da exposição *A-Riscado*, o diálogo entre as esferas da Arte, Ciência e Tecnologia dentro de um espaço museológico, conforme colocado por Barja e Lacerda Santos (2018), curadores da exposição, se lançava a responder perguntas como:

Como os conceitos, teorias e aplicações provenientes da Ciência e da Tecnologia ocupam o imaginário de artistas como fonte de inspiração e criatividade? Até que ponto a dimensão estética está presente e é importante na atividade dos cientistas? Como conceitos e instrumentos criados ou possibilitados pela Ciência, incluídos aí os meios de comunicação e a reprodutibilidade das obras de arte, mudam e abrem novos caminhos para a Arte? De que forma a Arte pode ajudar a Ciência e a Tecnologia a se tornarem mais acessíveis ao público e vice-versa? Seria isso uma estratégia útil e eficaz ou uma apropriação utilitária e indébita? (BARJA; LACERDA SANTOS, 2018, p.9)

Nosso trabalho se atrelava, mais ou menos fortemente, a todos esses questionamentos. Estávamos imersos na arte computacional gráfica e a utilizávamos para estudos pedagógicos. A fonte de inspiração e o foco instrucional estavam ancorados nas ciências biológicas e na transposição didática de conceitos científicos dessa área. Desafio nosso era a utilização da RA, popularizada pelo recente aumento de poder computacional

de dispositivos móveis, para comunicar ao grande público um problema ambiental por meio da arte computacional gráfica.

A partir do diálogo com a curadoria, foi sendo feito o alinhamento entre o espaço físico mais adequado à instalação, a relação com as demais obras, os suportes físicos disponíveis, a possibilidade de utilização de mediadores, os dispositivos eletrônicos que seriam utilizados e a maneira como isso seria integrado. Dessa interação, surgiram modificações de projeto, para melhor adequação, e comunicação com o público e as demais obras.

Projeto da Instalação

Como resultado dos estudos iniciais e do processo negocial com a curadoria e os demais expositores, foi concebido o projeto da instalação. A seguir, apresentamos seus principais objetivos e os requisitos, subdivididos estes em estrutura física, referente ao espaço ocupado pela instalação no museu, e lógica, que diz respeito ao aplicativo que seria desenvolvido e seus requisitos.

Objetivo geral

O objetivo geral da instalação foi fomentar a educação ambiental para a conservação e preservação dos recursos naturais com vistas à sustentabilidade, tomando-se o pirá-brasília como espécie-bandeira e utilizando a realidade aumentada para conectar o lugar *habitat* da espécie ao nosso.

Objetivos específicos

A partir do objetivo geral, traçaram-se os seguintes objetivos específicos que balizaram a construção da instalação e foram caminho para a consecução do objetivo geral:

- 1) Apresentar a espécie e seu ciclo de vida;
- 2) Localizar o *habitat* do pirá-brasília;
- 3) Imergir virtualmente o visitante no ambiente do pirá-brasília, sem perder a conexão com a realidade do museu;
- 4) Evidenciar sua dependência das regiões alagadas;

- 5) Propiciar a criação de um vínculo emocional com a espécie;
- 6) Trazer a problemática ambiental da espécie para dentro do museu, relacionando-a à ocupação urbana da qual o museu é parte.

Narrativa

O visitante que transita pela exposição se depara com a imagem de uma vereda. De pronto, a instalação o coloca em uma posição de observador especial, ao revelar um universo abaixo da superfície da vegetação e da água, oculto aos humanos que o outro lado da superfície habitam. Há três depressões que se destacam na composição e convidam ao questionamento. Ele se aproxima. A curvatura da parede o abraça e delimita um círculo imaginário que o envolve. Ao centro há imagens de peixes vistos de cima e a posição central do disco que as contém denuncia uma conexão com a vereda.

Ao lado, o *design* familiar dos óculos de RA convida à experimentação. A visão do museu se revela levemente modificada através do dispositivo. Intuitiva ou diretamente, o visitante fita os olhos na imagem do disco e o planeta terra lhe é trazido à frente, ao mesmo tempo em que a sensação e imagem de seus pés permanecem firmes sobre ele. Para ver o planeta inteiro, ele deve manter certa distância da imagem, o que torna o museu predominantemente presente. Ao focar gradativamente no planeta, passa a mergulhar visualmente na atmosfera e se aproxima do continente, do país, do distrito federal e, finalmente, de um pedacinho de terra cheio de vegetação, a reserva da RECOR. O pedaço verde se transmuta progressivamente em uma calçada à medida que o terreno original é substituído por asfalto e cimento. Um pequeno peixe fora d'água se debate e convida à indagação sobre o porquê desse deslocamento. A calçada se transmuta novamente, revelando o presente (ou talvez o passado) e o pirá-brasília surge aumentado e nada à medida que o terreno verde muda sua coloração para o cinza do carpete do museu.

Mirando agora a parede, surgem elementos reduzidos que exigem a aproximação do visitante. Dessa distância, ele está envolto pela vereda e seus elementos, ainda que a visão periférica possa captar os limites da parede. Ele adentrou o habitat do pirá-brasília sem deixar o museu. Ele está e não está no museu, está e não está na vereda, se desloca entre os ambientes dentro de um *continuum* próprio da realidade misturada (RM). Indo de um lado a outro da parede, a poça esvazia e os peixes morrem, depois se renovam em água e eles voltam a nadar, em um ciclo que perdura enquanto o lugar perdurar no acoplamento museu-visitante-vereda.

Estrutura física

A primeira proposta de projeto apresentava a delimitação do espaço da instalação por uma parede compondo um semicírculo de 270°, com entrada única. Conforme colocado pela curadoria, contudo, tal delimitação do espaço talvez não fosse a mais interessante ao se pensar a unidade da exposição, pois diminuía a comunicação desta com as outras obras. Compreendemos que a colocação era pertinente e isso também nos chamou a atenção para o aspecto da realidade do museu, que deveria estar integrada à da espécie.

Tendo isso em conta, optamos por utilizar uma parede em formato de semicírculo de 60°, com 3,62 m de circunferência em sua face côncava, 2,42 m de altura e 0,4 m de espessura. Nela, seria plotado um adesivo com a imagem do *habitat* do pirá-brasília, em um “corte” transversal do terreno, em ângulo que colocasse a parede como limite entre a realidade do museu e a do pirá-brasília.

A imagem deveria apresentar três momentos durante o ano que são relevantes para o ciclo de vida do animal: (a) meio ao final do período chuvoso, quando o pirá-brasília copula e deposita seus ovos no substrato das poças; (b) estação seca, quando a água não drenada evapora das poças d'água; e (c) início ao meio da estação chuvosa, quando a água retorna às poças. Na parte inferior da imagem, uma linha cronológica dividida por meses do ano marcaria a passagem do tempo.

Ao centro, sobre o chão, um disco de 1,20 m de diâmetro, material policloreto de vinila (PVC), plotado com imagens do pirá-brasília, encerrava a composição. Entre o círculo e a parede deveria haver um espaço mínimo para circulação de 1,5 m.

A iluminação se daria obliquamente, de cima para baixo, com ao menos dois focos de luz para diminuir o efeito de sombra criado quando da presença dos visitantes, o que dificulta o reconhecimento de imagens pelo aplicativo. O foco de luz também deveria utilizar difusores para diminuir o efeito de reflexo sobre a superfície, o que dificulta a eficácia do sistema habilitador de RA.

Ao lado direito da parede, seria posicionada uma mesa de apoio de base quadrada, de mesma espessura da parede, que serviria como estação de “descanso” e recarga dos aparelhos nos quais seria instalado o aplicativo. Próximo a ela, deveriam ser instalados pontos de energia.

Os aparelhos escolhidos foram um *tablet* e um aparelho celular do tipo *smartphone*. O *smartphone* ficaria alocado dentro de óculos de RA, que possuem abertura frontal para que a câmera do celular fique desobstruída.

Estrutura lógica

O aplicativo foi desenvolvido no motor de jogos *Unity*[®] para a plataforma *Android*[®], motivo pelo qual os aparelhos deveriam ter instalada essa plataforma. O sistema habilitador de RA foi composto pelo aparelho celular ou *tablet*, contendo uma câmera frontal, associado a imagens impressas. O método utilizado foi o de visão computacional, que requeria do aplicativo a capacidade de rastrear as imagens impressas reconhecendo pontos de interesse e, em seguida, interpretá-los e fazer a correlação com o espaço 3D. Após esse processamento, as imagens dos modelos virtuais seriam sobrepostas às imagens do espaço 3D.

Quatro marcadores deveriam estar contidos na instalação, sendo um na imagem do círculo de PVC e três na imagem plotada na parede. A presença dos marcadores não deveria estar evidente aos visitantes, de modo a permitir uma experiência fluida de integração entre os elementos reais e virtuais.

DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

O desenvolvimento do aplicativo se deu em três etapas principais: criação e animação dos modelos tridimensionais (3D); integração dos modelos à plataforma *Android* para uso com RA; e o teste e adequação do aplicativo. As etapas, por não serem estanques, por vezes se sobrepuseram.

Criação e animação dos modelos 3D

Dada sua raridade, era seguro afirmar que boa parte dos visitantes nunca havia tido contato com a espécie. Tendo isso em conta, procuramos criar modelos que pudessem bem ilustrar as principais características físicas do peixe, particularmente o padrão de cores do macho, que pelo contraste e tons chamativos, servia ao propósito de bandeira de conservação. Procuramos o biólogo Pedro De Podestà, curador da Coleção Ictiológica da Universidade de Brasília, e obtivemos imagem em alta resolução de um espécime macho.

Outras imagens e descrições morfológicas publicadas na literatura (CARVALHO, 1959; RAMOS, 2010; RIBEIRO; LIMA, 2008) também foram utilizadas para criação do modelo deste e da fêmea.

Além dos modelos do pirá-brasília, utilizados para sobreposição a todos os marcadores da instalação, foram criados outros modelos específicos para cada contexto. Para os marcadores da parede, criamos modelos das poças, compreendendo o terreno e o nível de água correspondente a cada período do ano ilustrado. Também fizeram parte da composição plantas aquáticas.

Para o marcador central sobre o piso, foi criado um modelo de globo terrestre e um modelo de parcela do terreno da RECOR, bem como modelos intermediários entre o que seria uma visão espacial do globo terrestre e uma vista aérea da área. O objetivo era, durante a animação, gerar o efeito de aproximação. Também criamos um modelo de calçada, composto por asfalto, cimento e paralelepípedo. Novamente, foram criados modelos intermediários de transição entre este e o do terreno da RECOR, para criar um efeito metamórfico de transição.

Técnicas de modelagem e texturização utilizadas

O processo de criação de cada modelo passou por etapas semelhantes. Os programas utilizados foram: a versão 2015 do *Autodesk Maya*[®]; e a versão CC 2017 do *Adobe Photoshop*[®], ambos líderes mundiais de mercado, respectivamente, em animações 3D e efeitos especiais, e edição profissional de imagens. A linha de trabalho teve início no primeiro, com a modelagem do objeto 3D inicial, passando para a preparação da textura no segundo, e retornando ao primeiro para refinamento e posterior animação.

O processo de modelagem escolhido foi o com polígonos, que parte de um ou mais objetos de geometria simples – aqui utilizamos um cubo – e segue com a adição e modificação de vértices, arestas e faces, obtendo-se formas cada vez mais complexas. Optamos por empregar um plano de imagem de fundo contendo a foto do espécime como guia para a modelagem, técnica que auxilia na correlação entre o modelo e o objeto de referência.

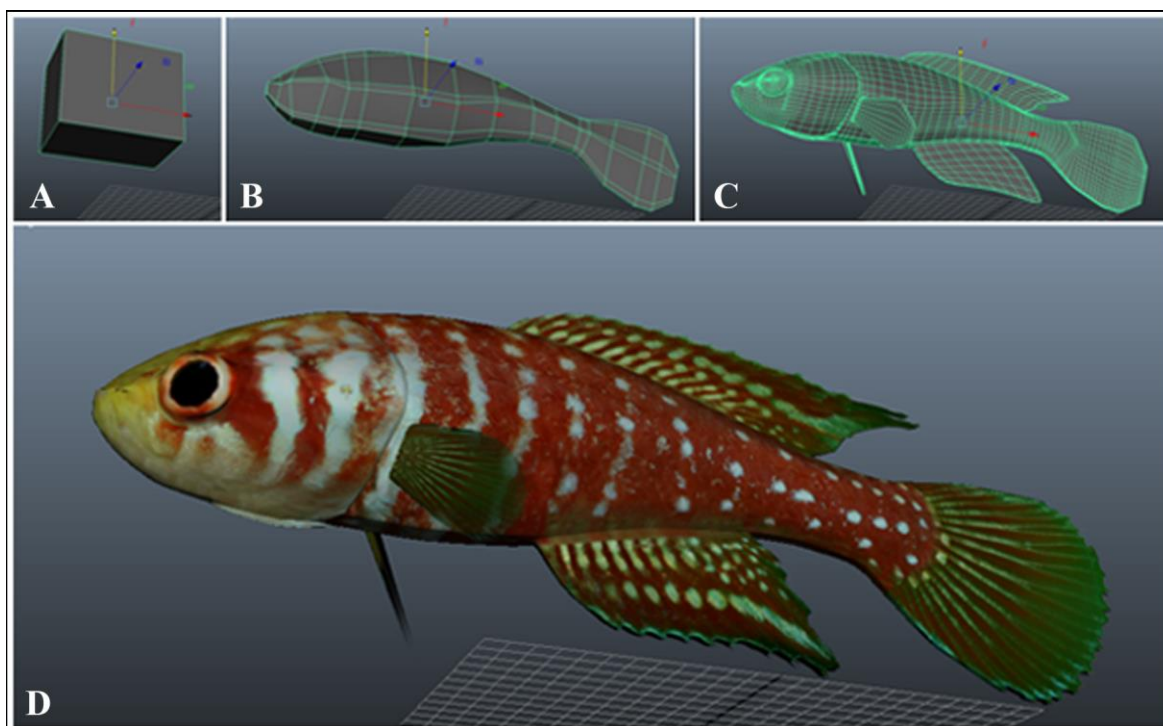
A complexidade do modelo está diretamente ligada ao poder de processamento dos sistemas de RA necessários para visualizá-lo. Por outro lado, quanto mais faces, mais arredondado e orgânico é o aspecto do resultado final. Buscou-se, com o menor número

possível de faces, atingir um nível de detalhe suficiente para permitir a percepção do modelo sem um aspecto anguloso.

Uma vez atingido um resultado considerado satisfatório, procedeu-se ao mapeamento de textura UV, técnica que correlaciona uma imagem bidimensional (2D) ao objeto 3D. U e V se referem a coordenadas para realizar essa correlação, a exemplo do sistema de latitude e longitude em um globo. O mapa UV, portanto, é uma projeção 2D da textura do objeto (PALAMAR, 2015).

O mapa UV obtido foi importado para o *Adobe Photoshop*. Nele, fizemos uma “colagem”, retirando e editando pedaços de imagens do pirá-brasília e as posicionando no local de correspondência. Também foram ajustados contraste e luminosidade para que a textura final fosse homogênea. Já editado, o mapa UV foi importado e aplicado ao modelo no *Autodesk Maya*. Resultados parciais e final da modelagem e texturização do espécime macho são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Modelo de *Simpsonichtys boitonei* macho em diferentes estágios de modelagem e texturização dentro do programa *Autodesk Maya*.



(A) Polígono primitivo inicial; (B) Modelagem em estágio intermediário; (C) Estágio final de modelagem; e (D) Resultado final após texturização. Fonte: elaborada pelo autor.

Técnicas de animação utilizadas

Os modelos 3D foram animados no *Autodesk Maya* utilizando-se técnicas variadas. Para os modelos de peixe, primeiramente nós criamos um esqueleto virtual com conjuntos de juntas partindo do equivalente volumétrico ao centro de gravidade do animal. Essas juntas saíam em duas direções: do centro à cauda e do centro à parte superior do cabeça. Conjuntos acessórios de juntas partiam em direção à boca e às nadadeiras peitorais, dorsal e anal. A escolha por essa disposição visava simular os movimentos de natação do peixe, bem como a abertura da boca.

Uma vez criado o esqueleto, ele foi conectado à geometria do modelo do peixe e os pesos de influência de cada junta regulados. Essa regulagem permite criar deformação na geometria de modo fluido, para que se assemelhe ao movimento real do peixe. Uma vez que a geometria estava conectada ao esqueleto, o mesmo foi ligado a controladores para realizar os movimentos translacionais e rotacionais do modelo de peixe como um todo.

Para os movimentos da superfície da água das poças e de aproximação do globo, foi utilizada a função *blend shape*, que funde o formato de objetos de geometria semelhante ao longo dos *keyframes*. Estados iniciais e finais dos objetos eram modelados e a função se encarregava de modificar a geometria entre os estágios intermediários.

Os demais elementos, que não requeriam deformações, foram animados diretamente por *keyframes*. Para o efeito de transição utilizado no terreno da RECOR, porções equivalentes de geometria tinham suas texturas modificadas e apareciam em substituição a porções com a textura original, que desapareciam. Esse efeito foi utilizado em reverso no momento de transição de calçada para vegetação original.

Integração dos modelos à plataforma *Android* para uso com RA

Uma vez criados os modelos, eles foram exportados do *Autodesk Maya* para o *Unity*. O ambiente do *Unity* havia sido previamente preparado e integrado ao *Vuforia*[®] *engine*. Este motor de RA é o mais amplamente utilizado no mundo e permite desenvolver aplicativos usando visão computacional avançada com calibração de performance (VUFORIA, 2019b).

No *Unity*, os modelos foram sobrepostos a planos contendo as imagens que serviriam como marcadores. As imagens, por sua vez, eram fragmentos da imagem maior que seria plotada na parede. Quando da atualização dos modelos no celular, esses deveriam

se sobrepor exatamente à posição correspondente na imagem. Para conseguir este resultado, tomou-se o cuidado de fazer os recortes precisos na elaboração dos marcadores no *Adobe Photoshop* e, uma vez adicionados ao *Unity*, os modelos foram dimensionados e posicionados de modo correspondente.

O uso do aplicativo dentro de óculos de RA exige a divisão da tela em duas metades, que terão projetadas em cada uma a imagem do ambiente real associada aos modelos virtuais. Isso é feito para que cada olho seja sensibilizado por uma imagem distinta, gerando o efeito de estereoscopia.

Por esse motivo, procedeu-se ao desenvolvimento de duas versões do aplicativo, uma para celulares e outra para *tablets*. As duas versões foram publicadas na *Play Store*, loja virtual de aplicativos para *Android*, sob os nomes *Pirá-Brasília* e *Pirá-Brasília para Tablet*.

Teste de funcionalidade e adequação do aplicativo

O teste do aplicativo ocorreu ao longo de todo o seu desenvolvimento. À medida que a imagem dos adesivos ficava pronta e os modelos eram elaborados, o aplicativo era instalado nos aparelhos em versão provisória e testado. Os testes de adequação foram feitos com imagens dos marcadores impressas em tamanho reduzido; na tela do computador e em projeções; e também, em fase final, nos adesivos já plotados na parede e no disco de PVC. Ao longo dos testes, o aplicativo era ajustado.

Os testes nas imagens impressas reduzidas foram importantes para verificação da adequação da própria imagem como marcador, da correta sobreposição dos modelos a ela, bem como da correspondência de cores entre modelos e imagem. Este era um ponto importante porque o fundo da parede servia como “paisagem” de fundo para os elementos virtuais. Uma grande discrepância entre eles minimizaria a aparência da composição. Utilizar as imagens impressas reduzidas também era a forma mais prática de observar a composição como um todo, embora com elas o tamanho dos elementos virtuais fosse igualmente reduzido (o tamanho dos elementos acompanha a dimensão da imagem).

Uma boa imagem para marcador deve: possuir tamanho adequado; ser rica em detalhes bem distribuídos, definidos e angulosos; ter bom contraste; e não apresentar padrões repetitivos (VUFORIA, 2019). Todas essas características facilitam o reconhecimento e sobreposição dos modelos.

De modo geral, se a imagem impressa reduzida funciona bem como marcador, sua versão ampliada também deverá ser um bom marcador (mantidas as mesmas configurações de impressão). Antes da impressão, um mecanismo interessante para avaliação da imagem é o gerenciador de marcadores do *Vuforia*, disponível na página *online* de desenvolvimento do programa. É este programa que processa as imagens e gera uma representação de dados a ser incorporada no aplicativo. Durante essa operação, também é apresentada uma avaliação da qualidade da imagem como marcador.

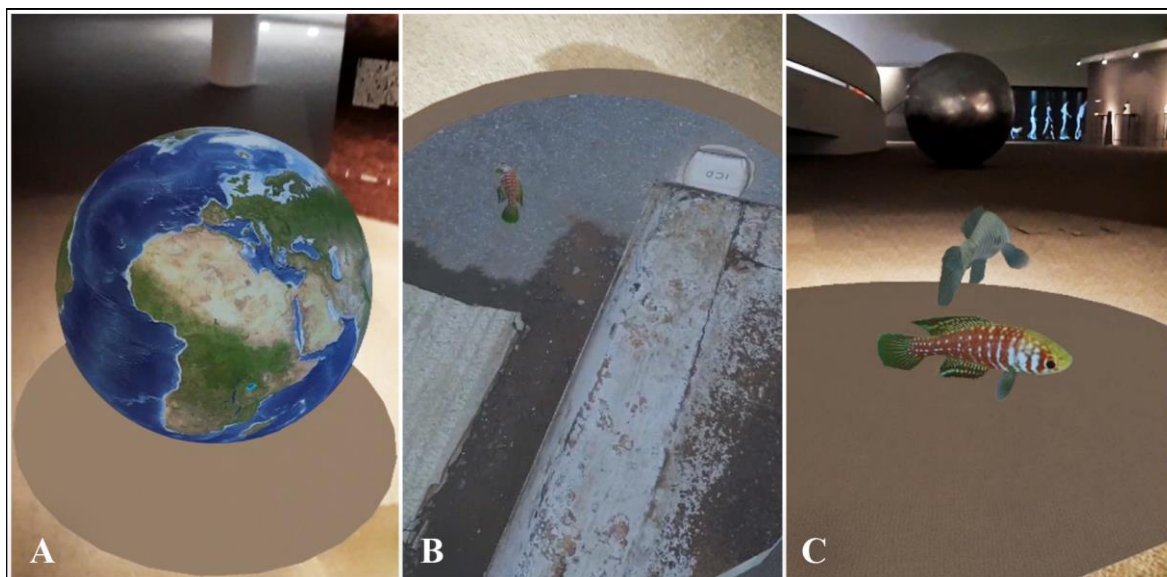
Os testes na tela do computador e em projeções foram utilizados para verificar a adequação dos modelos aos tamanhos em que seriam apresentados. Evitava-se, assim, a impressão de versões grandes intermediárias da imagem, normalmente de custo maior que as reduzidas. Com esse propósito, utilizou-se o programa de editoração gráfica *Corel Draw*[®], versão X5. Nele, as figuras eram abertas em tamanho de impressão e a imagem apresentada na tela do computador ou em projeção. Estas eram medidas empiricamente e ajustadas até haver congruência com a medida do programa. Só então, eram realizados os testes.

Por fim, após a impressão e plotagem dos adesivos, foram realizados testes *in loco*. Esta fase de testes é particularmente relevante por ser a última etapa para ajustes. Como em RA os modelos se sobrepõem às imagens do ambiente, deve haver um casamento entre tamanho, cor e claridade das cenas reais e virtuais. As condições precisas de iluminação dos elementos físicos só são conseguidas após a disposição dos elementos no espaço, não sendo possível prevê-la de antemão e isso pode influir no *design*. Com relação ao nosso aplicativo, tivemos que ajustar a luminosidade do elemento virtual que tinha como função encobrir a imagem impressa no disco de centro. O resultado final da etapa de desenvolvimento pode ser conferido nas Figuras 8 e 9.

MONTAGEM E ACOMPANHAMENTO

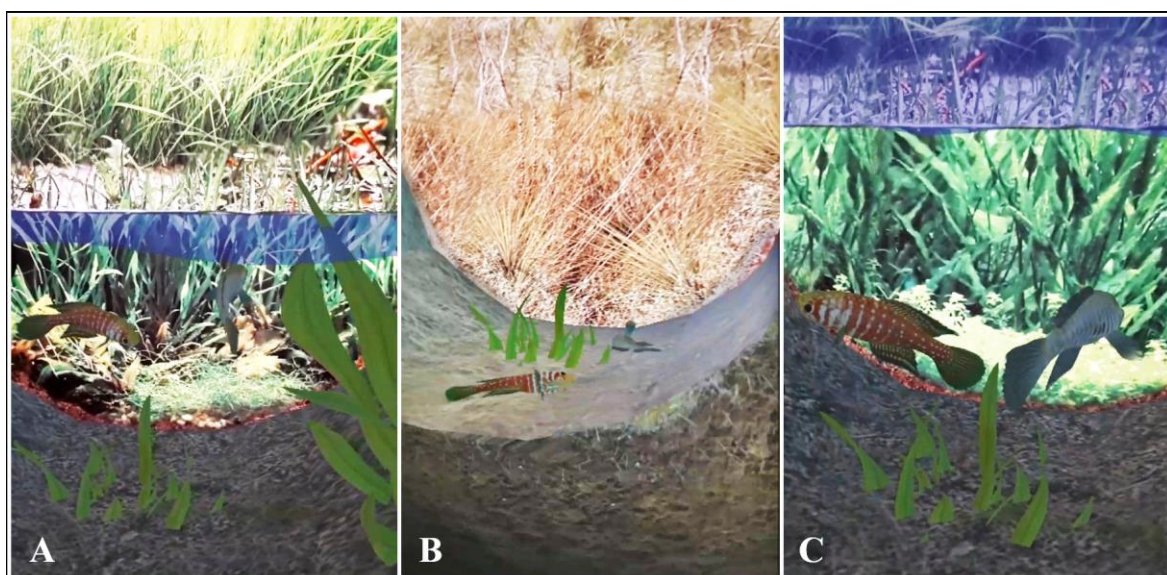
Nesta sessão, abordaremos nossa experiência dentro da galeria do museu nas etapas de montagem e acompanhamento da obra durante sua visita. Aqui, discutiremos facilitadores e entraves à abordagem metodológica utilizada, o papel da mediação e indicaremos caminhos para futuros expositores.

Figura 8 – Imagens obtidas no aplicativo *Pirá-Brasília: Realidade e Virtualidades* durante animação carregada sobre marcador disposto no chão do Museu Nacional da República.



Da esquerda para a direita as imagens seguem a ordem cronológica da animação: a) globo terrestre durante rotação; b) calçada e pirá-brasília macho sobre o asfalto; e c) pirás-brasília macho e fêmea “nadam” no ar. Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 9 – Imagens obtidas no aplicativo *Pirá-Brasília: Realidade e Virtualidades* durante animação carregada sobre marcadores dispostos em parede do Museu Nacional da República.



Cada animação era carregada de forma independente e correspondia a um de três estágios do ciclo de vida do pirá-brasília: (A) fase reprodutiva, quando as poças d’água estão cheias; (B) morte, durante a estação seca; (C) nascimento e crescimento, quando retornam as chuvas e as poças voltam a encher. Fonte: elaborada pelo autor.

O lugar do pirá-brasília no museu

Conforme aponta Marandino et al. (2016, p.5), “museus são espaços sociais nos quais ocorre a coleta, salvaguarda, investigação e extroversão de objetos e coleções”, não se limitando a eles, mas abrangendo também “conhecimentos materiais e imateriais, ideias e conceitos produzidos pelo e sobre o mundo natural, social e cultural”. Boyd (1999) é ainda mais categórico em colocar museus como lugares de ideias, ao associá-las tanto aos objetos da natureza, que suscitam nossas ideias sobre a natureza, como aos objetos criados por humanos, uma vez que frutos de ideias.

Como espaços sociais, é de se esperar que engendrem todos os conflitos que são próprios das relações sociais. Como lugar de ideias, aponta Boyd (1999), o conflito também é esperado. Ideias diferem entre indivíduos e, mesmo para um mesmo indivíduo, podem se alterar ao longo do tempo gerando discordâncias. O autor ressalta que quando as exposições são desenhadas para informar e estimular a aprendizagem, elas conscientemente invocam a controvérsia.

Nessa perspectiva, nossa missão era instalar o pirá-brasília no “foco do conflito”, no centro da discussão entre desenvolvimento e conservacionismo, entre progresso e a preservação de sua existência. Para ocupar essa posição figurada, era importante que sua posição concreta possibilitasse a comunicação das ideias nele contidas e isso foi objeto de negociação com a curadoria e a equipe técnica de instalação.

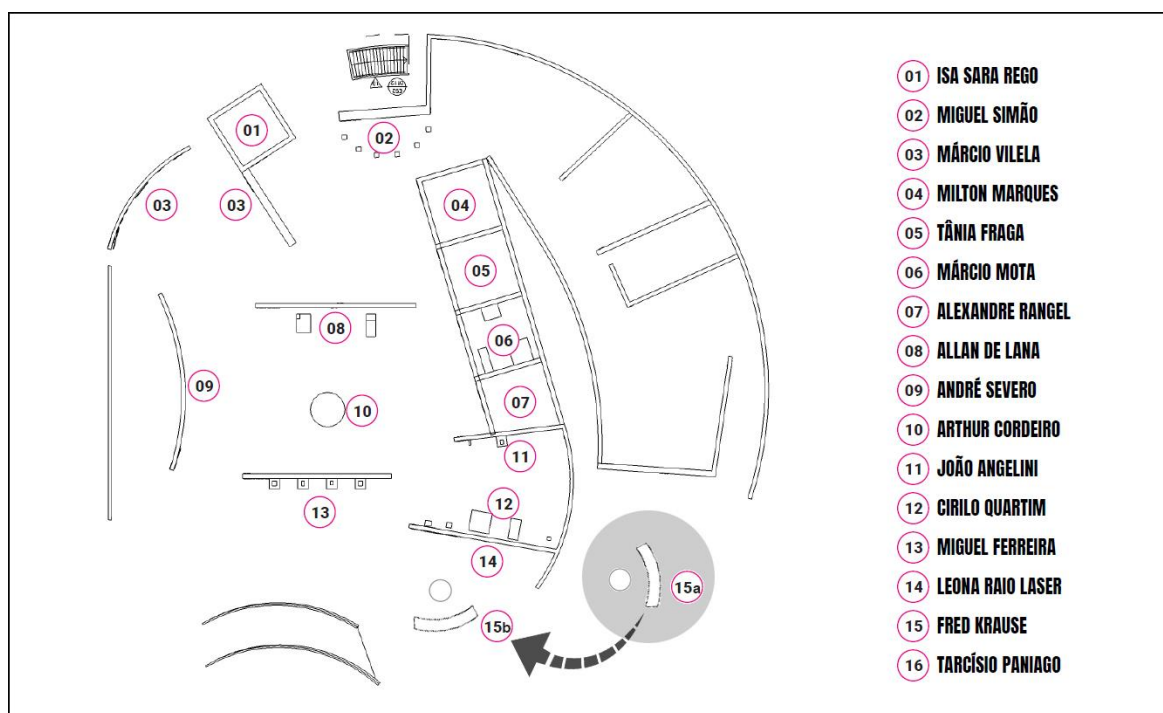
Os pontos conflitantes eram, de um lado, a posição inicial da obra, que a deixava parcialmente eclipsada pela rampa do museu e, de outro, o possível conflito espacial com obras vizinhas e a viabilidade de transposição sem causar danos à parede da instalação. O conflito foi resolvido durante a montagem, após medições e debate entre nós, a curadoria e a equipe técnica de instalação. A Figura 10 ilustra a mudança do espaço da instalação na exposição.

O pirá-brasília e os tempos do museu

O deslocamento do foco das exposições museológicas para os processos, com a possibilidade de ocupar novos lugares com auxílio de dispositivos de mídia, gera novas articulações entre lugar, objeto e tempo. Sobre este último, podemos considerar o tempo físico (linear ou não), relacionado às transformações do mundo sensível, e o tempo social, aquele que cadencia as atividades humanas, nos orientando no dia-a-dia. O tempo social

não é único, se expressando desta ou daquela maneira ao longo das diversas culturas (MONTEIRO; GOUVÊA, 2015).

Figura 10 – Disposição das instalações no espaço do museu, conforme autoria.



A posição original da instalação *Pirá-Brasília: realidade e virtualidades* é ilustrada em 15a e a posição final em 15b. Fonte (com modificações): MUSEU NACIONAL (2018) Exposição *A-Riscado* ACT: Estudo Espacial. Fonte: elaborada pelo autor.

Também podemos pensar os tempos nos micro-espços sociais. Os habitantes humanos do museu estão inseridos nesse monumento rodeado por bancos e ministérios que começam a se esvaziar muito antes de os ponteiros do relógio delimitarem a chegada do fim da jornada de 40h. Compartilham, todos, o entendimento do que isto significa. Estão imersos numa mesma cultura, ao menos no que diz respeito ao horário comercial, além do qual o museu permanece aberto por mais 30 min de terça a domingo. O tempo social do museu não é exatamente o mesmo de seus vizinhos de concreto. Dentro do próprio museu, o tempo se subdivide ainda em função das atribuições que nele se desempenham e, certamente, em muitos outros tempos conforme o recorte que se faça.

Lançado a essa dimensão temporal do museu, o expositor há que adequar sua dinâmica a ela. Nem sempre os tempos dos expositores serão coincidentes com aqueles que vigoram por lá. Abordamos, a seguir, dissonâncias identificadas ao longo de nossa caminhada entre os diversos tempos do museu e o tempo do expositor.

Tempo da curadoria e administração

O museu tem agenda própria. Por mais óbvio que possa parecer, a disponibilidade do espaço, dos administradores do museu e dos curadores pode variar. A obra é parte de um conjunto dentro da exposição e esta também costuma ser um de muitos acontecimentos que se dão no museu. É certamente o caso daquelas que ocorrem no Museu Nacional. Durante a montagem da exposição, outra era montada no mezanino, logo acima, e outras ainda ocorriam em cômodos diversos. O agendamento prévio, portanto, é fundamental para evitar disputas por recursos físicos e humanos.

Tempo da equipe técnica de instalação

A equipe técnica atende aos demais artistas da exposição e, não raro, a outras exposições dentro do museu. Por esse motivo, todos os testes que prescindirem do ambiente e equipes do museu devem ser realizados antes do início da instalação. Para iluminação e pontos de energia, a descrição no projeto base das necessidades da obra são um bom ponto de partida.

Quando da montagem da estrutura física de nossa instalação, a primeira tentativa de iluminação não restou satisfatória devido à persistência de reflexos e sombras quando o usuário se aproximava da parede para visualizar os modelos. O aplicativo utiliza o contraste presente nas imagens para fazer o rastreamento e sobreposição dos modelos, e as sombras e reflexos podem dificultar esse processo. Além disso, os modelos em RA são concebidos com luzes virtuais que não se alteram ou, ao menos, não se alteram precisamente conforme as alterações da luminosidade do local. A presença de uma sombra ou foco de iluminação “ao fundo do modelo” poderia quebrar o efeito de integração desejado. Como solução, os dois holofotes que iluminavam a parede foram afastados e um terceiro instalado em posição central. Também se adicionou difusores aos holofotes para reduzir o reflexo.

Tempo dos mediadores

Os mediadores são responsáveis por estabelecer a conexão entre visitantes e os objetos do museu, sendo mecanismo importante para utilização em contextos educativos (SÃO PAULO, 2016, p. 6). Na exposição A-Riscado, havia um grupo de monitores que se

revezavam durante o período em que o museu ficava aberto. Embora houvesse o planejamento inicial para que nossa instalação dispusesse de um monitor para receber os visitantes, orientá-los sobre a instalação e uso dos aparelhos, bem como garantir a salvaguarda dos equipamentos, o reduzido número disponível logo tornou essa opção inviável.

A indisponibilidade de atenção exclusiva à instalação, acabou por acarretar em momentos nos quais os equipamentos descarregavam por não serem conectados novamente ao fornecimento de energia. A administração também expressou a preocupação de furto dos aparelhos. Tendo isso em conta, o *tablet* foi reservado para situações especiais como visitas em grupo. O celular, por sua vez, foi preso aos óculos de RA por um cadeado e este preso por um cabo de aço à mesa. Um cabo para fornecimento contínuo de energia também foi colocado e, futuramente, persistindo o problema de carregamento, um aparelho celular adicional foi deixado à disposição como reserva. Recomendamos essa configuração para ambientes de museu tanto pelo saneamento do problema da segurança, quanto pelo de carregamento, para garantir a operação contínua dos aparelhos celulares.

Tempo dos visitantes

A maior parte dos visitantes de exposições não costuma observar mais da metade dos elementos expostos e, tampouco, passa mais de 20 min na exposição como um todo (SERREL, 1997). Apesar de médias serem apenas indicativas, tínhamos consciência da limitação temporal da interação com nossa instalação.

Optamos, portanto, por animações curtas. As que eram carregadas a partir de marcadores na parede não tinham mais de 30 s, colocados em *loop*, com a última e a primeira posição de cada elemento sendo coincidentes para que corresse sem interrupções. A animação central era mais longa, com 1 min e 37 s no total. Apesar desse cuidado, nos horários de pico, houve espera pelos óculos de RA, motivo pelo qual sugerimos a disponibilidade de, ao menos, dois equipamentos em permanente funcionamento.

Inicialmente, trabalhamos com a ideia de que os visitantes poderiam também baixar o aplicativo *in loco* e utilizar outros óculos de RA sobressalentes, mas a ausência de dedicação exclusiva de um monitor tornou essa opção difícil de implementar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Descrevemos o planejamento, desenvolvimento, montagem e acompanhamento de uma instalação da exposição *A-Riscado*, realizada no Museu Nacional da República. O objetivo geral da instalação foi fomentar a educação ambiental para a conservação e preservação dos recursos naturais com vistas à sustentabilidade, tomando-se o pirá-brasília como espécie-bandeira e utilizando a realidade aumentada para conectar o lugar da espécie ao nosso. A partir da descrição, traçamos paralelos entre a nossa experiência e a literatura científica, ressaltando os caminhos tomados para resolução de problemas e propondo diretrizes para experiências futuras.

Durante a fase de planejamento, orientamos desenvolvedores em educação a considerarem as particularidades da instrução em ambiente museal feita, geralmente, durante breve período e em uma única oportunidade. Também ressaltamos a necessidade de se levar em conta a audiência do museu, o tipo de experiência a ser proporcionada, o posicionamento dentro do espaço físico e em relação com as demais obras, os requisitos tecnológicos necessários, as condições de iluminação e a disponibilidade de mediadores.

O método de desenvolvimento do aplicativo foi descrito, detalhando-se as etapas de modelagem e animação, integração à plataforma *Android* para uso com RA e teste dos modelos. As soluções encontradas para os problemas de: simulação do movimento de natação do *pirá-brasília* com uso de esqueletos virtuais; sincronização entre os marcadores impressos e os modelos virtuais, com prova de dimensionamento e coloração; bem como imersão em ambientes de RA utilizando o auxílio da estrutura física, como o uso do adesivo e curvatura da parede, servem de baliza para pesquisas futuras.

A montagem e acompanhamento da instalação revelaram o aspecto conflituoso do museu – considerando-o espaço social e lugar de ideias – sendo a contradição não apenas inevitável, mas própria constituinte do processo museológico. Narramos aqueles que se deram a partir de nossa perspectiva, de expositor, e apresentamos soluções. De modo geral, é necessário que aqueles que desejam expor, levem em conta que o museu possui seus tempos e dinâmicas próprios, que se subdividem ainda dentro dos diversos nichos dos humanos que os habitam: curadores, administradores, equipe técnica de instalação, mediadores e visitantes.

REFERÊNCIAS

BACCI, Denise de La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. Educação para a água. **Estudos Avançados**, n. 22, v. 63, 2008

BARJA, Wagner; LACERDA SANTOS, Gilberto. A-Riscado: Confluências entre arte, ciência e tecnologia. *In*: BARJA, Wagner; LACERDA SANTOS, Gilberto; FERRACIOLI, Laercio (2018) **ACT: Arte, Ciência e Tecnologia**. Brasília: Museu Nacional da República, 2018. 104 p.

BOYD, Williard L. Museums as Centers of Controversy. **The MIT Press**, v. 128, n. 3, p. 185-228, 1999.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. **Aplicação de Critérios e Categorias da UICN na Avaliação da Fauna Brasileira**. Brasília, DF: ICMBio, 2013. 45 p.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. **Sumário Executivo do Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF: ICMBio, 2016. 76 p.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm. Acesso em: 19 mai. 2019.

BUSS, Gerson; LOKSCHIN, Luisa Xavier; SETUBAL, Robberson Bernal; TEIXEIRA, Fernanda Zimmermann. A abordagem de espécie-bandeira na Educação Ambiental: estudo de caso do bugio-ruivo (*Alouatta guariba*) e o Programa Macacos Urbanos: 165-185. *In*: GORCZEWSKI, C. (org.) **Direitos Humanos, Educação e Meio Ambiente**. Editora Evangraf, Porto Alegre, 2007. 341pp.

CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL. **PL 1174/2016**. Disponível em: <http://legislacao.cl.df.gov.br/Legislacao/consultaProposicao-1!1174!2016!visualizar.action>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CARVALHO, A. L. Novo gênero e nova espécie de peixe anual de Brasília, com uma nota sobre os peixes anuais da baixada fluminense, Brasil (Pisces -Cyprinodontiformes - Fundulinae). **BoI. Mus. Nac.**, n. 201, p. 1-10, 1959.

CHAPIN III, F. Stuart; KNAPP, Corrine N. Sense of place: A process for identifying and negotiating potentially contested visions of sustainability. **Environmental Science & Policy**, v. 53, p. 38-46, 2015.

CHIANG, T.-H.-C.; YANG, S.-J.-H.; HWANG, G.-J. An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities. **Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 352-365, 2014.

COSTA, Wilson J. E. M. Phylogeny and Classification of Rivulidae Revisited: Origin and Evolution of Annualism and Miniaturization in Rivulid Fishes (Cyprinodontiformes: Aplocheiloidei). **Journal of Comparative Biology**, v. 3, n. 1, p. 33-95, 1998.

DISTRITO FEDERAL. Comissão Interinstitucional de Educação Ambiental do Distrito Federal (2017). **Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica**. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Plano-27%C2%AA-ciea.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

DISTRITO FEDERAL. **Museu Nacional Do Conjunto Cultural Da República (Honestino Guimarães)**. Disponível em: <http://www.df.gov.br/museu-nacional-do-conjunto-cultural-da-republica-honestino-guimaraes-2/>. Acesso em: 9 fev. 2019.

ELFER, Charles Joseph. **Place-based education: a review of historical precedents in theory and practice**. 2011. 463 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – University of Georgia, Athens, Georgia, 2011.

FALCONER, Liz. Experiencing sense of place in virtual and physical Avebury. **Pers Ubiquit Comput**, v. 21, p. 977-988, 2017.

HUANG, T.-C.; CHEN, C.-C.; CHOU Y.W. Animating eco-education: to see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. **Computers & Education**, v. 96, p. 72-82, 2016.

KRAUSE, F. C.; LACERDA SANTOS, G. Augmented Reality (AR) in Biology and Environmental Sciences Education: the State of the Art. In: SANCHEZ (2017). **Nuevas Ideas en Informática Educativa**, Santiago de Chile, v. 13, p. 272 – 280, 2017.

LAURIANO, William. Gentrificação da cidade modernista: Brasília. **Cad. Metrop**, v. 17, n. 33, p.155-178, 2015.

LENGEN, Charis; KISTEMANN, Thomas. Sense of place and place identity: Review of neuroscientific evidence. **Health & Place**, v. 18, p. 1162-1171, 2012.

MARANDINO, Martha (org.). **Educação em museus: a mediação em foco**. São Paulo: GEENF, 2008. 48 p.

MARANDINO, Martha; MONACO, Luciana; LOURENÇO, Marcia F.; RODRIGUES, Juliana; RICCI, Fernanda Pardini. **A Educação em Museus e os Materiais Educativos**. São Paulo: GEENF/USP, 2016. 48 p.

MILGRAM, P.; COLQUHOUN, H.W. JR. A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. In: Ohta Y.; Tamura H. (1999) **Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds**. Ohmsha, Ltd., p. 5-30, 1999.

MONTEIRO, Renata; GOUVÊA, Guaracira. Tempo no museu e o museu no tempo. **Ciência e Educação**, v. 21, n. 1, p. 239-253, 2015.

MURRAY, Craig D.; BOWERS, John M.; WEST, Adrian J.; PETTIFER, Steve; GIBSON, Simon. Navigation, Wayfinding, and Place Experience within a Virtual City. **Presence**, v. 9, n. 5, p. 435-447, 2000.

OLEKSY, Tomasz; WNUK, Anna. Augmented places: An impact of embodied historical experience on attitudes towards places. **Computers in Human Behaviour**, v. 57, p. 11-16, p. 2016.

PALAMAR, Todd. **Mastering Autodesk Maya 2015**. John Wiley & Sons: Indianapolis, EUA, 2014. 887 p.

PEREIRA DE MATOS, Isla Andrade. Educação museal: o caráter pedagógico do museu na Construção do conhecimento. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 5, n. 1, p. 93-104, 2014.

RAMOS, Henrique Anatole Cardoso. **Modelos qualitativos para investigar o ciclo de vida e a influência de atividades antrópicas sobre os biótipos de Pirá-Brasília – *Simpsonichthys boitonei* – em Brasília, DF**. 2010. 227 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.

RIBEIRO, Mauro C. L. B.; LIMA, Flávio, C. T. *Simpsonichthys boitonei*. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (2008) **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF: MMA, 2008. 1420 p.

SANTOS, Maria Célia Teixeira Moura. **Encontros Museológicos: Reflexões sobre a museologia, a educação e o museu**. Rio de Janeiro: Ministério da Cultura, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Departamento de Museus e Centros Culturais, 2008. 255 p.

SÃO PAULO. Sistema Estadual de Museus de São Paulo. Comitê Educativo UPPM. **Conceitos-Chave da Educação em Museus: Documento Aberto para Discussão**. 2016. Disponível em: <https://www.sisemsp.org.br/blog/wp-content/uploads/2016/04/Bases-para-a-Pol%C3%ADtica-Nacional-de-Museus.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SERREL, Beverly. Paying attention: The duration and Allocation of Visitors' Time In Museums Exhibitions. **Curator**, v. 40, n. 2, 1997.

SHIBATTA, Oscar A. Reprodução do pirá-brasília, *Simpsonichthys boitonei* Carvalho (Cyprinodontiformes, Rivulidae), e caracterização de seu habitat na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 1146-1151, 2005.

SHIBATTA, Oscar A.; ROCHA, Antônio José Andrade. Alimentação em machos e fêmeas do pirá-brasília, *Simpsonichthys boitonei* Carvalho (Cyprinodontiformes, Rivulidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 2, p. 381-385, 2001.

TARNG, W.; OU, K.L.; YU, C.-S.; LIOU, F.-L.; LIOU, H.-H. Development of a virtual butterfly ecological system based on augmented reality and mobile learning technologies. **Virtual Reality**, v. 19, p. 253-266, 2015.

VUFORIA. **Optimizing Target Detection and Tracking Stability**. 2019. Disponível em: <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability>. Acesso em: 10 dez. 2018.

VUFORIA. **Vuforia engine**. 2019b. Disponível em: https://vuforia.com/engine#_ga=2.265674953.756403341.1552410631-1759342571.1552410631. Acesso em: 15 jan. 2019.

Criando visualizações em realidade aumentada para o ensino de ciências

Publicado em: GOULART, Claudia; LACERDA SANTOS, Gilberto (organizadores). **Tecnologia e Comunicação Pedagógica**. Brasília: Viva Editora, 2018. 211 p.

RESUMO

Visualizações em ciências são relevantes para fomentar explicações acerca do mundo físico e comunicá-las a terceiros. Nesse contexto, colocam-se as representações geradas por computação gráfica, que incluem modelos bi (2D) e tridimensionais (3D). Tais modelos podem ser apresentados por sistemas de realidade aumentada (RA), nos quais os objetos virtuais são posicionados em congruência com o ambiente real. Os trabalhos de revisão de literatura demonstram, contudo, a ausência de preocupação com a utilização de teorias de ensino e aprendizagem no processo de desenvolvimento desses modelos. Essa desconexão dificulta a criação de modelos pedagogicamente relevantes. Visando encurtar a distância entre educadores e desenvolvedores, apresentamos aqui um guia para orientar o trabalho de criação de visualizações em RA no ensino de ciências.

INTRODUÇÃO

A prática científica busca criar entendimento por meio da adoção de procedimentos que permitam gerar consenso acerca da natureza da realidade. Atingir esse objetivo implica visualizar aquilo que se deseja compreender e representar externamente esse processo interno, para que terceiros possam dialogar com essas visualizações, criando suas próprias. Inerentemente limitadas, tais representações são aproximações incompletas de entidades e fenômenos, às quais nos referimos como modelos.

Recebem destaque no ensino de ciências dando suporte às explicações do mundo físico, servindo como estímulo à aprendizagem e simplificando objetos e conceitos complexos ao permitirem ignorar detalhes menos relevantes e focar naqueles essenciais ao entendimento de determinado conceito (COLL; LAJIUM, 2011).

Nesse sentido, a computação gráfica (CG) se coloca como importante ferramenta de criação de modelos pela geração de imagens bi e tridimensionais (3D) geradas por

computador. Estas últimas, ao incorporar a percepção de profundidade, levam a cenas realísticas, que tendem a ser mais imersivas quando comparadas àquelas de multimídia tradicionais. Com isso, as experiências apresentam maior impacto emocional, senso de presença e engajamento (KROUPI et al., 2016).

A imersividade sensorial é diretamente proporcional à capacidade dos sistemas computacionais de apresentar aos sentidos, particularmente à visão, estímulos que estejam em congruência com aqueles que os indivíduos vivenciam em sua experiência cotidiana no ambiente real. Exemplo disso é o que verificamos em sistemas de realidade virtual (RV), nos quais dispositivos, como telas, óculos e luvas especializadas apresentam ao indivíduo um conjunto de elementos virtuais que compõem, de seu ponto de vista, um verdadeiro ambiente mais ou menos dissociado daquele que circunda o conjunto indivíduo-sistema de RV.

Sistemas de realidade aumentada (RA), por sua vez, apresentam os elementos virtuais sem fazer a dissociação do conjunto indivíduo-sistema de RA. O ambiente se mantém, por definição – seguindo a classificação de Milgram e Colquhoun Júnior (1999) – predominantemente formado por elementos reais. Os elementos virtuais podem variar de textos ou símbolos simples a modelos 3D e animações, sendo apresentados sobrepostos aos elementos reais e mantendo-se tipicamente os seis graus de liberdade do objeto, sendo três translacionais e três rotacionais (WANG et al., 2013).

No campo educacional, a RA tem ganhado terreno à medida que seus dispositivos habilitadores aumentam sua capacidade de processamento e se tornam mais acessíveis. Merecem destaque os *smartphones*, que cada vez mais se tornam onipresentes no cotidiano dos alunos. A presença de sistemas de RA em sala de aula, contudo, pouco serve à educação sem o desenvolvimento de aplicativos que possam ser utilizados para o ensino-aprendizagem.

Iniciativas nesse sentido têm sido feitas em contextos e níveis educacionais variados, que vão desde a educação infantil, passando pelo ensino médio e superior, até treinamentos profissionais, como é o caso da pesquisa realizada por Sutherland et al. (2013), na qual projeções de um modelo virtual de coluna são sobrepostas a um boneco anatômico da região lombar para simular sua localização subjacente, permitindo a profissionais da saúde treinar procedimentos de inserção de agulhas.

A amplitude de temas também é variada, concentrando-se, predominantemente, na área das Ciências, provavelmente em virtude da efetividade para visualização de conceitos

complexos e abstratos, bem como entidades e fenômenos de difícil visualização no mundo real (BACCA et al., 2014).

A análise de revisões sobre o estado da arte do uso de RA na educação em geral (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017; BACCA et al., 2014; PRIETO et al., 2014; TSAI; SHEN; FAN, 2014) e na área mais específica da educação em saúde e bem-estar (ZHU et al., 2014) demonstram a ausência de foco dos estudos na descrição do ambiente e processos de desenvolvimento, das ferramentas utilizadas para criar as aplicações, bem como as teorias de ensino e aprendizagem que as fundamentam. Essa desconexão entre a prática do ensino mediado por sistemas de RA e o processo de desenvolvimento dos aplicativos que os utilizam talvez reflita a distância entre os profissionais que normalmente atuam em cada uma dessas atividades. A primeira área é composta, predominantemente, por educadores e pesquisadores da educação, e a segunda por profissionais mais orientados à ciência da computação e design gráfico.

Apresentamos, aqui, em linhas gerais, um guia para a criação de visualizações em RA para o ensino de ciências como forma de orientar a prática de desenvolvimento que ocorre na interface entre essas áreas de conhecimento. Acreditamos que é nesse ponto de encontro que poderemos alterar a prática de desenvolvimento para que seus produtos possam melhor atender aos objetivos pedagógicos a que se propõem. Mais do que uma receita fechada, este guia é um convite a estudantes, educadores e desenvolvedores a participar mais ativamente da construção desses artefatos.

As etapas descritas não seguem um caminho unívoco, uma vez que durante o desenvolvimento é frequente sua revisão e reformulação. Levando isso em consideração, procuramos traçar uma linha mestra que possa conduzir aqueles com interesse no tema a adotar estratégias de desenvolvimento mais eficientes.

CONHECENDO O PÚBLICO-ALVO

O primeiro passo a ser observado quando se deseja construir material educacional é identificar a quem ele se destina, quais as necessidades dos futuros usuários, grau de instrução, anseios, contexto no qual está localizado, nível de acesso a dispositivos digitais, grau de familiaridade com as tecnologias digitais da informação comunicação e expressão (TDICE) e quaisquer outras características ou particularidades que possam se mostrar relevantes.

Importante salientar que a depender dos objetivos e contexto de aplicação, o público-alvo não se restringe aos estudantes, podendo abranger os diversos profissionais da educação (professores, assistentes, coordenadores, diretores, gestores), familiares e comunidade local. Conhecer o público-alvo é, portanto, uma atividade complexa que implica transcender a esfera imediata do indivíduo, expandindo-se para toda uma realidade na qual ele está inserido. A metodologia de pesquisa em estudos sociais fornece um arcabouço teórico relevante do qual podemos lançar mão para bem cumprir esta tarefa.

A escolha da mais adequada varia conforme a visão de mundo do desenvolvedor-pesquisador, tempo para execução, grau de envolvimento e acesso aos usuários finais, recursos disponíveis, dentre outros. Dentre as principais tradições estão: a pesquisa narrativo-biográfica; os estudos fenomenológicos; a pesquisa-ação; e os estudos de caso (ESTEBAN, 2010).

DELINEANDO O TEMA

A menos que imposto por algum fator arbitrário, o tema a ser abordado costuma permitir aos desenvolvedores algum espaço para escolha. Sua eleição decorre, em grande parte, do resultado do levantamento feito na etapa anterior. Isto porque, à medida que nos aprofundamos nas necessidades de nosso público-alvo, passamos a identificar um conjunto de temas potencialmente relevantes, tanto para os indivíduos, mais diretamente imbrincados no processo de ensino-aprendizagem, quanto para a transformação do contexto no qual eles estão inseridos. Aqui são cabíveis perguntas do tipo: O tema é relevante para a escola? Há particular interesse para a comunidade local? Relaciona-se com alguma situação premente no contexto regional, nacional ou internacional?

Outro critério de escolha é o domínio ou afinidade das pessoas que participarão ativamente da elaboração das representações. Embora não seja fator de exclusão, o conhecimento prévio do tema é altamente desejável. Antes de se proceder à construção de representações de determinado assunto, o desenvolvedor deve ser capaz de visualizar internamente todos os detalhes relevantes para a compreensão de determinado conceito para que possa externá-los de modo compreensível a terceiros. Nos casos em que não possuem o conhecimento necessário, devem os desenvolvedores ser devidamente assessorados para que possam se apropriar deles.

Um terceiro fator a ser considerado diz respeito às vantagens de se apresentar o conteúdo com RA. A construção de modelos para sistemas dessa natureza costuma ser

laboriosa, devendo passar por uma análise de custo-benefício. Algumas perguntas a serem levantadas nesta etapa: Apresentar informações sobre objetos reais específicos pode facilitar a dinâmica da instrução? A representação em 3D é capaz de evidenciar algum conceito abstrato, de difícil compreensão, ou impossível de ser visualizado de outras formas? Quais os profissionais, recursos e processos de construção de modelos 3D que temos à nossa disposição?

DEFININDO CONTEÚDOS E OBJETIVOS

Escolhido o tema, é necessário definir quais aspectos referentes a ele são pertinentes e devem ser enfatizados. Também neste estágio é necessário estar em alinhamento com o público-alvo a que o material se destina, o nível de aprofundamento em que deve ser trabalhado e como os conceitos se relacionam entre si.

Dentre os modos de sistematizar os conteúdos dentro de um tema, destacamos os mapas conceituais, criados por Joseph Novak e colaboradores como uma ferramenta para organizar o conhecimento e representa-lo para si e para os outros. Mapas conceituais podem ser organizados de diferentes maneiras, sendo as mais comuns aquelas em forma de diagramas. Nelas, procura-se evidenciar significados dados a determinados conceitos e suas relações no contexto de determinado corpo de conhecimento (GOMES et al., 2011). Para que sistemas de RA se tornem relevantes para a educação em ciências é imprescindível que seu desenvolvimento parta do pressuposto de que a tecnologia não possui um valor agregado em si mesma, devendo ser colocada no papel de mediadora do processo de aprendizagem. Um princípio valioso nesse sentido é começar delineando os objetivos do aprendizado e, com base neles, implementar a tecnologia tendo um claro senso do alvo a ser atingido pelos aprendizes. Esses são alguns dos achados de Nielsen, Brandt e Swensen (2016), em estudo conduzido com professores especialistas de ciências, designers de tecnologia da informação e comunicação, e pesquisadores de educação em ciências de quatro países.

A definição dos objetivos costuma andar junto com a definição dos conteúdos, uma vez que norteia a prática. Em um experimento com uso de RA no ensino do tema eletromagnetismo com alunos do ensino médio na Espanha, por exemplo, o conteúdo incluía conceitos, como força e campos magnéticos. O objetivo da instrução era que os estudantes fossem capazes de compreender, dentre outros, a relação estabelecida entre esses dois conceitos. Para tanto, montou-se um sistema de RA no qual os estudantes

podiam manipular e visualizar as forças eletromagnéticas no ambiente real (IBÁÑEZ et al., 2014).

De modo mais amplo, os objetivos podem se irradiar para além do domínio do conteúdo escolar propriamente dito, sobretudo, nos casos em que o tema é escolhido com vistas a gerar transformação de uma dada realidade. Nesses casos, os objetivos tomam o caminho inverso, direcionando os conteúdos para que abarquem as problemáticas que se deseja evidenciar e sobre as quais se objetiva efetuar mudanças.

ELEGENDO UMA TEORIA PEDAGÓGICA

Para alcançar seus objetivos, as visualizações em RA devem ser utilizadas de modo a efetivamente alterar as concepções dos sujeitos da aprendizagem para que sejam condizentes com os modelos científicos. Se é verdade que toda experiência pode gerar algum tipo de aprendizado, também o é que uma experiência teoricamente fundamentada e sistematicamente desenvolvida sobre um alicerce sólido é mais eficiente em orientar esse aprendizado a ser congruente com os objetivos propostos.

A escolha de uma teoria pedagógica perpassa questões filosóficas e de ordem prática, como a faixa etária do público-alvo e a natureza do material a ser explorado. São diversos os referenciais que têm sido adotados no desenvolvimento de aplicativos em RA, dentre os quais estão: teoria dos múltiplos recursos (HUNG; CHEN; HUANG, 2017); aprendizagem baseada em investigação (CHIANG; YANG; HWANG, 2014); aprendizagem situada (KAMARAINEN et al., 2013); teoria da aprendizagem experiencial de David Kolb (FURIÓ et al., 2013; HUANG; CHEN; CHOU, 2016); e teoria das múltiplas inteligências de Gardner (FURIÓ et al., 2013).

Uma vez que se elege uma teoria pedagógica ela passa a balizar toda a estratégia de desenvolvimento e utilização do aplicativo, visto que a aplicação não pode acontecer em descompasso com a etapa de criação. Se partirmos da teoria da aprendizagem experiencial de David Kolb, por exemplo, que concebe a existência de diferentes estilos de aprendizagem, seria incongruente desenvolver um aplicativo que não permitisse a utilização segundo as diferentes estratégias preconizadas por ela.

Com base no público-alvo, tema, conteúdos e objetivos, e teoria pedagógica, passa-se então à fase de planejamento da utilização do aplicativo. Nessa fase, deve-se procurar fazer uma primeira aproximação do que se pretende como resultado final, de como o programa quando pronto será posto em utilização e quais serão seus alcances e limitações.

ESCOLHENDO UM MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento de aplicações com RA, a despeito de suas particularidades, obedece ao esquema geral do processo de desenvolvimento de *softwares*, definido como “a prática de organizar o design e a construção de software e sua implantação no contexto.” (THE OPEN UNIVERSITY, 2016, p. 62-63). Há uma diversidade de abordagens para fazê-lo, no entanto, algumas atividades fundamentais são comuns à maioria e incluem: análise, que envolve a compreensão do problema a ser endereçado e os requisitos contextuais; design, com descrição conceitual da solução do *software* ao problema; implementação, ligada à materialização da solução no *software*; teste, para ter certeza de que a solução tem certas qualidades intrínsecas que se aplicam ao problema; e implantação, que é a colocação do *software* dentro do contexto para o qual foi desenvolvido (THE OPEN UNIVERSITY, 2016).

Um dos tipos de processo mais antigos de desenvolvimento de *software* é o modelo em cascata. Nele, um conjunto de requisitos definidos inicialmente permanece constante ao longo do processo, o que o torna bastante linear e com pouca flexibilidade. É ainda utilizado em algumas indústrias, especialmente, em setores com grande regulamentação. Como reação a esse modelo, surgiram os processos iterativos e incrementais. Mais flexíveis, permitem maiores trocas entre as fases de desenvolvimento, frequentemente retomando etapas já parcialmente executadas e efetuando mudanças. Exemplo dessa abordagem é o modelo em espiral. Independentemente do modelo escolhido, para que o software atenda a seus propósitos, deve o desenvolvimento ser norteado pelos seguintes aspectos: tempos, adequação funcional, usabilidade, flexibilidade, possibilidade de teste e reusabilidade (THE OPEN UNIVERSITY, 2016). Consideramos o modelo em espiral particularmente interessante quando os desenvolvedores atuam de modo relativamente independente dos usuários finais. Nesse contexto, aquilo que é idealizado não raro é dissonante da forma como é percebida pelos usuários finais. Uma vez que tal modelo pressupõe um mecanismo cíclico de desenvolvimento, aplicação e reformulação, os conflitos entre esses dois extremos permitem reformulações e refinamentos sucessivos até que o resultado final seja considerado satisfatório.

Sendo o desenvolvimento um processo tipicamente longo e laborioso, é fundamental que se estabeleça um calendário de atividades a ser seguido, o que permite adequar os tempos de modelagem e prototipagem às janelas de teste e avaliação.

CRIANDO MODELOS 3D

Antes de iniciar o processo de modelagem, é interessante a sistematização e análise daquilo que as cenas a serem representadas devem conter. Uma ferramenta interessante da qual se pode lançar mão são os *storyboards*, que consistem em gráficos e textos bidimensionais que procuram mostrar as composições, ações e posicionamento dos elementos que o aplicativo final deve conter. Amplamente utilizados em trabalhos artísticos, também possuem relevância no desenvolvimento de programas, na educação, teatro, animações, novelas e quadrinhos, dentre outros (BAIK et al., 2015). Criar *storyboards* permite identificar falhas conceituais e de desenho instrucional em um estágio inicial de desenvolvimento, possibilitando sua correção.

Uma vez criado o *storyboard*, passamos à criação dos modelos 3D virtuais que podem ser gerados de modo automático (como é o caso das nuvens de pontos geradas por *scanners* 3D), semiautomático (que combina elementos automáticos e autorais), bem como por processos manuais, como a modelagem de polígonos dentro de programas de computação gráfica (CG). Derakhshani (2009) descreve as etapas de modelagem por polígonos no programa *Autodesk Maya*[®], um dos mais difundidos na criação de imagens e animações 3D. Esse tipo de modelagem parte de formas primitivas, como planos, esferas, quadrados, cones, e cilindros e efetua modificações graduais, adicionando e modificando vértices até que se atinja o resultado esperado. A finalização envolve a aplicação de texturas e, conforme o caso, iluminação e animação.

Um método automático que tem ganhado destaque com a difusão de sistemas de posicionamento global (GPS, na sigla em inglês) é a criação de modelos a partir do levantamento topográfico de terrenos por veículo aéreo não tripulado (VANT). As fases incluem: (a) planejamento e configuração do voo; (b) execução dos voos e obtenção de imagens; (c) ortorretificação e mosaico; (d) obtenção de modelo digital do terreno; e (e) edição e adequação do modelo.

Embora métodos automáticos forneçam uma boa base para a criação dos modelos a serem utilizados, os modelos gerados costumam ser muito complexos não apenas do ponto de vista das informações apresentadas aos usuários finais, como do ponto de vista do processamento por meio de RA. Outro ponto relevante é o reduzido controle que se tem sobre o resultado final quando considerados os conceitos a serem evidenciados e o contexto pedagógico ao qual se destinam. Por esse motivo, costuma ser dada preferência a métodos semiautomáticos ou à modelagem tradicional.

INTEGRANDO OS MODELOS A UM SISTEMA DE RA

Uma vez criados os modelos, procedemos à sua implementação dentro de um sistema de RA. Isso pode ser feito em diversos níveis, a seguir apresentados (WANG et al., 2013): nível 0, no qual a RA serve como um *hyperlink* simples do mundo físico para o mundo virtual, sem renderização em tempo real; nível 1, referente à RA com uso de marcadores, consistindo em imagens 2D que permitem o registro e rastreamento; nível 2, ou RA sem marcadores, que independem de marcadores para essa função; e, por último, o nível 3, ou visão aumentada, ainda em desenvolvimento. O maior obstáculo à criação de sistemas de RA efetivos é o requisito de se ter sensores e marcadores acurados e de longo alcance para que o registro e o posicionamento dos objetos virtuais no ambiente real ocorram de modo efetivo.

Outras dificuldades, conforme exposto por Billinghamurst et al. (2014), estão associadas à utilização de head-mounted displays (HMDs) tradicionais com RA, dentre elas: fator social, peso e conexões de cabos e sistemas adicionais de rastreamento. Os celulares *smartphones* mais atuais, por outro lado, além de maior mobilidade em razão da ausência de cabos e baixo peso, e de permitirem utilizar a mesma tela para *display* e *input*, estão amplamente disponíveis entre os usuários, possuem boa qualidade de imagem, CPUs e processadores gráficos rápidos, conexões para rede, câmera integrada, GPS e sensores diversos. Apesar disso, há ainda pouca orientação para o design da interface de usuário em aplicações para celulares e sistemas manuseáveis de RA (SMRA) em geral. Tendo essa situação em conta, os autores fizeram uma revisão da literatura e propuseram como diretrizes: (1) fornecer uma visão de RA desobstruída, para que seja possível aos objetos virtuais serem posicionados no mundo real, mostrado preferencialmente em tempo real; (2) mostrar a acurácia do sensor de entrada, indicando ao usuário o fator de sua correspondência; (3) combinar os requisitos de interface com ergonomia do dispositivo e a tarefa em mãos, o que facilita a usabilidade; (4) usar movimentação natural do dispositivo como um mecanismo de entrada, uma vez que facilmente manipulável para fornecer vistas alternativas da cena; (5) combinar a visão em RA e a fora dela de modo apropriado, a exemplo da colocação de textos 2D nos objetos reais, sem necessidade de marcadores; (6) utilizar entradas de informação simples, uma vez que o dispositivo será movimentado; e (7) minimizar atrasos da aplicação, facilitando o processamento para performance em tempo real.

DEFININDO O MODO DE INTERAÇÃO

As representações geradas podem ser apresentadas de modo acabado, ou seja, sem que seja possível realizar alterações nos objetos representados (como é o caso de um modelo estático ou animado com ações predefinidas), ou podem-se adicionar mecanismos por meio dos quais os objetos apresentem mudanças de comportamento com base nas ações do indivíduo, permitindo maior interatividade.

Este último aspecto tem sido apontado como um dos mais relevantes, conforme levantamento feito com especialistas, para que visualizações em RA possam alcançar seus objetivos pedagógicos em ciências. É bastante desejável que seja possível alterar aquilo que se está vendo em oposição à limitação de controle apenas do ângulo e distância de visão do objeto, como ocorre no caso das animações simples (NIELSEN; BRANDT; SWENSEN, 2016).

Um exemplo de utilização desse recurso pode ser observado em um estudo feito por Andújar, Mejías e Antonio (2011), no qual foram utilizadas câmeras e circuitos eletrônicos em um laboratório físico para utilização a distância em RA com alunos universitários. À medida que componentes virtuais eram adicionados a uma placa de circuitos real, um modelo virtual de distribuição de fluidos alterava sua função.

Outro exemplo é o estudo realizado por Ibáñez et al. (2014), que utilizou *tablets* e marcadores em objetos de papelão em formato de ímãs e baterias que exibiam fenômenos eletromagnéticos diferentes, a depender da configuração de seus posicionamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos aqui, em linhas gerais, um guia para a criação de visualizações em RA para o ensino de ciências. Descrevemos as seguintes etapas: conhecimento do público-alvo; delimitação do tema; definição de conteúdos e objetivos; eleição de uma teoria pedagógica norteadora; escolha do método de desenvolvimento; criação dos modelos 3D, sua integração a sistemas de RA e a definição de modos de interação com eles.

Embora cada uma dessas etapas seja relevante e o sucesso do aplicativo como um todo dependa da apropriada associação entre elas, chamamos a atenção para a relevância da primeira. É a partir do conhecimento dos sujeitos e suas realidades que todo o processo se desenrola, não devendo os desenvolvedores se furtarem a esta análise. Os educadores, por sua vez, devem estar inseridos no processo de desenvolvimento, se não atuando de

forma direta, participando de modo ativo nas etapas de desenvolvimento, uma vez que detentores do conhecimento do tema, do cotidiano dos processos de ensino-aprendizagem, bem como de suas principais dificuldades.

REFERÊNCIAS

AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational Research Review**, v. 20, p. 1-11, 2017.

ANDÚJAR, J. M.; MEJÍAS, A.; ANTONIO, Marco M. **Augmented reality for the improvement of remote laboratories**: an augmented remote laboratory. IEEE Transactions on Education, 2011.

BACCA, J. *et al.* Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. **Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 133-140, p. 14.

BAIK, S. W. *et al.* Flowchart Based Storyboard System for Authoring Visual Contents in Mixed Reality. **International Journal of Electronics and Electrical Engineering**, v. 3, n. 3, 2015.

BILLINGHURST, M. *et al.* Developing Handheld Augmented Reality Interfaces. In: MARK, G. **The Oxford Handbook of Virtuality**. Oxford: Oxford University Press, 2014. 776 p.

CHIANG, T.-H.-C.; YANG, S.-J.-H.; HWANG, G.-J. An Augmented Reality-based Mobile Learning System to Improve Students' Learning Achievements and Motivations in Natural Science Inquiry Activities. **Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 352-365, 2014.

COLL, R. K.; LAJIUM, D. Modeling and the Future of Science Learning. In: KHINE, M. S.; SALEH, I. M. (org.). **Models and Modeling**: Cognitive Tools for Scientific Enquiry. Londres: Springer, 2011.

DERAKHSHANI, D. **Introducing Maya 2009**. Indianapolis: Wiley, 2010. 603 p.

ESTEBAN, M. P. S. **Pesquisa Qualitativa em Educação**: fundamentos e tradições. Porto Alegre: AMGH, 2010. 268 p.

GOMES, A. P. *et al.* The Role of Concept Maps in the Medical Education. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 35, n. 2, p. 275-282, 2011.

FURIÓ *et al.* The effects of the size and weight of a mobile device on an educational game. **Computers & Education**, v. 64, p. 24-41, 2013.

HUANG, T.-C.; CHEN, C.-C.; CHOU Y. W. Animating eco-education: to see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. **Computers & Education**, v. 96, p. 72-82, 2016.

HUNG, Y.-H.; CHEN, C.-H.; HUANG, S.-W. Applying augmented reality to enhance learning: a study of different teaching materials. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 33, p. 252-266, p. 2017.

IBÁÑEZ, M. B. *et al.* Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. **Computers & Education**, v. 71, p. 1-13, 2014.

KAMARAINEN *et al.* EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. **Computers & Education**, v. 68, p. 545- 556, 2013.

KROUPI, E. *et al.* Modeling immersive media experiences by sensing impact on subjects. **Multimed Tools Appl**, v. 75, p. 12409-12429, 2016.

MILGRAM, P.; COLQUHOUN JÚNIOR, H. W. J. A. Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. In: OHTA Y.; TAMURA H. **Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds**. Ohmasha, Ltd., p. 5-30, 1999.

NIELSEN, B. L.; BRANDT, H.; SWENSEN, H. Augmented Reality in science education: affordances for student learning. **Nordina**, v. 12, n. 2, p. 157-174, 2016.

PRIETO, L. P. *et al.* Review of Augmented Paper Systems in Education: An Orchestration Perspective. **Journal of Educational Technology & Society**, v. 17, n. 4, p. 169-185, 2014.

SUTHERLAND, C. *et al.* **An augmented reality haptic training simulator for spinal needle procedures**. IEE Transactions on Biomedical Engineering, 2013.

THE OPEN UNIVERSITY. **An Introduction to Software Development**. The Open University, 2016.

TSAI, C.; SHEN, P.; FAN, Y. The Application of Augmented Reality in Online Education: A Review of Studies Published in Selected Journals from 2003 to 2012. **International Journal of Information and Communication Technology Education**, v. 10, n. 2, p. 75-80, 2014.

WANG, X. *et al.* Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. **Automation in Construction**, v. 32, p. 1-13, 2013.

ZHU, E. *et al.* Augmented reality in healthcare education: an integrative review. **Peer J**, p. 1-17, 2014.

Iniciamos este trabalho questionando a aplicabilidade do conceito de transposição didática, conforme descrito por Chevallard (1998), para a área das ciências ambientais. Levantamos a tese de que para que pudesse ser utilizada com adequação na educação ambiental baseada no lugar com uso de sistemas de RA, seria necessário que, na fase de criação do aplicativo, fosse considerada a realidade do lugar, e que o método de desenvolvimento incluísse os ensinantes¹⁹ e alunos.

Com o objetivo de verificar a tese, concebemos e analisamos o desenvolvimento de dois aplicativos para a educação ambiental baseada no lugar. O primeiro, denominado *O Ribeirão e a Escola*, descrito no *Capítulo 3*, foi endereçado à Escola Classe 05 de Sobradinho e à comunidade à qual atende. O segundo, tratado no *Capítulo 4*, denominou-se *Pirá-Brasília*, e foi criado para a exposição *A-Riscado: Arte, Ciência e Tecnologia*, disponível para visitação no Museu nacional da República, de 23 de novembro a 13 de janeiro.

Nossa tese se ancorava em uma ontologia da realidade diversa da utilizada por Chevallard, mais alinhada à *objetividade-entre-parênteses*, conforme proposta por Maturana e Varela (2001). Quanto à mediação realizada pelas tecnologias digitais da informa o, comunica o e expressão (TICE), encontramos em Lévy (2010) arcabouço teórico relevante para pensar a RA, enquanto técnica, elemento constituidor do saber. Tínhamos críticas, contudo, ao conceito de virtual conforme trabalhado por Lévy, sobretudo em sua obra *O que   o virtual?* (2011). Sendo central ao nosso trabalho, sentimos a necessidade de realizar uma discussão ontológica da virtualidade, estudo que realizamos no *Capítulo 1*. Concluímos por uma readequa o do sentido dos termos virtualiza o e virtual. O primeiro, resultado da atualiza o com expectativas a novas atualiza es, possui mais valor utilizado figurativamente. O segundo   ontologicamente aplicável aos objetos de sistemas informáticos que podem ser atualizados. Para os sistemas informáticos atualizáveis apenas como imagens, a aplica o do termo exige concessões.

Sendo uma tecnologia emergente, o desenvolvimento de aplicativos educativos com RA   bastante dependente de reflexões e investiga es de experiências em andamento nas fronteiras do conhecimento. Com base nessa necessidade, realizamos um estudo do tipo *estado da arte* para mapear e discutir a produ o acadêmica sobre o uso de RA na

¹⁹ Termo utilizado como sin nimo da palavra espanhola *ense antes*, o qual não possui correspondente adequado em língua portuguesa.

educação em biologia e ciências ambientais. Apesar da RA ter se mostrado uma ferramenta efetiva para essas disciplinas, nossos achados revelaram que estudos nestes tópicos eram escassos, especialmente no desenvolvimento de aplicativos, o que reforçou nossa convicção quanto à pertinência do trabalho ora exposto.

Analisando a experiência de desenvolvimento dos aplicativos, demonstramos a necessidade de conhecer a realidade local e incluir professores e estudantes no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e deste ao saber ensinado, com vistas à educação ambiental baseada no lugar. Além da proposta teórica, nosso trabalho apresentou como produtos os aplicativos supramencionados. O método de desenvolvimento e as categorias de análise que utilizamos servem como parâmetros para o desenvolvimento de aplicativos em RA para o ensino de ciências. Por fim, visando encurtar a distância entre educadores e desenvolvedores, apresentamos um guia para orientar o trabalho de criação de visualizações em RA no ensino de ciências.

REFERÊNCIAS

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado**. 3. ed. Tradução Claudia Gilmar. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1998.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. Tradução: Carlos Irineu da Costa. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2010. Publicação original: 1997.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual**. Tradução: Paulo Neves. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011. Publicação original: 1995.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. Tradução Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001. 288p.

APÊNDICE A – OBJETIVOS E CONTEÚDOS DOS PCN: VOLUMES CIÊNCIAS NATURAIS, E HISTÓRIA E GEOGRAFIA

Objetivos

[Volume Ciências Naturais]

1. Identificar e compreender as relações entre solo, água e seres vivos nos fenômenos de escoamento da água, erosão e fertilidade dos solos, nos ambientes urbano e rural;
2. Caracterizar causas e conseqüências da poluição da água, do ar e do solo;
3. Caracterizar espaços do planeta possíveis de serem ocupados pelo homem, considerando as condições de qualidade de vida;
4. Identificar os processos de captação, distribuição e armazenamento de água e os modos domésticos de tratamento da água - fervura e adição de cloro —, relacionando-os com as condições necessárias à preservação da saúde;
5. Compreender a importância dos modos adequados de destinação das águas servidas para a promoção e manutenção da saúde;
6. Valorizar a vida em sua diversidade e a preservação dos ambientes.

[Volume História e Geografia]

1. Reconhecer e comparar o papel da sociedade e da natureza na construção de diferentes paisagens urbanas e rurais brasileiras;
2. Reconhecer, no lugar no qual se encontram inseridos, as relações existentes entre o mundo urbano e o mundo rural, bem como as relações que sua coletividade estabelece com coletividades de outros lugares e regiões, focando tanto o presente e como o passado;
3. Conhecer e compreender algumas das conseqüências das transformações da natureza causadas pelas ações humanas, presentes na paisagem local e em paisagens urbanas e rurais;

Alguns conteúdos a serem trabalhados no segundo ciclo

[Volume Ciências Naturais]

1. Estabelecimento de relações entre os solos, a água e os seres vivos nos fenômenos de permeabilidade, fertilidade e erosão;
2. Elaboração de perguntas e suposições sobre as relações entre os componentes dos ambientes;
3. Comparação das condições do solo, da água, do ar e a diversidade dos seres vivos em diferentes ambientes ocupados pelo homem;
4. Reconhecimento das formas de captação, armazenamento e tratamento de água, de destinação das águas servidas e das formas de tratamento do lixo na região em que se vive, relacionando-as aos problemas de saúde local;
5. Reconhecimento das principais formas de poluição e outras agressões ao meio ambiente de sua região, identificando as principais causas e relacionando-as aos problemas de saúde da população local;

[Volume História e Geografia]

1. Reconhecimento do papel das tecnologias na transformação e apropriação da natureza e na construção de paisagens distintas;
2. Leitura e compreensão das informações expressas em linguagem cartográfica e em outras formas de representação do espaço, como fotografias aéreas, plantas maquetes, entre outras;
3. Valorização do uso refletido da técnica e da tecnologia em prol da reabilitação e conservação do meio ambiente e da manutenção da qualidade de vida;

APÊNDICE B – CONTEÚDOS DOS PCN: VOLUME MEIO AMBIENTE E SAÚDE

[Meio Ambiente]

Bloco - Os Ciclos da Natureza

1. Os ciclos da água, seus múltiplos usos e sua importância para a vida, para a história dos povos;
2. O estabelecimento de relações e correlações entre elementos de um mesmo sistema;
3. A observação de elementos que evidenciem ciclos e fluxos na natureza, no espaço e no tempo.

Bloco - Sociedade e Meio Ambiente

1. Os limites da ação humana em termos quantitativos e qualitativos;
2. As principais características do ambiente e/ou paisagem da região em que se vive; as relações pessoais e culturais dos alunos e de sua comunidade com os elementos dessa paisagem;
3. As diferenças entre ambientes preservados e degradados, causas e consequências para a qualidade de vida das comunidades, desde o entorno imediato até de outros povos que habitam a região e o planeta, bem como das gerações futuras;
4. A interdependência ambiental entre as áreas urbana e rural.

Bloco - Manejo e Conservação Ambiental

1. O manejo e a conservação da água: noções sobre captação, tratamento e distribuição para o consumo; os hábitos de utilização da água em casa e na escola adequados às condições locais;
2. A necessidade e formas de tratamento dos detritos humanos: coleta, destino e tratamento do esgoto; procedimentos possíveis adequados às condições locais (sistema de esgoto, fossa e outros);
3. A necessidade e as formas de coleta e destino do lixo; reciclagem; os comportamentos responsáveis de “produção” e “destino” do lixo em casa, na escola e nos espaços de uso comum;
4. As formas perceptíveis e imperceptíveis de poluição do ar, da água, do solo e poluição sonora; principais atividades locais que provocam poluição (indústrias, mineração, postos de gasolina, curtumes, matadouros, criações, atividades

- agropecuárias, em especial as de uso intensivo de adubos químicos e agrotóxicos, etc.);
5. A necessidade e as principais formas de preservação, conservação, recuperação e reabilitação ambientais, de acordo com a realidade local;
 6. As práticas que evitam desperdícios no uso cotidiano de recursos como água, energia e alimentos;

[Saúde]

Bloco - Autoconhecimento para o Autocuidado

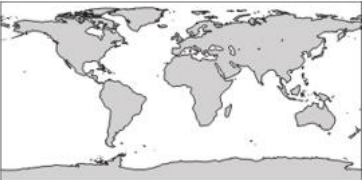



1. Identificação das doenças associadas à ingestão de água imprópria para o consumo humano; procedimentos de tratamento doméstico da água;
2. Rejeição ao consumo de água não potável.

Bloco – Vida Coletiva

1. Principais sinais e sintomas das doenças transmissíveis mais comuns na realidade do aluno, formas de contágio, prevenção e tratamento precoce para a proteção da saúde pessoal e de terceiros;
2. Fatores ambientais mais significativos para a saúde presentes no dia-a-dia da criança: sistema de tratamento da água, formas de destino de dejetos humanos e animais, lixo e agrotóxicos;
3. Mapeamento das transformações necessárias no ambiente em que se vive;
4. Relações entre a preservação e recuperação ambientais e a melhoria da qualidade de vida e saúde;
5. Rejeição aos atos de destruição do equilíbrio e sanidade ambientais;
6. Participação ativa na conservação de ambiente limpo e saudável no domicílio, na escola e nos lugares públicos em geral;

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS

Questionário - Aula 1

<p>Nome: _____ Turma: _____</p> <p style="text-align: center;">QUESTIONÁRIO 1 – AULA 1</p> <p>1. Onde está o Brasil no mapa abaixo? Circule.</p>  <p>2. Onde está o Distrito Federal (DF) no mapa abaixo? Circule.</p>  <p>3. Onde está a cidade de Sobradinho no mapa abaixo? Circule.</p> 	<p>4. Onde está o Ribeirão Sobradinho? Que caminho ele percorre? Desenhe no mapa abaixo.</p>  <p>5. Qual o nome do rio onde desagua o Ribeirão Sobradinho?</p> <p>_____</p> <p>6. O que é uma bacia hidrográfica?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Obrigado por participar! =]</p>
---	---

Questionário – Aula 2

<p>Grupo 1 _____ Turma: _____</p> <p>Aluno 1: _____ Aluno 2: _____</p> <p>Aluno 3: _____ Aluno 4: _____</p> <p>Aluno 5: _____ Aluno 6: _____</p> <p>O que está acontecendo em cada etapa?</p> <p>1.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div> <p>2.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div> <p>3.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>	<p>4.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div> <p>5.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div> <p>6.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>
--	---

APÊNDICE D – ESCLARECIMENTO SOBRE A PESQUISA E TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Universidade de Brasília

Faculdade de Educação

ESCLARECIMENTOS SOBRE A PESQUISA

Prezados pais, mães e responsáveis,

Sou estudante do curso de doutorado da Faculdade de Educação da Universidade de Brasília e estou desenvolvendo uma pesquisa, sob supervisão do Prof. Gilberto Lacerda Santos, que consiste no desenvolvimento e avaliação da utilização de um aplicativo educativo para celulares e *tablets* com uso de realidade aumentada (RA). A realidade aumentada é uma tecnologia que permite misturar elementos reais e virtuais na tela de um celular, *tablet* ou computador. O exemplo mais popular é o jogo “Pokemon Go”. O objetivo do nosso aplicativo é promover a educação ambiental por meio do estudo da água, seus usos e suas relações com meio ambiente, em especial o Ribeirão Sobradinho.

O programa funciona da seguinte forma: com o aplicativo instalado, o aluno aponta o celular ou *tablet* para imagens específicas em mapas e cadernos fornecidos por nós, e neles aparecem modelos de terrenos, rios, árvores e outros elementos que compõem o conteúdo do aplicativo. No caso dos celulares, em determinados momentos, também serão fornecidos óculos de realidade virtual, no qual o aluno insere o celular para melhor visualizar os modelos.

Nesta etapa da pesquisa, procuramos avaliar como os alunos utilizam o aplicativo e o que eles compreendem dos modelos apresentados. Para tanto, é necessário fazer o registro em áudio e vídeo dos alunos utilizando o aplicativo, enquanto são feitas perguntas sobre o que ele observa. Ao todo, serão quatro encontros com duração entre 45min e 1h15min cada.

Por hora, o aplicativo funciona apenas com dispositivos android, não sendo possível utilizá-lo em iPhones. Embora não seja imprescindível, é desejável que os alunos levem seus próprios aparelhos desde que baixem o aplicativo no dia em que serão usados para terem acesso à versão mais atual (fazemos atualizações constantes). Neste caso, não nos responsabilizamos por danos ou avarias aos equipamentos. Dispomos de cinco aparelhos que são disponibilizados para utilização em turnos por toda a turma, deste modo, independente de levarem seus próprios celulares ou tablets, todos poderão participar.

Para baixar o aplicativo basta acessar o “Google Play” e procurar pelo nome “O Ribeirão e a Escola”

Além de contribuir para o desenvolvimento do conhecimento científico na área de tecnologias educativas, a pesquisa também terá como produto o aplicativo, que ficará disponível para ser baixado gratuitamente e poderá ser utilizado por outras turmas da escola. Ressaltamos que a participação na pesquisa é um ato voluntário, podendo o (a) aluno (a) deixar de responder a qualquer questão ou pergunta, assim como recusar, a qualquer tempo, participar da pesquisa, interrompendo sua participação, temporária ou definitivamente, sem prejuízos e sem sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos.

Atenciosamente,

Frederico Coelho Krause
E-mail: fredkrause@gmail.com



Universidade de Brasília
Faculdade de Educação

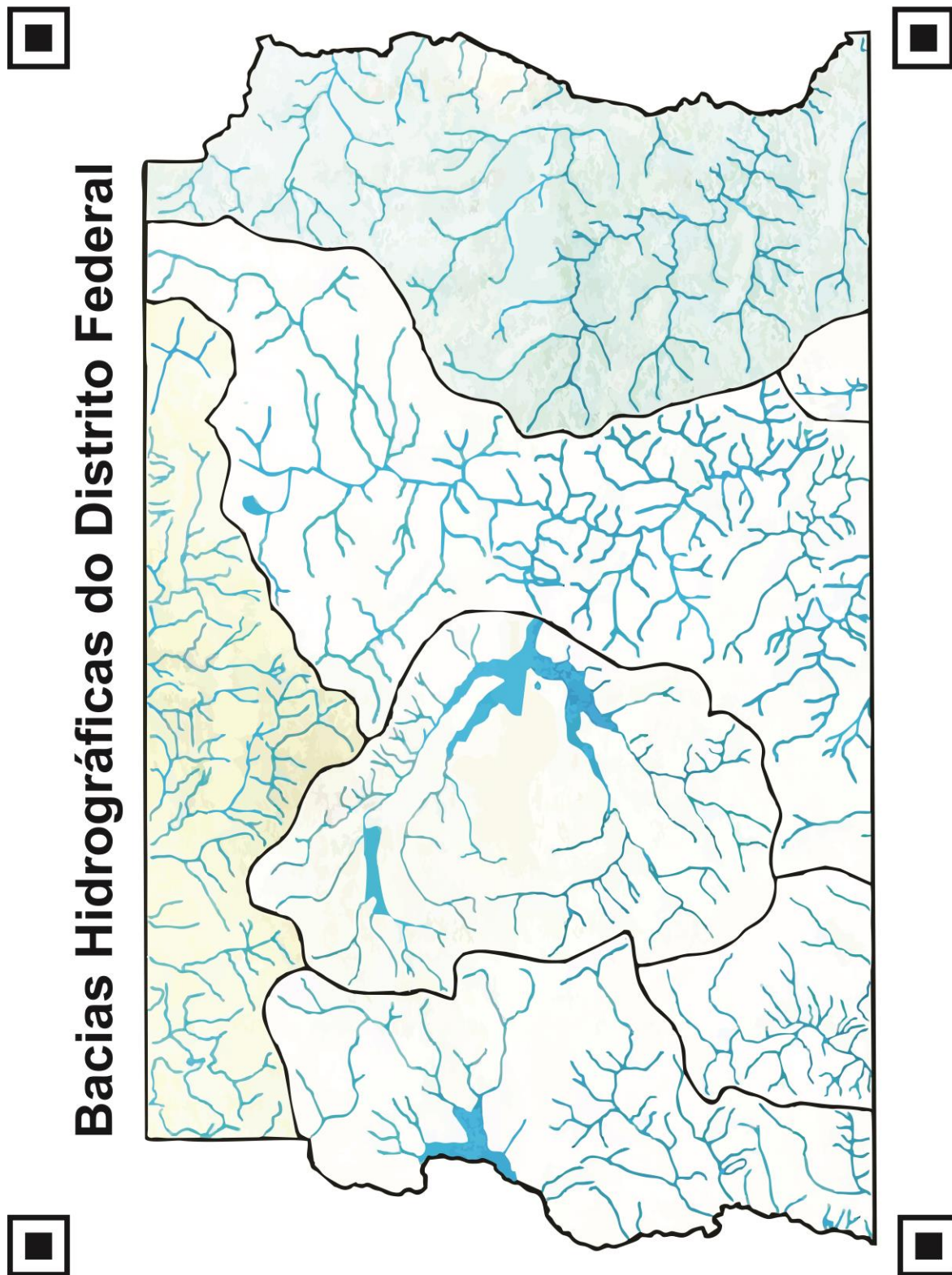
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____
RG nº _____, declaro que concordei em autorizar o (a) aluno (a), _____, a participar de pesquisa para o desenvolvimento e avaliação da utilização de um aplicativo educativo para celulares e *tablets* com uso de realidade aumentada (RA) realizada pelo pesquisador Frederico Coelho Krause, sob orientação do Prof. Gilberto Lacerda Santos. Afirmo que concordei em autorizar a participação por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro ou ter qualquer ônus e com a finalidade exclusiva de colaborar para o sucesso da pesquisa. Fui informado de que o (a) aluno (a) terá a liberdade de deixar de responder a qualquer questão ou pergunta, assim como recusar, a qualquer tempo, participar da pesquisa, interrompendo sua participação, temporária ou definitivamente, sem prejuízos e sem sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos. Tenho ciência de que a colaboração se fará por meio de aulas, questionários e entrevistas, a serem gravadas a partir da assinatura desta autorização, e que o acesso direto a esse material coletado se fará apenas pelo pesquisador e/ou seu orientador, estando autorizada a publicação e divulgação dos resultados após análise, desde que assegurado o anonimato. Assim sendo, autorizo voluntariamente a participação do aluno supracitado nesta pesquisa.

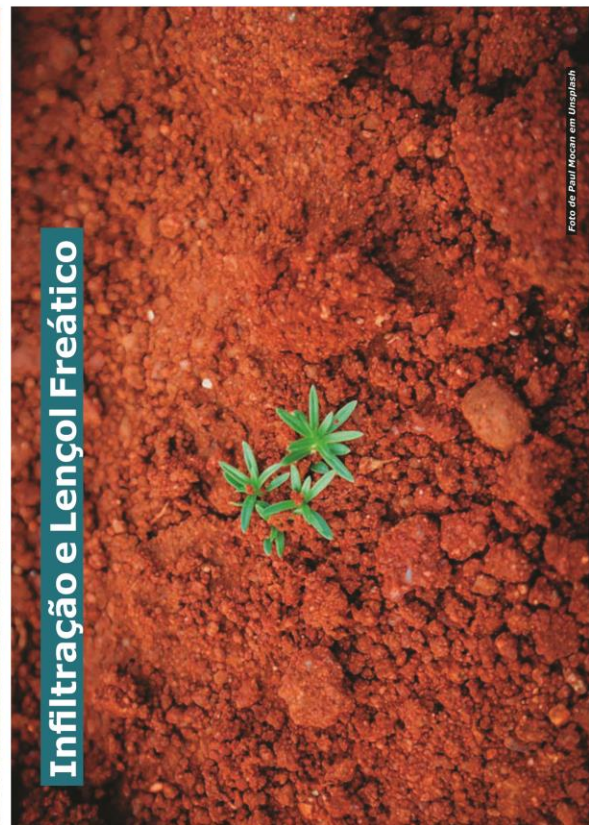
Brasília, ____ de _____ de _____.

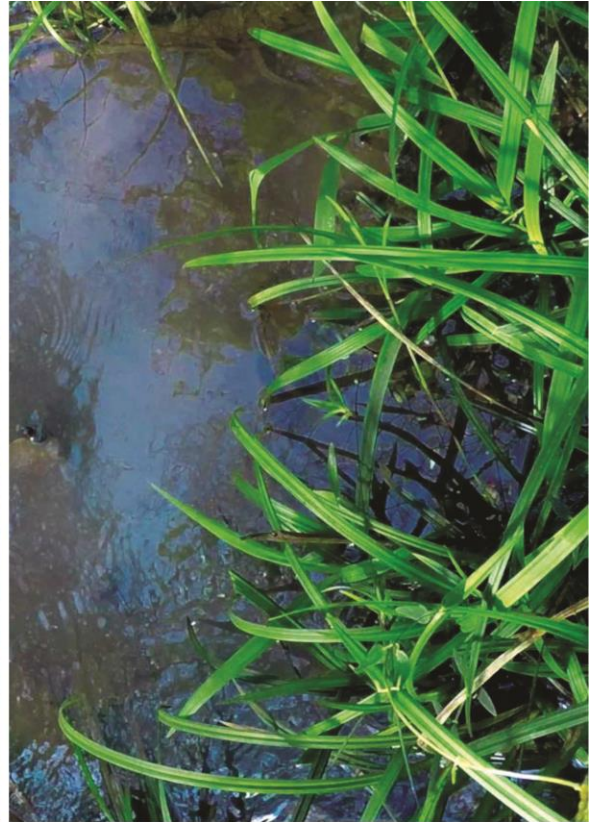
Assinatura do (a) responsável pelo (a) aluno (a)

**APÊNDICE E – MARCADOR DE REALIDADE AUMENTADA DO APLICATIVO
O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADO NA AULA 1**

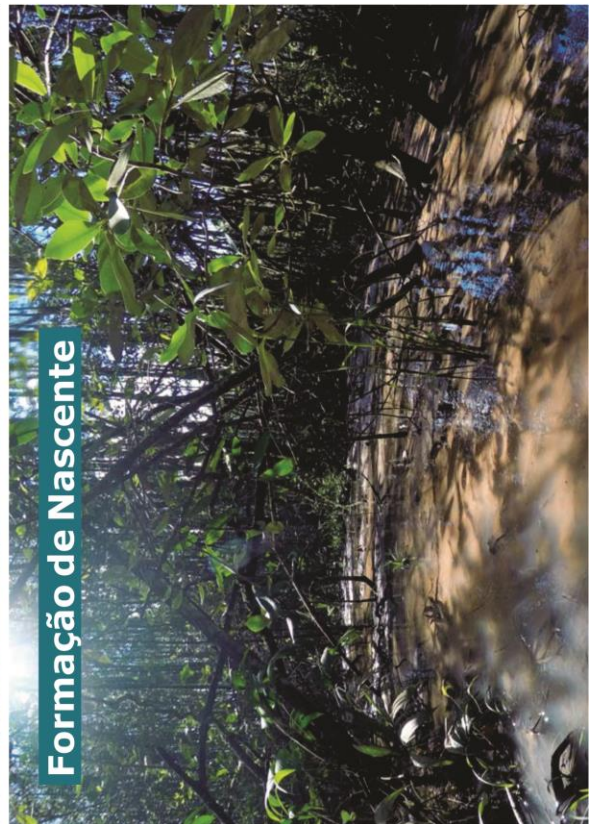


APÊNDICE F – MARCADORES DE REALIDADE AUMENTADA DO APLICATIVO O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADOS NA AULA 2





Escoamento Superficial



Formação de Nascente

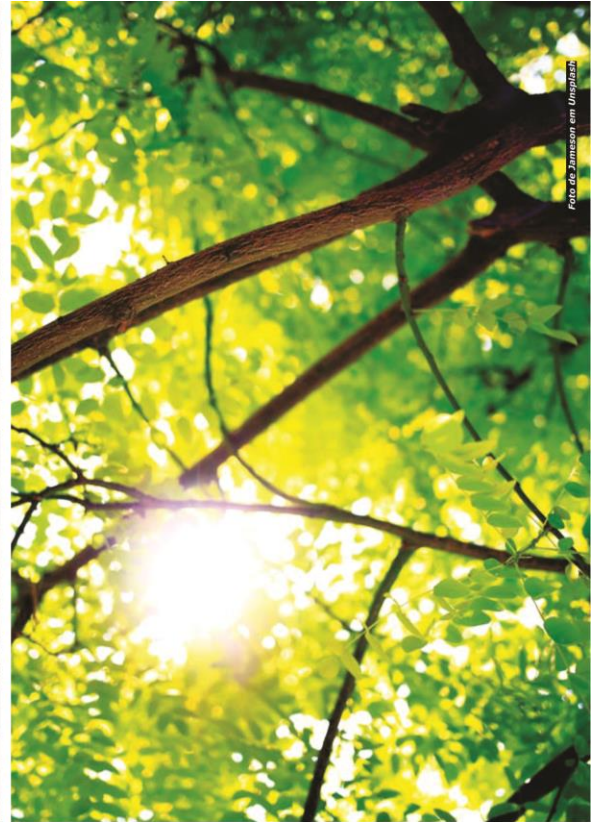
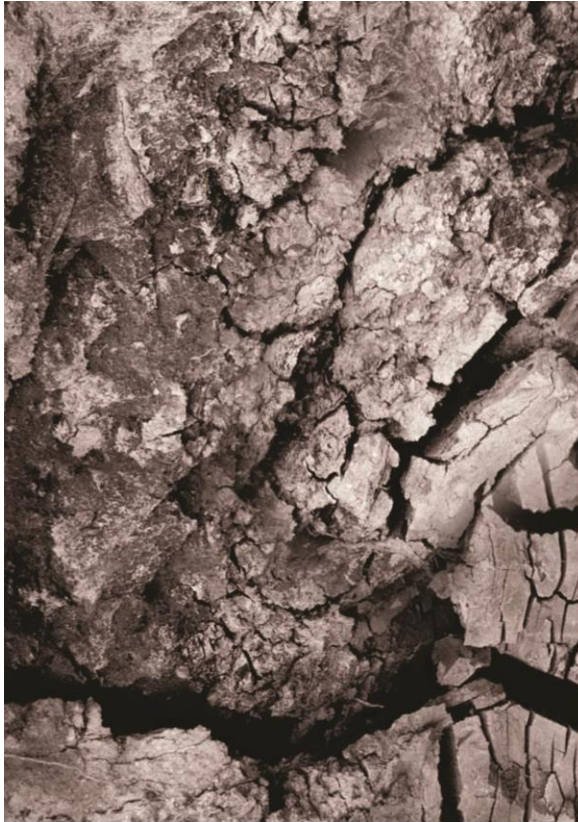
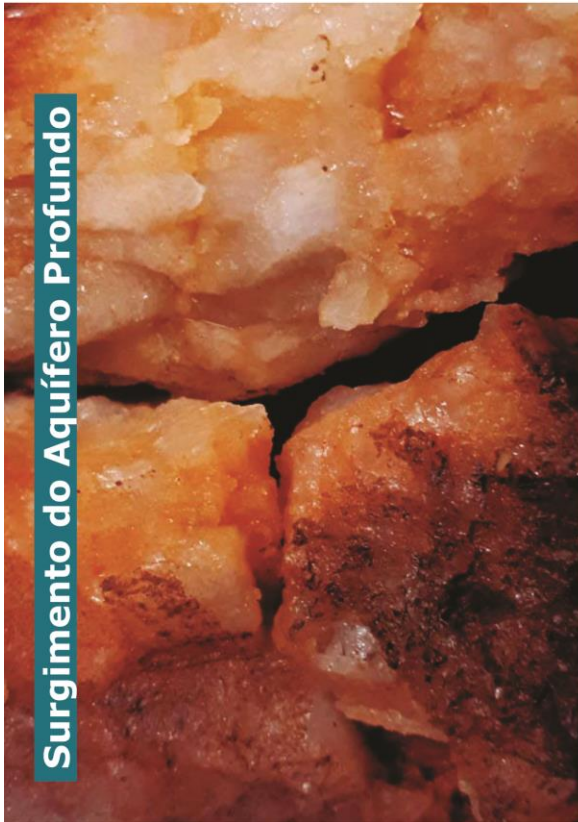


Foto de Jamison em Unsplash



Surgimento do Aquífero Profundo



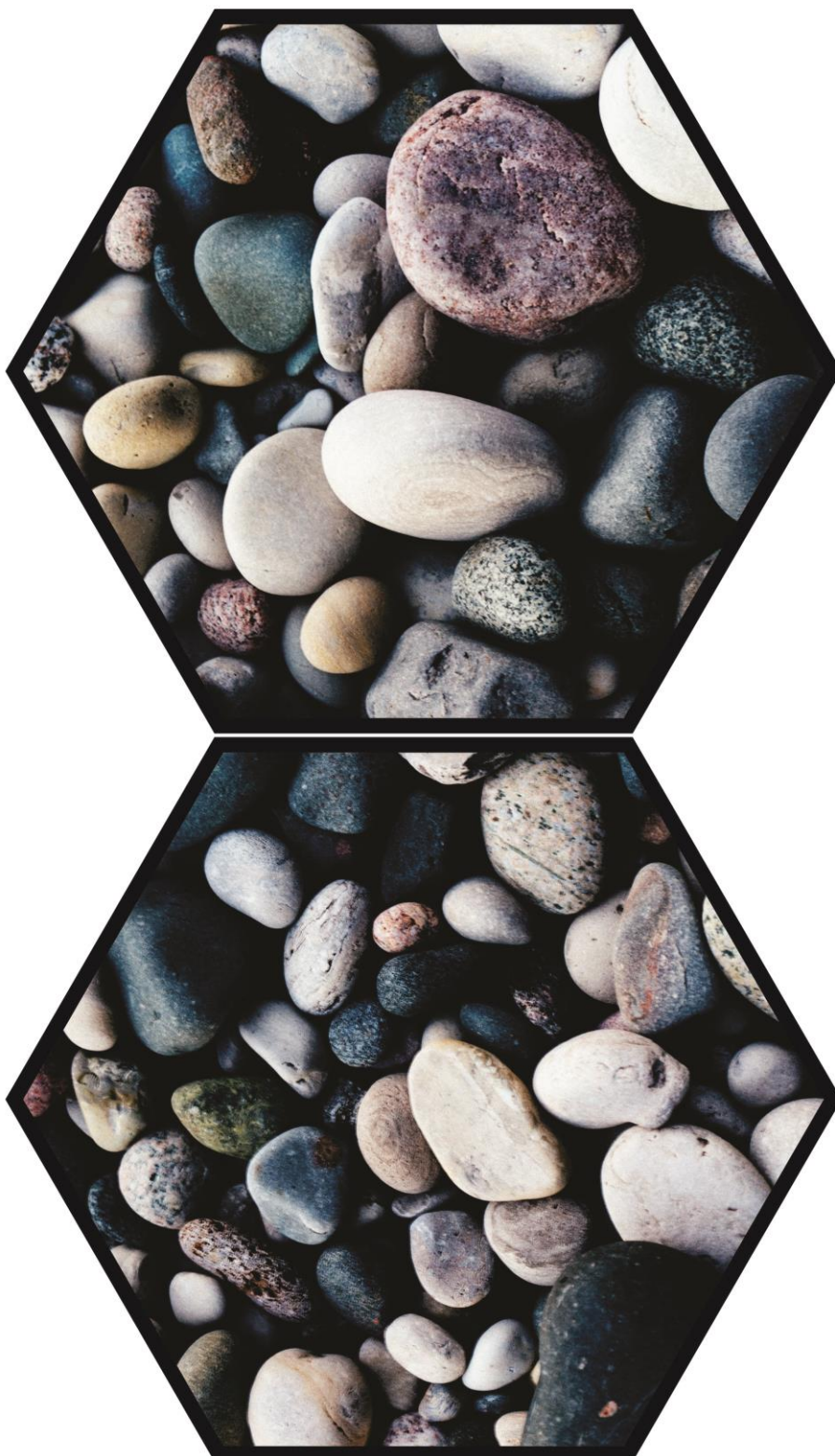
Evaporação e Transpiração

Foto de Cláudia em Unsplash

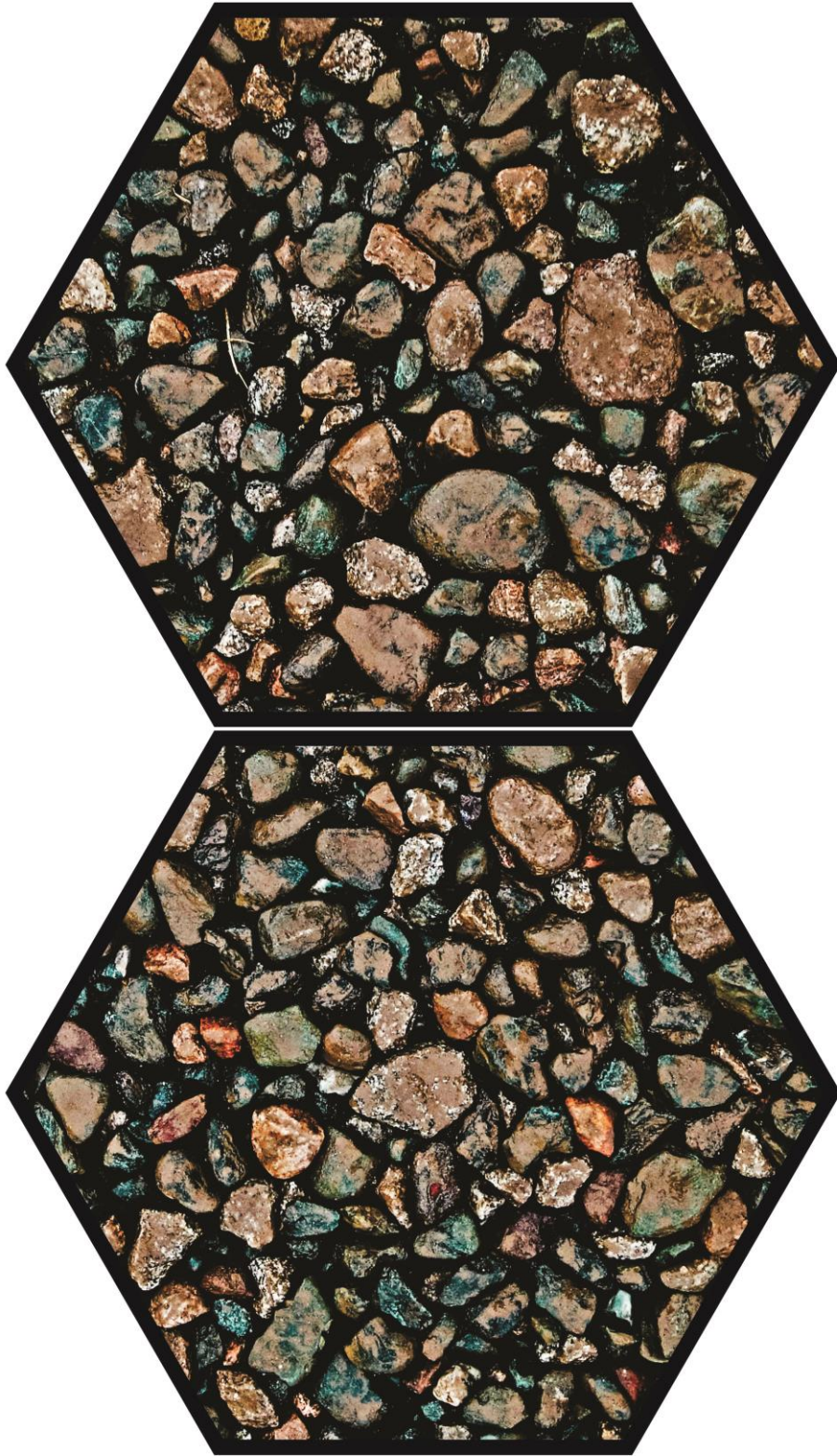
**APÊNDICE G – MARCADORES DE REALIDADE AUMENTADA DO
APLICATIVO *O RIBEIRÃO* E A *ESCOLA* UTILIZADOS NA AULA 3**









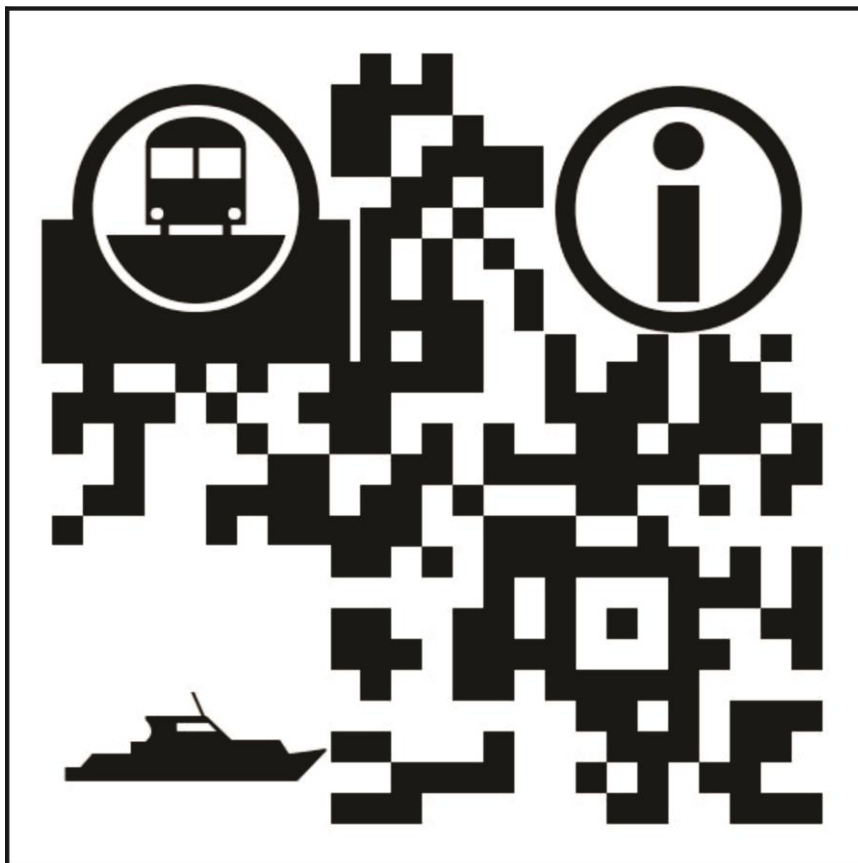


**APÊNDICE H – MARCADORES DE REALIDADE AUMENTADA DO
APLICATIVO O RIBEIRÃO E A ESCOLA UTILIZADOS NA AULA 4**

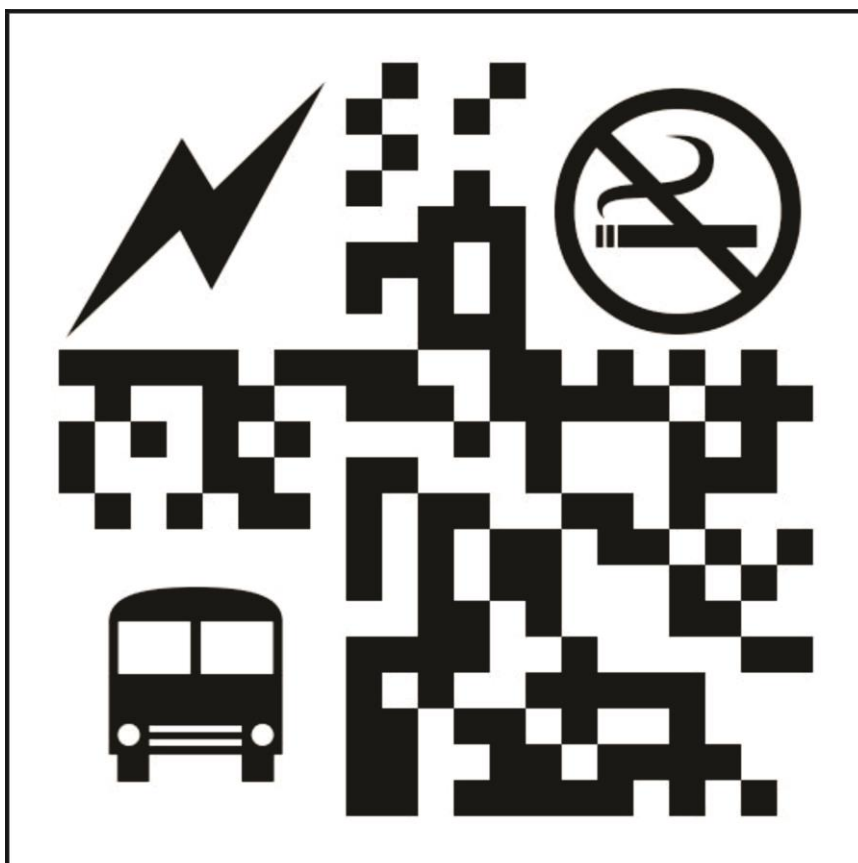
Pôster



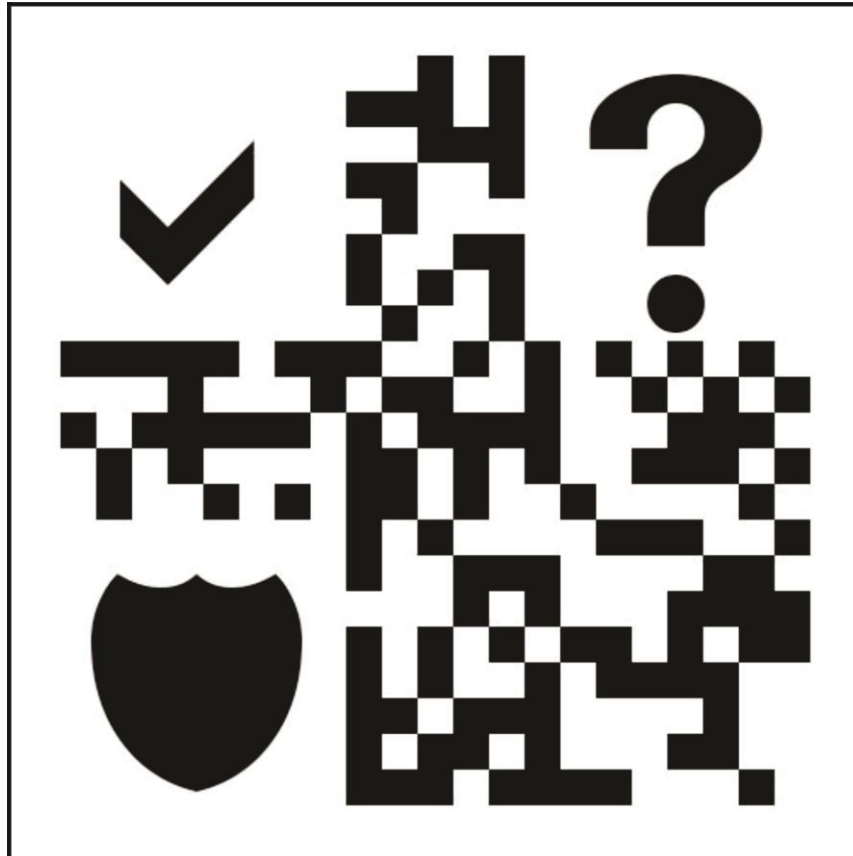
Problema 1



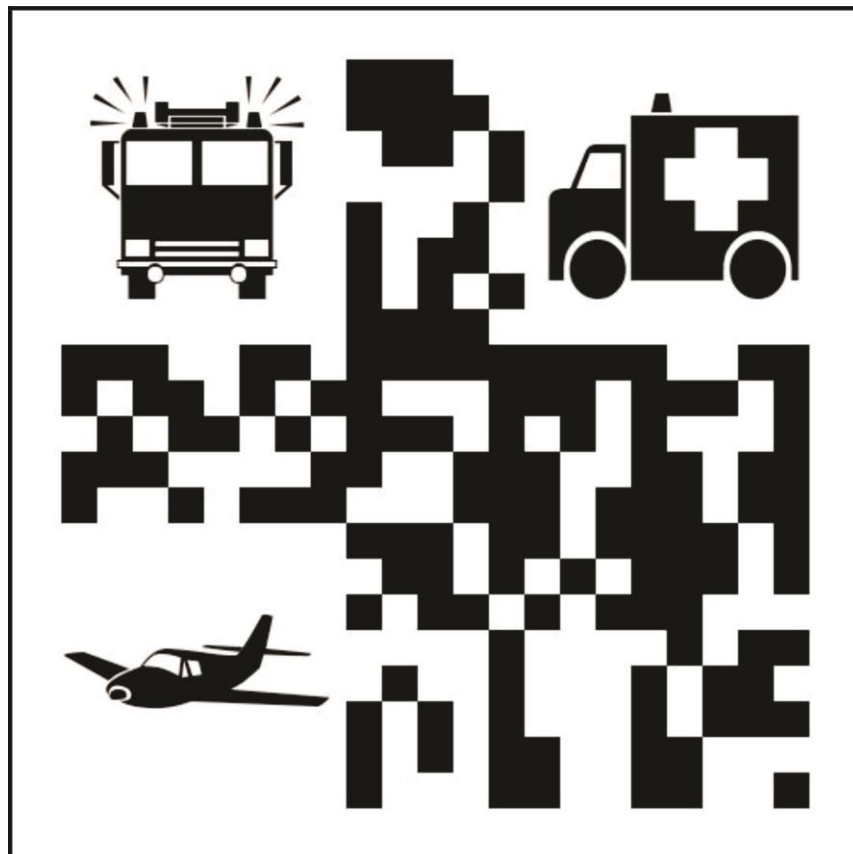
Problema 2



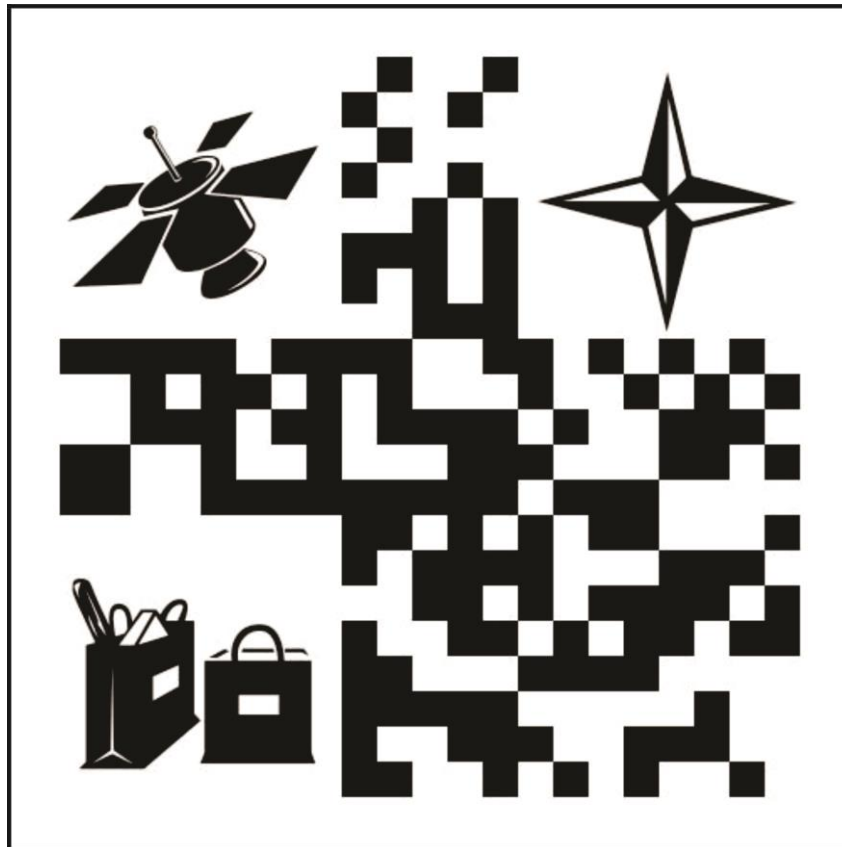
Problema 3



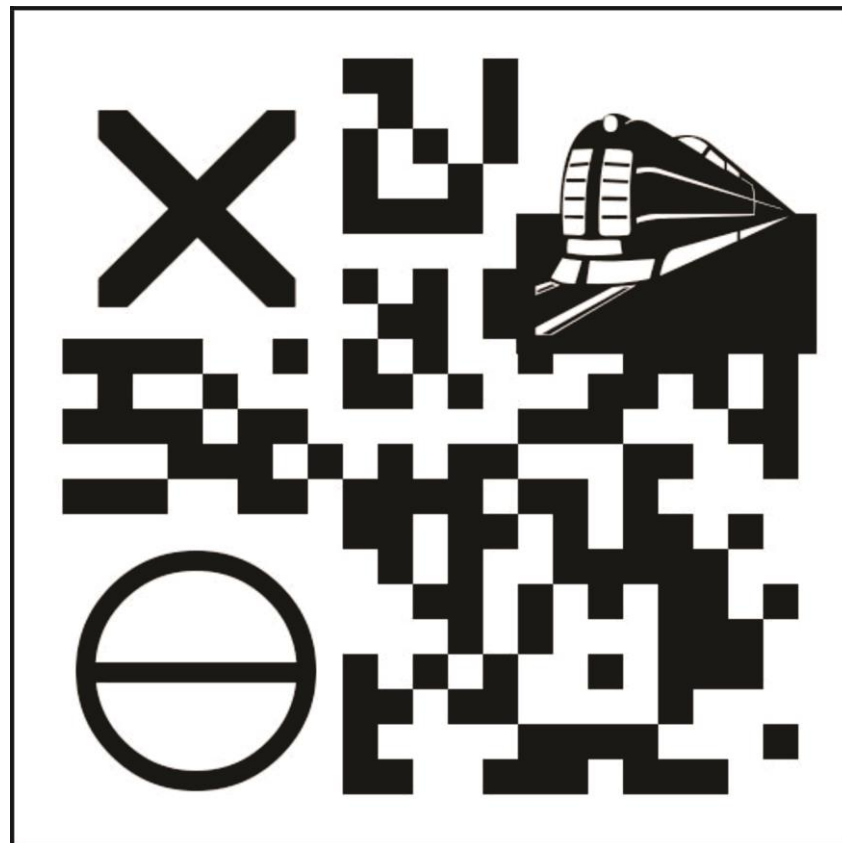
Problema 4



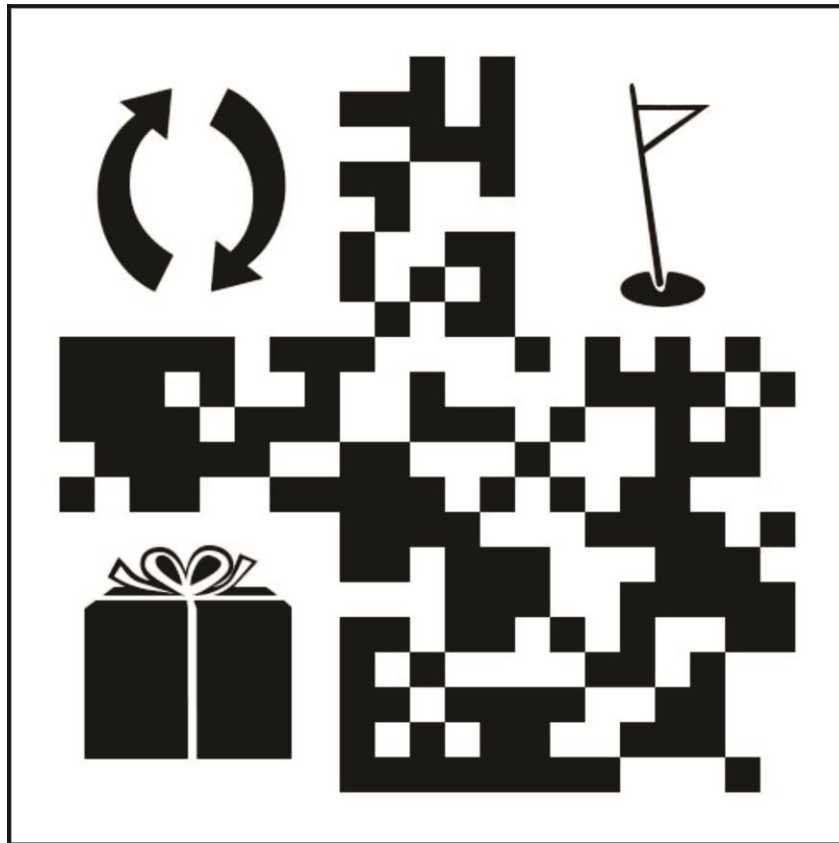
Problema 5



Problema 6



Problema 7



Problema 8

