Aplicações móveis para o ensino da Matemática com realidade aumentada

José Manuel Cerqueira

cerqueirajm@gmail.com
Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA)

Bárbara Cleto

barbara.cleto@gmail.com
Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA)

João Martinho Moura

jmoura@ipca.pt
Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA)

Cristina Sylla

cristina.sylla@ie.uminho.pt
Research Centre on Child Studies (CIEC), Universidade do Minho

Luís Ferreira

lufer@ipca.pt
Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA)

Resumo - Este artigo apresenta um estudo exploratório realizado com professores de matemática e de informática do ensino básico e secundário. Pretendeu-se perceber a perspetiva destes dois grupos de professores, relativamente à utilização de aplicações (*apps*) com interação tangível baseada na tecnologia de Realidade Aumentada (RA) no ensino da matemática. Foram utilizadas duas aplicações para dispositivos móveis Android, especificamente desenvolvidas para o ensino da matemática: uma sobre os sólidos platónicos (cinco poliedros regulares convexos) e outra sobre funções da matemática (como a afim e a quadrática). O desenvolvimento destes artefactos baseados numa tecnologia emergente, destinaram-se à exploração, por parte dos professores, do seu potencial como complementos aos recursos mais tradicionais. Foram desenhados, implementados e experimentados, com o propósito de facilitar e estimular a aprendizagem de matérias relacionadas com a matemática, através da inovadora interatividade que a RA oferece, e assim aferir os benefícios e os desafios da aplicação da RA neste domínio do ensino. O estudo permitiu concluir que as duas *apps* de RA, classificadas como ferramentas lúdicas e educativas, possibilitam a criação de cenários facilitadores na sala de aula, para motivar e envolver os alunos. Concluiu-se ainda que a RA no geral, pode ser usada como um recurso no ensino da matemática.

Palavras-chave: Aplicações, Jogos, Realidade Aumentada, Matemática.

Introdução

Praticamente todos os setores da atividade humana foram influenciados ou sofreram transformações devido ao surgimento da microeletrónica (Castells, 2006). Mais recentemente, assistimos à massificação dos dispositivos eletrónicos móveis, com potencialidades similares aos computadores, mas de dimensões reduzidas. Vivemos assim, rodeados por dispositivos microeletrónicos constituídos essencialmente por microprocessadores e microchips com a capacidade de processar a informação e comunicar em diferentes meios digitais. A informação pode circular em redes de comunicação com diferentes topologias e escalas, desde a humana, à escala planetária, como é o caso da Internet (fully connected). Alguns exemplos destes dispositivos são os smartphones, os smartwatchs, os tablets e as consolas de jogos. De forma acelerada e quase incessante, emergem novas e auspiciosas tecnologias e inerente potencial para a criação de novos serviços. Em particular, na área da informática, surgem não só novos equipamentos, mas também novos programas, com aplicabilidade e utilidade para a sociedade. Desta forma, estas tecnologias têm contribuído para a mudança do mundo, e consequente construção da sociedade tecnológica em que vivemos. Nesta "sociedade em rede" (Castells, 2006), o acesso aos meios tecnológicos, a qualidade da informação, a criatividade e inovação, as culturas no geral, interligadas na sociedade globalizante, têm conduzido a novas realidades e paradigmas. Entre as novas realidades, situam-se as Tecnologias de Informação, Comunicação e Eletrónica (Eze, Olatunji, Chinedu-Eze, & Bello, 2018). Elas são as ferramentas que complementam e são um suporte real e básico ao sistema formativo (Moreira, Barros, & Monteiro, 2015, p.32). Assim, dadas as rápidas mudanças da "sociedade em rede" de hoje e a crescente relevância das tecnologias, há uma enorme necessidade de adaptar a aprendizagem a essas novas realidades ("European Commission," 2018). Desta forma, a escola deve estar atenta a estas novas realidades, aos processos de mudança, tornando-se imprescindível que se transforme, cada vez mais, num lugar onde os alunos encontrem o seu espaço, adquirindo uma formação significativa e integral. As mudanças e os desafios não se limitam aos contextos educativos como a sala de aula, existem atualmente abordagens diferentes, como por exemplo, o formato *flipped classroom* (Mohan, 2018), através do trabalho de casa, que tem vindo a caminhar lado a lado com a exploração das crescentes tecnologias móveis e a adesão das escolas ao *Bring Your Own Device* (BYOD)[9], assim como a inclusão dos *Serious Games* (Zyda, 2005) ou jogos sérios educativos. Entre as tecnologias emergentes, relacionadas com os ambientes virtuais, a tecnologia de Realidade Virtual tem vindo a desafiar e a ganhar o interesse de diferentes áreas da sociedade no que concerne à sua aplicabilidade e utilidade. Em particular, o interesse dos educadores, professores e didatas, como recurso educativo, passível de ser utilizado com valor em sala de aula (Velev & Zlateva, 2017), como complemento aos modelos

[9] Attewell, J. (2015). BYOD Bring Your Own Device A guide for school leaders. *Hofi Studio, CZ. October*.

mais tradicionais (nas salas alinhadas) ou nos modelos mais modernos (nos espaços flexíveis de aprendizagem). No âmbito das tecnologias de ambientes virtuais, a Realidade Aumentada (RA) tem vindo a emergir com força, registando atualmente um enorme impacto pelo grande potencial de aplicação. O site Virtual Perceptions[10] (2019) destaca a influência (disruptiva) da RA e a sua importância na área educativa: "O valor total da RA na educação será aproximadamente de 5,3 mil milhões de dólares até 2023".

Em paralelo com a RA, assistimos também ao contínuo crescimento da tecnologia de Realidade Virtual (RV), que como a RA atravessa as mais diversas áreas do conhecimento. Segundo o conceito de Virtualidade Continuum (Milgram & Kishino, 1994), a RV e RA são duas faces da mesma moeda.

Contextualização

A ideia principal que orientou o desenvolvimento das *apps* com RA sobre sólidos platónicos e funções destinadas ao ensino da matemática, surge no alinhamento de dois pontos: i) o conhecimento de que esta disciplina não é atrativa para a grande maioria dos alunos (Conceição, Mendes, & Borges, 2015); e ii) reforçar o trabalho que tem sido desenvolvido neste domínio (Cerqueira, 2020; Cerqueira, Sylla, Moura, & Ferreira, 2019). A aposta neste tipo de *apps*, provém do reconhecimento de que as aplicações educativas de RA e RV contribuem para a transformação do processo de aprendizagem passivo para ativo, permitindo que os alunos interajam com o conteúdo, possam ser criativos e pratiquem o seu conhecimento em tempo real ("ABI Research," 2019). Em particular, com a RA é possível mediar artefactos virtuais em tempo real a partir de dispositivos auxiliares como lentes (câmaras) em *smartphones*, *tablets,* computadores, *wearables* e outros, sobrepondo esses artefactos aos ambientes reais. Atualmente é possível experimentar diferentes tipos de aplicações com RA dedicadas às ciências, engenharias, indústria e divertimento (Bottani & Vignali, 2019). Na área da educação, a RA surge aplicada em jogo sérios (Pellens, Hounsell, & Silva, 2017), nos livros aumentados (Bakri, Marsal, & Muliyati, 2019), na visualização interativa de objetos 3D (Goh, Sunar, & Ismail, 2019), em *apps* com georreferenciação (Behzadan, Menassa, & Kamat, 2018), etc.

Realidade Aumentada

A RA permite a mediação entre o digital e uma realidade existente (artefactos físicos), em tempo real, tornando-a mais significativa, através da capacidade de interagir com ela (Kesim et al., 2012). Esta tecnologia é desenvolvida em aplicações e usada, por exemplo, em dispositivos móveis com câmaras, para sobrepor componentes digitais ao mundo real (Figura 1), de tal forma que ambos se combinam, podendo também ser separados com facilidade. A RA complementa a realidade, em vez de a substituir completamente (Azuma, 1997).

[10] https://www.virtualperceptions.com/ar-education-2023-190417/

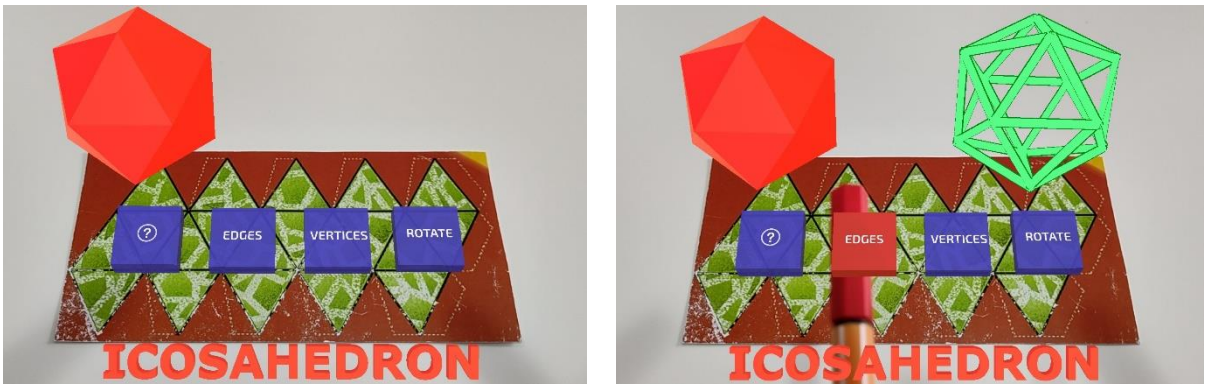


Figura 1. Combinação 2D (real) com 3D (virtual) - Sólidos Platónicos (Cerqueira, Cleto, Moura, & Sylla, 2018)

Um dos *Software Development Kits* mais utilizados para o desenvolvimento de aplicações de RA é o Vuforia[11] Engine – Motor de RA. Fornece um portal Web onde os programadores podem criar e gerir os marcadores de RA e obter as licenças para testar e publicar as *apps*. A plataforma Vuforia indica a qualidade e o grau de precisão de cada marcador, classificando-os numa determinada escala. Para uma boa deteção dos marcadores físicos, é necessário que cada marcador tenha uma classificação alta em termos de características visuais (Cerqueira, Cleto, Moura, & Sylla, 2018).

Desenvolvimento técnico

A *app* Sólidos Platónicos (Cerqueira et al., 2018) e o jogo sério sobre funções matemáticas – FootMath (Cerqueira et al., 2019) foram desenvolvidos para correr em dispositivos móveis, uma vez que a grande maioria dos estudantes possui telemóvel e/ou *tablet*. Para tal foram utilizadas duas plataformas de desenvolvimento: o Unity[12] Engine 2018 – Motor de Jogos da Unity Technologies e o Vuforia 7.5. Em ambas as *apps*, a interatividade resulta com o aproximar da câmara do dispositivo móvel aos marcadores de RA. O utilizador deve começar por usar o marcador apropriado (sólido geométrico ou função matemática) e apontar a câmara do *smartphone/tablet* para o mesmo de modo a visualizar a projeção da imagem tridimensional, no caso de sólidos platónicos, ou para manipular/explorar as diferentes funções, e experimentar parâmetros com diferentes valores (e assim marcar golos), no caso do FootMath.

No desenvolvimento destas *apps* esteve sempre presente a ideia de criar instrumentos educativos i) que servissem de suporte à investigação sobre o potencial da RA na matemática, como ferramentas atrativas e motivadoras da aprendizagem; e que ii) uma vez reconhecido o seu potencial pedagógico como produtos finais testados, pudessem ser aplicados na aprendizagem para criar uma experiência significativa e envolvente, alinhada com os objetivos

[11] https://developer.vuforia.com/

[12] https://unity.com/

de aprendizagem e com o currículo oficial da matemática. Nas secções seguintes são apresentadas as principais caraterísticas destes instrumentos educativos.

Sólidos Platónicos

A *app* Sólidos Platónicos (Figura 2) permite visualizar, manipular e explorar os cinco sólidos platónicos: cubo, tetraedro, octaedro, dodecaedro e icosaedro. Usa para o efeito marcadores 2D (as próprias planificações dos sólidos). Oferece para cada sólido, a ativação de botões virtuais para visualizar vértices, arestas, a rotação e informações.

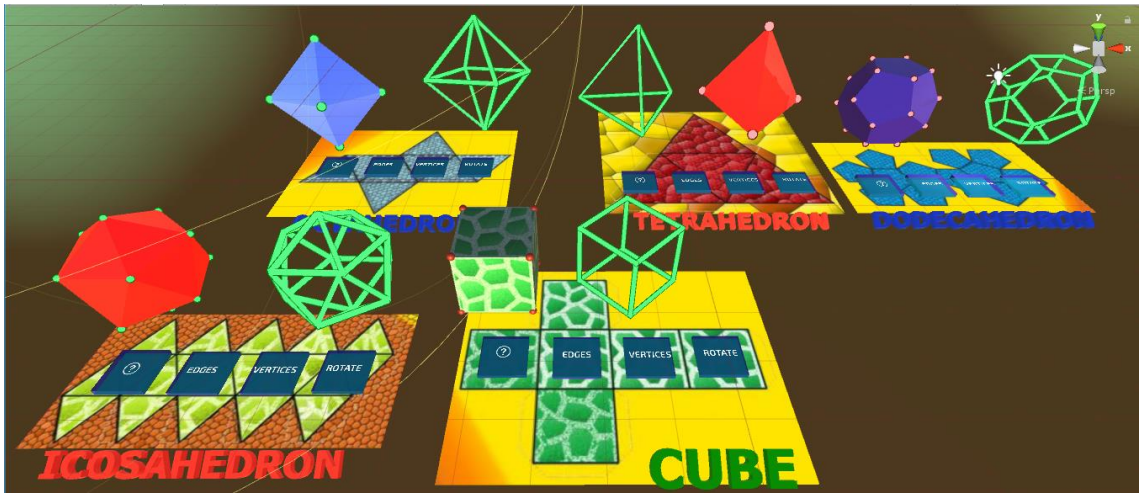


Figura 2. Sólidos Platónicos

FootMath

Relativamente à *app* FootMath (Figura 3) o seu desenvolvimento seguiu a abordagem de *Game-Based Learning Environments* (Prensky, 2001) sobre funções de matemática com o tema aglutinador – "Futebol". Permite através de *gameplay*, visualizar, manipular e explorar conceitos matemáticos sobre as funções: afim, quadrática, exponencial e as funções trigonométricas: seno e cosseno. Utiliza marcadores físicos para acionar as várias funções.

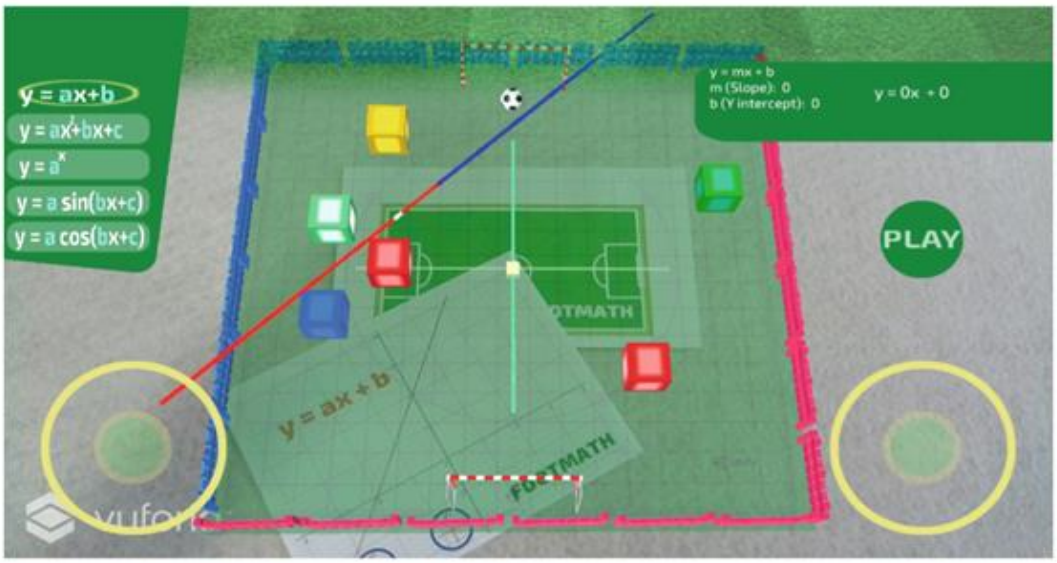


Figura 3. Função linear *y = ax + b* representada na área do jogo.

A *app* oferece a seguinte interatividade: quando a câmara deteta um marcador, o jogo FootMath exibe um campo de futebol 3D com um menu à esquerda e cinco botões das funções: $y = ax + b$ (afim); $y = ax^2 + bx + c$ (quadrática); $y = a^x$ (exponencial); $y = a \sin(bx + c)$ (seno) e $y = a\cos(bx + c)$ (cosseno) (Figura 3). Cada marcador apresenta o gráfico associado à respetiva função; depois de selecionar uma função usando um marcador, esta aparece no campo de futebol. O menu de interface é composto por dois joysticks para manipular os parâmetros da função (a, b, c); o joystick no canto inferior direito permite manipular os parâmetros a e b, o joystick no canto inferior esquerdo permite manipular o parâmetro c; cada botão de equação mostra os parâmetros que o utilizador pode manipular; quando o utilizador altera os valores (parâmetros das funções) com o joystick estes são exibidos no canto superior direito do menu.

Objetivos e Questão de Investigação

Considerando a falta de ferramentas educativas digitais, adequadas e alinhadas com o currículo de matemática do ensino básico e secundário (“European Commission,” 2018), com potencial para promover o envolvimento e a realização da aprendizagem dos alunos, este estudo teve como principal objetivo explorar o impacto e os desafios do uso de artefactos com RA por parte dos professores, desenhados para ensinar e aprender matemática. Utilizaram-se as duas apps, Sólidos Platónicos e FootMath. Estas *apps* visam i) proporcionar aos alunos oportunidades para pensar, explorar e refletir sobre conceitos matemáticos e promover a aprendizagem significativa e ii) fornecer aos docentes recursos facilitadores dos processos de ensino-aprendizagem. A questão de investigação deste trabalho foi a seguinte: Que opinião têm os professores sobre esta nova oportunidade de aprendizagem baseada em RA?

Assim, procurou-se: i) descobrir novos impactos e desafios decorrentes do fenómeno associado à utilização de RA no ensino e aprendizagem de aplicações sobre matemática; e ii) compreender

a perceção e a opinião dos professores sobre esta nova oportunidade de aprendizagem baseada na combinação da virtualidade e a realidade, com interação tangível.

Estudo Exploratório

Participaram neste estudo dois grupos de 11 professores (em cada) de áreas disciplinares diferentes: um grupo de professores de matemática, e outro grupo de professores de informática. Estes grupos foram selecionados dada a sua ligação à matemática na prática pedagógica no ensino básico e secundário. Estes dois grupos formaram-se em consequência da realização de dois *workshops* que ocorreram em períodos diferentes.

Metodologia

A metodologia de investigação seguiu uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva.
Durante a experimentação e exploração do jogo FootMath, através da observação direta, do diálogo com os participantes e pelo *feedback* transmitido, procedeu-se ao registo dos dados/informações relevantes, resultantes da experiência vivenciada pelos professores.
Na parte final de cada um dos *workshops* procedeu-se à entrevista de grupo utilizando questões abertas, procurando explorar e descobrir o impacto resultante do uso das duas *apps*.
A análise e comparação dos resultados foi conseguida através da observação direta e entrevistas de grupo.

Workshops

O primeiro *workshop* com o tema "Realidade Aumentada no Ensino da Matemática" teve como destinatários preferenciais os professores de matemática. O segundo *workshop*, com o tema mais genérico, "Realidade Aumentada na Educação", foi por inerência das inscrições, procurado maioritariamente por professores de informática. Os workshops foram divulgados através dos sites da Internet, *encont[RA]r 2019*[13] e *TIC@Portugal'19*[14] e pelos emails institucionais dos professores.

Contexto e Participantes

O estudo ocorreu em dois momentos principais: Workshop 1, janeiro de 2019 no evento *encont[RA]r 2019 – II Encontro Internacional de Tecnologia de Realidade Aumentada na Educação*. Workshop 2, julho de 2019 no *XIII Encontro de Professores sobre Utilização Educativa das TIC – TIC@Portugal'19*. No *workshop* 1 "Realidade Aumentada no ensino da Matemática" o número de inscritos foram 15 professores, compareceram 12 professores e responderam ao inquérito 11 participantes (n=11). No *workshop 2* "Realidade Aumentada na Educação" o número

[13] https://sites.google.com/view/encontrar2019/workshops/ws02

[14] http://wordpress.educom.pt/TIC-Portugal-19/programa/programa-braga/

de inscritos foram 17, compareceram 17 professores e responderam ao inquérito 11 participantes (n=11).

Procedimentos

Para cada *workshop* foi planeado um conjunto de atividades destinado aos participantes, resultando num guião de tarefas. No início das sessões de trabalho com os professores, foram brevemente introduzidos e discutidos os conceitos de RV e RA. Procurou-se saber se estavam familiarizados com a temática RA. De seguida, foram apresentados vídeos de aplicações de RA e RV, como, por exemplo: Sólidos Platónicos (Cerqueira et al., 2018); *Geometry – Augmented Reality*[15]; VRMath[16]; Projeto *Pupil Augmented Learning*[17] da Carnegie Mellon University e FootMath (Cerqueira et al., 2019). No *workshop 1*, os professores de matemática, seguindo o plano do guião tiveram a oportunidade de experimentar três *apps* de RA, pela seguinte ordem: Sólidos Platónicos; *Geometry – Augmented Reality* (GAR) e FootMath. Para o efeito foram disponibilizados pelos investigadores três *tablets* e os marcadores das *apps*. No caso *GAR* alguns dos participantes instalaram e experimentaram a *app* nos seus *smartphones*. No *workshop 2*, os professores de informática, seguindo o plano do guião, tiveram também oportunidade de visualizar e experimentar as mesmas *apps* de RA.

Análise e apresentação dos resultados

Relativamente à observação direta dos professores durante experimentação das *apps*, foi possível registar uma participação muito ativa e um elevado envolvimento nas atividades propostas. Os participantes demonstraram um maior interesse pela experimentação nos *tablets* em comparação com os *smartphones*. Numa primeira fase, exploraram o modo de funcionamento das *apps* como, posicionamento do *tablet/smartphone* em relação aos marcadores e o processo de utilização dos *joysticks* (no FootMath). Foi possível observar que os professores rapidamente assimilaram a forma de utilizar os marcadores e as funcionalidades botões virtuais (nos Sólidos Platónicos) e puderam usá-las adequadamente. Observou-se também que tiveram melhor experiência com a RA à medida que iam utilizando as *apps*, apesar de, no caso do FootMath, a fluidez não ter sido completamente conseguida. Globalmente as *apps* proporcionaram muita curiosidade, interesse, interação e atenção.

No que concerne às entrevistas de grupo, os professores de matemática e informática foram unânimes em considerar que ambas as *apps* podem ser utilizadas em sala de aula como complemento aos processos de ensino-aprendizagem de matérias relacionadas com os cinco poliedros regulares convexos e com as funções matemáticas. Adicionalmente, consideraram as *apps* como ferramentas lúdicas, que podem contribuir para a criação de cenários ricos de

[15] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.magicsw.geometryar&hl=pt_PT

[16] https://vrmath.co/

[17] https://www.etc.cmu.edu/projects/pupil/

aprendizagem e consolidação de matérias que envolvam geometria e funções. Todos concordaram com a pertinência das *apps* de RA e identificaram impactos positivos que podem potenciar a aprendizagem dos alunos, a envolvência e a motivação. Intrinsecamente relacionada com a motivação, destacaram benefícios como a atenção e a satisfação que podem ser proporcionados pela experiência destes recursos educativos. No caso particular do FootMath, e sobre aprendizagem baseada no modelo de "resolução dos problemas", os professores foram solicitados a comentar se seria possível aplicar instruções pedagógicas na experiência do jogo. Foram apresentados vários exemplos, essencialmente comentados pelos professores de matemática, e como tal poderia ser implementado (resolução de problemas): na função $y = ax + b$, marcação de golos sob determinadas condições, por exemplo, com declive positivo ou negativo (valor de a); na função $y = ax^2 + bx + c$, marcação de golos sob determinadas condições, por exemplo, concavidade da parábola voltada para cima ou voltada para baixo; outras situações, como exemplo a marcação de golos, quando o gráfico da função está posicionado nos seus zeros. Desta forma, foram identificados vários cenários que podem proporcionar a resolução de problemas através da experiência do jogo com interação e mediação baseada em RA, motes importantes que sustentam trabalhos futuros nestas soluções.

Conclusões

Neste artigo foram apresentados dois recursos didáticos que usam Realidade Aumentada e que se destinaram à experimentação, por parte dos professores, para explorar novos impactos e desafios decorrentes do fenómeno associado à sua utilização no ensino e aprendizagem sobre conceitos de matemática. O estudo exploratório confirmou impactos positivos no que concerne à utilização em sala de aula das *apps* com interface de RA. Os professores, confrontados com esta nova oportunidade de aprendizagem, baseada na combinação da virtualidade e a realidade, com interação tangível, concordaram que apresenta diversos benefícios, como a envolvência, motivação e a satisfação, e pode potenciar a aprendizagem de geometria e funções de matemática. Além disso, consideraram que podem contribuir para a criação de cenários ricos de aprendizagem, como na "resolução de problemas" e consolidação de matérias que envolvam geometria e funções.

Concluiu-se que este tipo de aplicações tem potencial para proporcionar uma experiência tangível com diversos benefícios e podem ser utilizadas como complementos às abordagens mais comuns, especialmente, para motivar e envolver, uma vez que oferece um ambiente divertido que permite a visualização e exploração das funções básicas da matemática e da exploração de conceitos relacionados com a geometria.

Referências

ABI Research. (2019). Retrieved January 28, 2020, from Augmented and Virtual Reality Tools Empower Education and Drive AR/VR Market Value to US$700 Million by 2023 website: https://www.abiresearch.com/press/augmented-and-virtual-reality-tools-empower-

education-and-drive-arvr-market-value-us700-million-2023/

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *6*(4), 355–385.

Bakri, F., Marsal, O., & Muliyati, D. (2019). Textbooks Equipped with Augmented Reality Technology for Physics Topic in High-School. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, *5*(2), 113–122.

Behzadan, A. H., Menassa, C. C., & Kamat, V. R. (2018). Georeferenced Augmented Reality for Discovery-Based Learning in Civil Engineering. In *Transforming Engineering Education* (pp. 199–228). American Society of Civil Engineers.

Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, *51*(3), 284–310.

Castells, M. (2006). A Sociedade em Rede: do Conhecimento à Ação Política. *Ciência Da Informação*, 17–30.

Cerqueira, J. (2020). *O jogo Footmath - Funções básicas da matemática com realidade aumentada. Tese de Mestrado.* Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA).

Cerqueira, J., Cleto, B., Moura, J. M., & Sylla, C. (2018). Visualizing platonic solids with augmented reality. *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children - IDC '18*, 489–492. https://doi.org/10.1145/3202185.3210761

Cerqueira, J., Sylla, C., Moura, J. M., & Ferreira, L. (2019). Learning Basic Mathematical Functions with Augmented Reality. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, *265*, 508–513. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06134-0_53

Conceição, D. B. da, Mendes, A. A., & Borges, L. H. de F. (2015). Análise dos Fatores que Desmotivam/Desinteressam os Alunos com Relação à Matemática. *I Seminário Científico Da FACIG*.

European Commission. (2018). Retrieved January 28, 2020, from European Digital Education Action Plan website: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0014&from=EN

Eze, S., Olatunji, S., Chinedu-Eze, V., & Bello, A. (2018). Key success factors influencing SME managers' information behaviour on emerging ICT (EICT) adoption decision-making in UK SMEs. *The Bottom Line*, *31*. https://doi.org/10.1108/BL-02-2018-0008

Goh, E. S., Sunar, M. S., & Ismail, A. (2019). 3D Object Manipulation Techniques in Handheld Mobile Augmented Reality Interface: A Review. *IEEE Access*, *PP*, 1. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906394

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems*, *E77-D*, 1321–1329.

Mohan, D. (2018). Flipped Classroom, Flipped Teaching and Flipped Learning in the Foreign/Second Language Post–Secondary Classroom. *Nouvelle Revue Synergies Canada*. https://doi.org/10.21083/nrsc.v0i11.4016

Moreira, J., Barros, D., & Monteiro, A. (2015). *Inovação e Formação na Sociedade Digital.*

Ambientes Virtuais, Tecnologias e Serious Games. WhiteBooks.

Pellens, M., Hounsell, M., & Silva, A. (2017). Augmented Reality and Serious Games: A Systematic Literature Mapping. *2017 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 227–235.

Prensky, M. (2001). Digital Game-Based Learning. *McGraw-Hill, New York*, *1*. https://doi.org/10.1145/950566.950567

Velev, D., & Zlateva, P. (2017). Virtual reality challenges in education and training. *International Journal of Learning and Teaching*, *3*(1), 33–37.

Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, *38*(9), 25–32. https://doi.org/10.1109/MC.2005.297

View publication stats