

Uso do rastreamento ocular na formação de professores: uma revisão em geometria

Marcelo Almeida Bairral¹

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

Rhomulo Oliveira Menezes²

Secretaria de Educação do Estado do Pará – SEDUC/PA

Marcos Paulo Henrique³

Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro – Seeduc/RJ

RESUMO

Este estudo captura trabalhos que usam o Rastreamento Ocular (RO) como uma das formas de produção de dados sobre a aprendizagem em geometria. A revisão ocorreu a partir do estudo de Strohmaier *et al.* (2020). Foram revisitados 22 artigos com foco na geometria, nenhum brasileiro. A síntese dos estudos analisados indica que os objetos de análise das investigações envolvem elementos visuais e habilidades espaciais; criatividade matemática; carga cognitiva de tarefas; duração e atenção de fixação em leitura de enunciados, figuras ou gráficos; desempenho e influência de erros e confiança na solução de problemas; e o direcionamento do olhar do professor, ao interagir com seus alunos no esclarecimento de suas dúvidas. Os conteúdos abordados envolvem resolução colaborativa de problemas geométricos, ensino de coordenadas cartesianas, problemas em cálculo vetorial, leitura de figuras em provas de geometria, visualização espacial em problemas matemáticos, avaliação da imaginação espacial em alunos do ensino fundamental. Há um predomínio de pesquisas com alunos, e o desdobramento da análise aqui ilustrada objetiva trazer possíveis contributos do RO para a formação docente – particularmente, sobre tarefas propostas em cenários com RO.

Palavras-chave: Rastreador Ocular; Formação docente; Geometria.

¹Doutor em Educação Matemática pela Universidade de Barcelona. Professor Titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil. Endereço para correspondência: Instituto de Educação, Departamento de Teoria e Planejamento de Ensino, Rodovia BR 465 km 7, Sala 30, Campus Universitário, Rio de Janeiro, Seropédica, Brasil, CEP: 23890-000. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5432-9261> E-mail: mbairral@ufrj.br.

²Doutor em Educação Matemática pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Professor de Matemática vinculado à Secretaria de Educação do Estado do Pará (SEDUC-PA), Capanema, Pará, Brasil. Endereço para correspondência: Tv. Três Irmãos, 42, São Pio X, Capanema, Pará, Brasil, CEP: 68702-100. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9042-8323>. E-mail: rhomulo.menezes4542@escola.seduc.pa.gov.br.

³Doutor em Educação pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Diretor Geral do Centro Integrado de Educação Pública Toninho Marques (Seeduc - RJ), Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Deputado Jiulio Caruso, sem número, Belmonte, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. CEP: 27273-040. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7115-3336>. E-mail: mphenrique@prof.educacao.rj.gov.br.

Use of eye tracking in teacher training: a review in geometry

ABSTRACT

This study captures and analyzes research that uses Eye Tracking (ET) as one of the ways to produce data on geometry learning. The review was based on Strohmaier et al. (2020). 22 articles focusing on geometry, none of them Brazilian, were examined. In sum, the study indicates that the objects of analysis of the research involve visual elements and spatial skills; mathematical creativity; cognitive load of the tasks; duration and attention span when reading statements, figures, or graphs; performance and influence of errors and confidence in problem solving; and the direction of the teacher's gaze when interacting with students to clarify their doubts. The contents covered involve collaborative resolution of geometric problems, teaching Cartesian coordinates, problems in vector calculation, reading figures in geometry tests, spatial visualization in mathematical problems, assessment of spatial imagination in elementary school students. There is a predominance of research with students and the analysis illustrated in this article aims to bring possible contributions of ET to teacher training – particularly concerning proposed tasks in a scenario with ET.

Keywords: Eye tracker; Teacher professional development; Geometry.

Uso del rastreador ocular en la formación docente: una revisión en geometría

RESUMEN

Este estudio captura y analiza investigaciones que utilizan el rastreador ocular (RO) como una de las formas de producir datos sobre el aprendizaje de geometría. La revisión se realizó con base en el estudio de Strohmaier et al. (2020). Se revisaron 22 artículos centrados en la geometría, ninguno de ellos era brasileño. La síntesis de los estudios analizados indica que los objetos de análisis de las investigaciones involucran elementos visuales y habilidades espaciales; creatividad matemática; carga de tareas cognitivas; duración y capacidad de atención al leer declaraciones, figuras o gráficos; desempeño e influencia de errores y confianza en la resolución de problemas; y la dirección de la mirada del docente al interactuar con los estudiantes para aclarar sus dudas. Los contenidos tratados involucran resolución colaborativa de problemas geométricos, enseñanza de coordenadas cartesianas, problemas de cálculo vectorial, lectura de figuras en pruebas de geometría, visualización espacial en problemas matemáticos, evaluación de la imaginación espacial en estudiantes de primaria. Hay predominio de investigaciones con estudiantes y el análisis aquí ilustrado tiene como objetivo traer posibles contribuciones del RO para la formación docente – particularmente sobre las tareas propuestas en un escenario con RO.

Palabras clave: Rastreador ocular; Desarrollo profesional docente; Geometría.

INTRODUÇÃO

Não é novidade que o ensino de geometria na educação básica e na formação inicial do professor ainda precisa de maior atenção. O pouco contato do professor na sua formação com essa área da matemática impacta na forma como a geometria será abordada em sala de aula. Por exemplo, influencia na tomada de decisões do educador no momento de escolher conteúdos que merecem maior ou menor atenção, pois muitos professores, por também não terem tido maior contato com a geometria, desconhecem a importância da construção do pensamento geométrico para o próprio conhecimento matemático das pessoas (SANTOS; NACARATO, 2014).

Anteriormente, o não ensino da Geometria era justificado pela organização do livro didático, que a trazia nos capítulos finais, priorizando conteúdos de Aritmética e Álgebra. Atualmente, mesmo com mudanças nessa estrutura, o ensino de Geometria continua sendo pouco privilegiado pelo professor de Matemática, e isso evidencia o

desconforto desse educador para abordá-la em aula. Por outro lado, quando o ensino de Geometria acontece, geralmente de maneira tradicional, o professor apresenta teoremas e propriedades mediante o uso de formas geométricas desenhadas na lousa ou retiradas do próprio livro, e os alunos são estimulados apenas a decorar características de figuras planas e espaciais. Em consonância, Rêgo, Rêgo e Vieira (2012, p. 6) destacam que

há fortes indicações de que insistir no ensino de Geometria por meio da aula expositiva, utilizando a linguagem formal, sem envolver o aluno em atividades práticas, não permite que a maioria destes desenvolva conhecimentos que respondam às demandas de saberes matemáticos atuais – sejam formativas ou funcionais.

Nesse cenário, também é possível apontar que a integração das tecnologias digitais na Licenciatura em Matemática ou na produção de dados da pesquisa focada no conhecimento matemático – particularmente, no conhecimento geométrico – para o ensino ainda é escassa na pesquisa brasileira (BAIRRAL; MENEZES, 2023).

Este artigo é oriundo de um projeto⁴ que busca a integração de tecnologias digitais móveis nos processos de ensino e de aprendizagem, na matemática escolar e na formação de professores. O foco aqui é apresentar uma revisão inicial de estudos que usam o rastreamento ocular (RO) como uma das formas de produção de dados na pesquisa com a formação de professores, voltadas à educação geométrica. Particularmente, o estudo visa responder ao seguinte questionamento: Quais têm sido os objetos de estudo das pesquisas com RO na educação geométrica? Que conteúdos têm sido abordados? A análise ressalta a importância da Geometria na formação inicial e continuada de professores, a integração de tecnologias digitais nas atividades formativas e a inserção do RO como mais uma forma para analisar o aprendizado matemático dos sujeitos.

O RASTREAMENTO OCULAR

A tecnologia de RO é um método de pesquisa em sintonia com a perspectiva da cognição corporificada, ao assumir a simbiose mente-corpo-ambiente. Existem duas formas, complementares, de direcionar a nossa atenção no ambiente conscientemente, por meio de estímulos visuais ou sonoros: atenção básica e atenção focalizada (Damásio, 2000). A atenção básica está relacionada à capacidade humana de manter-se consciente sem focar em um ponto específico. Por exemplo, o som de um pássaro – ou a música do vizinho ao lado – emitido há horas que você, mesmo sabendo da existência, somente

⁴ Financiado pelo CNPq.

percebeu agora. Diferentemente, a atenção focalizada ocorre quando a direcionamos para um estímulo ou tarefa específica, o que permite selecionar o que é mais relevante. Um bom exemplo é a concentração exigida na leitura deste texto.

O RO é um dispositivo que possibilita rastrear e quantificar os movimentos dos olhos a partir de um estímulo, como uma imagem ou um texto. Com o aparato, pode-se identificar a atenção por meio da fixação do olhar em uma área e mapear a sequência de exploração visual. Assim ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Rastreador do olhar na tela

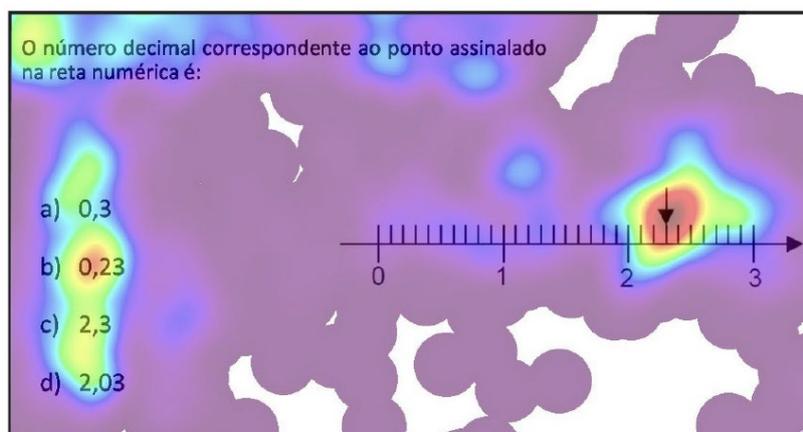


Fonte: Google imagens

Essa técnica não é recente, mas com o avanço da informática houve um aumento significativo – sobretudo a partir de 2014 — do seu uso também na pesquisa em educação matemática (STROHMAIER *et al.*, 2020). O RO é utilizado para entender os processos não conscientes dos indivíduos durante o aprendizado baseado em vídeo. É um programa especializado de análise de dados para examinar as posições e os movimentos dos olhos de um sujeito (DENG; GAO, 2022). E, por essa razão, veio a ser um método para obter informações sobre a cognição do aluno ou a do professor em ação. É uma forma não verbal de coletar dados, e o seu uso pode enriquecer a pesquisa educacional (HANNULA; TOIVANEN; GARCIA MORENO-ESTEVA, 2019).

Na Figura 2, os pontos vermelhos são as fixações, ou seja, o olhar mais temporalmente focado em determinadas partes (item *b* e reta) da questão. O tamanho do ponto indica que o indivíduo focou seu olhar mais tempo naquele elemento, conforme se pode observar no ponto vermelho na reta numérica. Enquanto os pontos vermelhos indicam fixações do olhar, as cores lilás e verde indicam olhares difusos.

Figura 2 – Rastreador com fixações



Fonte: Soares (2021, p. 3)

Com a tecnologia de rastreamento de visualização também podemos usar reações fisiológicas como indicadores para converter o processo mental das pessoas em dados estatísticos que podem ser analisados de forma quantitativa (TSAI *et al.*, 2012). Na pesquisa estrangeira esse método começou a ser usado na Psicologia para analisar motivação, afetos e emoções, por exemplo. Atualmente é utilizado em outras áreas do conhecimento, como Linguagem, Fotografia e *Design*. Portanto, iniciar um mapeamento de modo a contribuir com investigações brasileiras será uma das contribuições do presente estudo.

Holmqvist *et al.* (2011) definem as medidas de movimento dos olhos em sacadas, ponto de fixação, tempo de fixação e microssacadas. Há uma variedade de dispositivos de RO que são, basicamente, organizados em duas categorias: acoplados e não acoplados. Os do primeiro tipo podem ser sensores, óculos ou outros equipamentos conectados aos sujeitos. Os não acoplados captam os movimentos dos olhos por meio de câmeras ou equipamentos conectados aos dispositivos, como um computador de mesa, *laptop* ou dispositivos móveis com telas sensíveis ao toque, como *tablet* e *smartphone*.

O RO é um método adequado para pesquisas que analisam a percepção e o processamento de objetos geométricos, em função da articulação genuína entre o pensamento geométrico e a percepção visual (STROHMAIER *et al.*, 2020). É também uma técnica que permite outros olhares acerca das interações em aula e do efeito da observação do professor sobre as formas de aprender e de interagir com seus alunos

(HAATAJA *et al.*, 2019). Por exemplo, existem diferenças – motivacionais e cognitivas – quando um docente responde a uma pergunta olhando diretamente para o sujeito que a faz ou quando contesta mediante olhares difusos e não necessariamente dirigidos ao demandante (HAATAJA *et al.*, 2018).

Pesquisas com RO possibilitam formas de entendimento e compreensão de processos cognitivos na educação matemática. Para Strohmaier *et al.* (2020), na maioria dos estudos analisados na revisão, as medidas de rastreamento ocular forneceram informações que, de outra forma, não poderiam ser coletadas. Isso ocorreu por um dos três motivos: mapear as estratégias e os processos de solução de uma tarefa, tornar visíveis as representações mentais de objetos matemáticos durante a visualização e elucidar processos cognitivos que não podem ser relatados conscientemente. Ainda, de acordo com esses autores, a análise do movimento dos olhos de pessoas durante a realização de uma tarefa matemática pode exigir abordagens diferentes, ou adaptadas, se comparadas àquelas aplicadas com sucesso em outros domínios, como a leitura de textos.

O uso dessa tecnologia suscita questões que estão orientando o escopo deste trabalho, a saber: Como o RO é utilizado na formação de professores? Particularmente, que contribuições dessa técnica para o aprendizado dos futuros educadores os estudos têm indicado? Que contribuições são sinalizadas sobre o seu aprendizado em geometria? Que tarefas são propostas nesse contexto e que outras tecnologias – *softwares*, aplicativos, entre outros – são usadas para e nas suas resoluções?

METODOLOGIA

Nossa revisão parte de Strohmaier *et al.* (2020), um estudo minucioso em termos de domínios matemáticos e abrangente quanto aos veículos de publicação das investigações. Os autores inicialmente identificaram e analisaram 161 pesquisas, publicadas entre 1921 e 2018, que utilizaram a metodologia de rastreamento ocular na pesquisa em educação matemática. Posteriormente, categorizaram os domínios e os tópicos abordados e elucidaram como os movimentos dos olhos estavam relacionados ao pensamento e à aprendizagem matemática.

Revisitamos os 22 estudos⁵ que utilizaram o RO no domínio ‘geometria, figuras e forma’, cujos tópicos foram distribuídos por Strohmaier *et al.* (2020) nas seguintes

⁵ Alguns dos trabalhos que encontramos em Strohmaier *et al.* (2020) apresentavam data de publicação diferente dos originais: Lee e Wu (2018) e Lin e Lin (2014a). Para esse artigo optamos por usar as datas de publicação dos artigos originais: Lee e Wu (2017) e Lin e Lin (2013).

habilidades e procedimentos: provas geométricas, rotação mental, construção de objetos geométricos, percepção de objetos no plano cartesiano, cálculos geométricos em problemas dinâmicos e processamento de campos vetoriais e formas geométricas, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Tópicos geométricos abordados nos estudos em *eye-tracking*

Tópicos	Autor(es)	Quantidade
Prova geométrica	Alqassab, Strijbos e Ufer (2018); Lin, Wu e Sommers (2012); Muldner e Burleson (2015); Schindler <i>et al.</i> (2016)	4
Rotação (manipulação) mental de figuras	Chen e Yang (2014); Fry (1988); Merschmeyer-Brüwer (2001); Roach <i>et al.</i> (2016); Wang, Chen e Lin (2013).	5
Construção de objetos geométricos	Epelboim e Suppes (2001); Hannula e Williams (2016); Lee e Wu (2017); Schimpf e Spannagel (2011); Shvarts (2018a)	5
Plano cartesiano	Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014); Shvarts (2018b)	2
Cálculos geométricos	Lin e Lin (2013, 2014)	2
Campos vetoriais	Klein <i>et al.</i> (2018); Ögren, Nyström e Jarodzka (2017)	2
Figuras e formas	Haataja <i>et al.</i> (2018); Verdine <i>et al.</i> (2017)	2
Total		22

Fonte: Elaboração baseada em Strohmaier *et al.* (2020, p. 154-155)

No Quadro 2, identificamos os sujeitos analisados nas pesquisas. Marcamos em negrito o público que nos interessa nesta revisão.

Quadro 2 – Público-alvo das investigações⁶

Sujeitos	Estudo(s)	Quantitativo
Estudantes da Educação Básica	Haataja <i>et al.</i> (2018); Hannula e Williams (2016); Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014); Lin e Lin (2013); Lin e Lin (2014); Merschmeyer-Brüwer (2001); Schimpf e Spannage (2011); Schindler <i>et al.</i> (2016); Shvarts (2018a); Shvarts (2018b); Verdine <i>et al.</i> (2017)	11
Professores	Alqassab, Strijbos e Ufer (2018)	1
Professores em suas práticas	Haataja <i>et al.</i> (2018)	1
Universitários (licenciandos em matemática ou outras áreas)	Chen e Yang (2014); Fry (1988); Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014); Lin e Wu (2012); Muldner e Burleson (2015); Ögren, Nyström e Jarodzka (2017); Roach <i>et al.</i> (2016)	7
Graduados em física	Epelboim e Suppes (2001); Klein <i>et al.</i> (2018)	2
Matemáticos	Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014)	1
Graduados	Lee e Wu (2017)	1
Especialistas e não especialistas	Epelboim e Suppes (2001)	1
Alunos e especialistas	Wang, Chen e Lin (2013)	1

Fonte: Elaboração pelos autores

⁶ O público não é excluyente, pois há pesquisa que trabalhou na formação inicial e na continuada.

No Quadro 2 percebemos um predomínio de pesquisas com estudantes da educação básica. Oito pesquisas têm foco nos professores ou nos futuros educadores. Torna-se, portanto, necessário debruçar nos estudos que envolvem (futuros) professores de modo que possamos elucidar resultados sobre contribuições do RO ao desenvolvimento profissional docente, particularmente, o conhecimento profissional para o ensino.

A seguir apresentamos uma síntese integrativa das investigações analisadas indicando os resultados em dois blocos: os objetos de estudo das pesquisas e os conteúdos geométricos abordados e o público predominante.

OS ESTUDOS E SEUS OBJETOS DE ANÁLISE

Os objetos de análise das pesquisas com a técnica de RO envolvem elementos visuais e habilidades espaciais; criatividade matemática; duração e atenção de fixação em leitura de enunciados, figuras ou gráficos; desempenho e influência de erros e confiança na solução de problemas; e o direcionamento do olhar do professor, ao interagir com seus alunos no esclarecimento de suas dúvidas.

Elementos visuais e habilidades espaciais

A capacidade de visualização espacial está relacionada positivamente ao tempo gasto observando informações essenciais e negativamente, ao tempo dedicado em material não essencial (FRY, 1988). Chen e Yang (2014) e Verdine *et al.* (2017) analisam a relação entre habilidades espaciais e movimentos oculares. Verdine *et al.* (2017) mostram que o padrão de olhar das crianças aos 3 anos pode prever suas habilidades espaciais aos 5 anos, independentemente do vocabulário relacionado à forma. Por outro lado, Chen e Yang (2014) analisam como os movimentos oculares afetam o desempenho dos alunos em problemas de rotação mental. Os autores sinalizam que na resolução de problemas espaciais o desempenho de precisão está correlacionado com os padrões de movimento dos olhos. Ainda, o desempenho do conceito não está correlacionado com o desempenho em problemas de rotação mental, mas associado à memória espacial e a estratégias de resolução de problemas.

Roach *et al.* (2015) sugerem uma análise mais aprofundada sobre o papel dos movimentos oculares no raciocínio espacial, com limitação de tempo e mais elementos visuais. Os estudiosos sinalizam que buscarão compreender os processos cognitivos

complexos envolvidos nas aptidões para o sucesso nas rotações mentais, visando desenvolver uma abordagem guiada para resolução de problemas espaciais.

Criatividade matemática

Schindler *et al.* (2016) e Muldner e Burleson (2015) abordam a relação entre movimentos oculares e criatividade. Schindler *et al.* (2016) exploram como o rastreamento ocular pode ser essencial para compreender a criatividade matemática dos alunos, enquanto Muldner e Burleson (2015) usam dados de sensores para modelar a criatividade de alunos interagindo com um aplicativo de geometria.

Conforme Schindler *et al.* (2016), a análise dos movimentos oculares é essencial para compreender como ideias novas e criativas evoluem, sendo inferidas pelos alunos em relação à criatividade. Desse modo, é possível avaliar a elaboração das abordagens dos estudantes e compreender o mapeamento das sequências do olhar sobre criatividade matemática.

Duração e fixação em leitura de enunciados, figuras ou gráficos

Lin, Wu e Sommer (2012) e Lee e Wu (2017) analisam os movimentos oculares, a leitura e a integração de figuras. Lin, Wu e Sommer (2012) investigam a duração de fixação em leitura de figuras, que foi 50% maior que em outros textos. Lee e Wu (2017) observaram que a ordem das palavras influencia a integração do texto geométrico e da figura.

O estudo de Ögren, Nyström e Jarodzka (2016) mostrou que o uso de gráficos pode determinar onde os alunos olham e o que eles processam. As análises do movimento ocular mostraram que a atenção visual dos estudantes foi atraída pelos gráficos, em detrimento de olhares para outras partes do problema. Os discentes processaram ativamente os gráficos, mas olhar frequentemente entre o gráfico e o enunciado pode ser uma boa estratégia para integrar as informações. Os estudiosos sublinham que professores e autores de livros didáticos devem ser críticos ao usar gráficos e devem considerar cuidadosamente sua integração com outras partes do problema.

Ainda sobre gráficos, Klein *et al.* (2018) testaram duas estratégias com graduandos em física: uma baseada na interpretação gráfica de derivadas parciais e outra apoiada no conceito de fluxo. E descobriram que os participantes tiveram melhor desempenho quando ambas as estratégias foram introduzidas e eles tiveram a liberdade

de escolher entre elas. O estudo também revelou diferenças nos movimentos oculares entre os sujeitos com melhor e pior desempenho, indicando distinções conceituais entre as estratégias. Isso destaca a importância de introduzir múltiplas representações para promover a compreensão do aluno e fornece novas percepções sobre o seu processamento visual em relação a representações de campos vetoriais.

Desempenho e influência de erros e confiança na solução de problemas

A análise de Lin e Lin (2013, 2014) evidenciou que problemas mais difíceis recebem mais atenção e tempo de fixação do olhar. Os solucionadores de problemas bem-sucedidos reconhecem padrões rapidamente (LIN; LIN, 2013) e se concentram mais na área de cálculo (LIN; LIN, 2014), enquanto os malsucedidos têm maior tempo de permanência na área do problema. Para os autores, essas medidas de movimento ocular são úteis para diferenciar os dois grupos e estão correlacionadas com a dificuldade percebida. Para eles, a técnica do RO também fornece medidas objetivas da carga cognitiva dos alunos, o que pode ser útil para *designers* instrucionais de ambientes formativos.

Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014) e Alqassab, Strijbos e Ufer,(2018) exploram a influência de erros na solução de problemas e a confiança em abordagens baseadas em figuras. Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014) mostram que a ausência de erros facilita a confiança em uma abordagem baseada em figuras, enquanto Alqassab, Strijbos e Ufer. (2018) sugerem que erros na solução do colega podem dificultar a compreensão da prova e a capacidade de dar um retorno preciso. Os professores em formação podem enfrentar desafios ao aprender com os erros dos colegas. A qualidade da solução do outro pode influenciar, se os educadores em formação adotarem uma abordagem baseada na figura ou no texto. Além disso, erros na solução do colega podem afetar a construção de modelos mentais durante a informação retribuída, destacando a importância da qualidade da solução na eficácia do retorno fornecido.

O direcionamento do olhar do professor ao interagir com seus alunos

A análise de Hannula e Williams (2016) indicou que o foco de atenção e a linguagem corporal mostraram intervalos consistentes com os achados do rastreamento ocular, apesar de fornecer informações sobre o pensamento dos alunos. Haataja *et al.* (2018) focam no olhar do professor durante a interação com os alunos. Os pesquisadores

destacam a importância do foco de atenção do docente durante situações de orientações e esclarecimentos. Em outras palavras, quando o docente responde olhando diretamente ao demandante, há o impacto positivo na interação e nos resultados.

A seguir descrevemos os conteúdos geométricos envolvidos nas tarefas dos estudos mapeados, bem como seu público-alvo.

OBJETOS, CONTEÚDOS GEOMÉTRICOS E PÚBLICO

Como vimos, os objetos de análise das pesquisas com a técnica de RO são diversificados e instigantes. Apesar dessa riqueza temática, observamos numericamente (Quadro 1) um predomínio de estudos a respeito da identificação de figuras e de provas geométricas: estão em 9 de 22 artigos, e os demais aspectos abordados somam, juntos, 13 tópicos. De modo geral, são situações de identificação na tela e de leitura de enunciado de provas. É compreensível esse momento de identificação e de leitura, pois o estágio da pesquisa em RO demanda atenção ao movimento ocular do sujeito na tela. Atividades que envolvem outros processos matemáticos (exploração, argumentação, manuseio e transformação de figuras etc.) podem fazer com que o olhar fique difuso e seja difícil analisá-lo em detalhes. Com o desenvolvimento da tecnologia, dos aparatos necessários e da dinâmica de produção de dados, é possível que estudos posteriores implementem tarefas com maior carga cognitiva.

A análise dos estudos acerca das tarefas revela diversidade em abordagens, conteúdos (tópicos) e sujeitos, proporcionando uma visão rica do cenário de ensino e de aprendizagem em geometria com RO, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Tarefas analisadas

Tópicos	Autores	Sujeitos	Tópicos específicos	Tecnologia integrada no design da tarefa⁷
Prova Geométrica - (PG)	PG1: Alqassab, Strijbos e Ufer, (2018)	Professores em formação de matemática	Propriedades de triângulos, paralelogramos, transversais e quadriláteros	N

⁷ S (sim) e N (não).

	PG2: Lin, Wu e Sommers (2012)	Estudantes universitários não especialistas	Leitura de prova geométrica (situação de verdadeiro ou falso), congruência de figuras (exemplo com quadrado e círculo)	N
	PG3: Muldner e Burleson (2015)	Estudantes	Triângulo com losango inscrito	S
	PG4: Schindler <i>et al.</i> (2016)	Estudantes do ensino médio	Medida de ângulos em hexágono equilátero	N
Rotação (manipulação) Mental de figuras - (RM)	RM1: Chen e Yang (2014)	Estudantes universitários	Não especificado	N
	RM2: Fry (1988)	Estudantes universitários	Associação indireta com habilidades espaciais	N
	RM3: Merschmeyer- Brüwer (2001)	Alunos do ensino fundamental	Cubos bidimensionais, relações espaciais.	N
	RM4: Roach <i>et al.</i> (2016)	Estudantes universitários e membros da comunidade local	Rotação de blocos	N
	RM5: Wang, Chen e Lin (2013)	Estudantes do ensino fundamental	Figuras expandidas sólidas e planas	N
Construção de objetos geométricos	COB1: Epelboim e Suppes (2001)	Especialistas e não especialistas	Ângulos em figuras geométricas	N

cos – (COB)	COB2: Hannula e Williams (2016)	Alunos do ensino médio	Construção de triângulos, cálculo de área, resolução de problemas não rotineiros	N
	COB3: Lee e Wu (2017)	Estudantes universitários com especialização em psicologia educacional, ciências sociais, educação e artes	Descrições geométricas	N
	COB4: Schimpf e Spannagel (2011)	Estudantes do ensino médio	Construção de polígonos e medição de ângulos	S
	COB5: Shvarts (2018a)	Aluno e tutor	Manipulação de triângulo em um ambiente interativo de computador	S
Plano Cartesiano – (PC)	PC1: Krichevets, Shvarts e Chumachenko (2014)	Estudantes do ensino médio, universitários e matemáticos especialistas	Pontos em plano cartesiano	N
	PC2: Shvarts (2018b)	Crianças da primeira série	Plano cartesiano, enfocando localização e distância	N
Cálculos Geométricos – (CG)	CG1: Lin e Lin (2014)	Estudantes de uma escola secundária	Triângulos semelhantes e suas propriedades	N
	CG2: Lin e Lin (2013)	Estudantes de uma escola secundária	Teorema de ângulos externos de triângulos	N
Campos Vetoriais – (CV)	CV1: Klein <i>et al.</i> (2018)	Estudantes de física	Não especificado	N

	CV2: Ögren, Nyström e Jarodzka (2017)	Não especificado	Conceitos de cálculo vetorial	N
Figuras e Formas – (FF)	FF1: Haataja <i>et al.</i> (2018)	Professores	Não especificado	N
	FF2: Verdine <i>et al.</i> (2017)	nove crianças em idade pré- escolar	Formas geométricas	N

Fonte: Elaboração pelos autores

Quando consideramos que tipo de tarefa está sendo proposta, percebemos que os estudos mencionados abordam diversas atividades específicas no campo da geometria, utilizando o rastreamento ocular como ferramenta central para analisar o desempenho dos participantes. Entre essas tarefas, destacam-se as Provas Geométricas (PG), que focam na avaliação do *feedback* e da qualidade das soluções dos participantes, medindo o tempo de fixação em áreas específicas. Na Rotação Mental (RM), a ferramenta é aplicada para investigar a relação entre habilidades espaciais, resolução de problemas em ciências e o processamento de informações verbais e gráficas em relatórios científicos complexos. A Construção de Objetos Geométricos (COG) explora a resolução colaborativa de problemas com a análise do engajamento dos alunos e da atenção visual, utilizando o rastreamento ocular. No Plano Cartesiano (PC), o foco está na percepção de representações visuais matemáticas, enquanto os Cálculos Geométricos (CG) investigam estratégias cognitivas em problemas específicos de triângulos semelhantes. Campos Vetoriais (CV) e Figuras e Formas (FF) exploram, respectivamente, a visualização da divergência de campos vetoriais e padrões de atenção visual em tarefas colaborativas de resolução de problemas, utilizando o rastreamento ocular como ferramenta essencial em todas essas análises.

Considerando que o rastreamento ocular demanda uma integração de tecnologias diversas, as tarefas propostas nos estudos estão integrando tecnologias de maneiras variadas. A abordagem de PG exemplifica isso, com o uso de RO para medir o tempo de fixação em áreas específicas durante a resolução de problemas, destacando a importância

do *feedback* na compreensão de problemas específicos. Além disso, a integração de tecnologia no ensino de geometria é explorada em Muldner e Burleson (2015), com a análise de um aplicativo de geometria com rastreamento ocular, evidenciando como a tecnologia pode facilitar a resolução da tarefa e coletar dados essenciais para a avaliação da criatividade dos participantes.

No contexto da Rotação Mental estudos como RM1 (CHEN; YANG, 2014), utilizam o rastreamento ocular para investigar a relação entre a resolução de problemas espaciais e a aprendizagem em ciências, demonstrando como a tecnologia pode ser aplicada para entender os processos cognitivos envolvidos.

Da mesma forma, em Cálculos Geométricos o uso do RO em estudos como CG1 (LIN; LIN, 2014) e CG2 (LIN; LIN, 2013) oferecem *insights* sobre como diferentes medidas de movimento ocular são apropriadas para examinar a resolução de problemas, correlacionando-as com o desempenho dos participantes e a dificuldade percebida.

Campos Vetoriais também são explorados com o auxílio do rastreamento ocular em CV1 (Klein *et al.* 2018) e CV2 (ÖGREN; NYSTRÖM; JARODZKA, 2017), destacando como as medidas de rastreamento ocular podem discriminar respostas corretas e incorretas, bem como os melhores e piores desempenhos dos estudantes.

Na Construção de Objetos Geométricos, a utilização do rastreamento ocular em COB1 (EPELBOIM; SUPPES, 2001) mostra como essa tecnologia pode ser empregada na resolução de problemas de geometria, revelando diferenças entre especialistas e não especialistas. Além disso, em COB2 (HANNULA; WILLIAMS, 2016), o uso do *software* GeoGebra em um *tablet* é evidência de como a tecnologia pode desempenhar um papel crucial no engajamento dos alunos e na resolução colaborativa de problemas geométricos.

Os estudos relacionados ao Plano Cartesiano empregam o rastreamento ocular para analisar movimentos oculares, como em PC1 (KRICHEVETS; SHVARTS; CHUMACHENKO, 2014) e PC2 (SHVARTS, 2018b), examinando, respectivamente, a percepção de representações visuais matemáticas e o ensino de coordenadas cartesianas para crianças da primeira série.

Por fim, em Figuras e Formas, os estudos como FF1 (HAATAJA *et al.*, 2018) e FF2 (VERDINE *et al.*, 2017) utilizam o rastreamento ocular para analisar o comportamento visual dos participantes, destacando como essa tecnologia pode ser valiosa para compreender padrões específicos de atenção visual associados à facilitação

da interação entre alunos e ao apoio ao pensamento matemático durante a resolução colaborativa de problemas.

Quanto à docência no desenvolvimento das tarefas, emergiram questões – por exemplo: de que modo o aprendizado docente está sendo analisado e que particularidades interativas podem ser apreendidas dos estudos em RO com professores. Nesse sentido, cada área de estudo oferece uma perspectiva única sobre como os professores em formação processam informações visuais e textuais, enfrentam desafios específicos e desenvolvem estratégias para resolver problemas geométricos.

Os estudos em PG destacam a importância do *feedback* na compreensão de problemas específicos, focando na análise do tempo de fixação em áreas específicas durante a resolução de problemas. O retorno dos colegas e a influência da qualidade da solução do colega são considerados, mostrando como os professores em formação processam informações visuais e textuais durante tarefas específicas.

O estudo em RM investiga a relação entre resolução de problemas espaciais e aprendizagem em ciências, utilizando rastreamento ocular. Ele destaca como diferentes estratégias de resolução são empregadas por alunos com diferentes habilidades espaciais e como a memória espacial e as estratégias de resolução de problemas estão associadas ao desempenho conceitual em ciências.

Os estudos em COB abordam a construção mental de objetos geométricos, mostrando como os especialistas em geometria tendem a construir objetos mentais para resolver problemas e como essa construção reflete um raciocínio de nível superior sobre o problema. A resolução colaborativa de problemas geométricos também é explorada, destacando o engajamento dos alunos e a importância da construção de objetos geométricos na resolução de problemas.

Os estudos em PC utilizam o rastreamento ocular para analisar a percepção de representações visuais matemáticas, especialmente no ensino de coordenadas cartesianas para crianças da primeira série. Os resultados indicam a importância do uso de tecnologia, como o rastreamento ocular, para compreender as interações e a percepção dos alunos.

Os estudos em CG utilizam o rastreamento ocular para investigar a resolução de problemas relacionados a triângulos semelhantes, destacando a importância das medidas de movimento ocular na diferenciação entre solucionadores bem-sucedidos e malsucedidos.

Os estudos em CV exploram a divergência de campos vetoriais e a resolução de problemas de cálculo vetorial, utilizando rastreamento ocular para analisar como os estudantes processam visualmente as informações dos campos vetoriais. Destaca-se a importância da integração do gráfico com a declaração do problema na compreensão conceitual.

Os estudos em FF abordam a resolução colaborativa de problemas matemáticos, explorando a importância da tarefa colaborativa na promoção do pensamento matemático. Além disso, a rapidez no olhar para formas geométricas em crianças pré-escolares é analisada, evidenciando a relação entre a eficiência no processamento de linguagem e o desenvolvimento cognitivo.

A integração de tecnologia nas tarefas de análise geométrica permite explorar de forma mais aprofundada a relação entre habilidades espaciais, resolução de problemas em ciências e processamento de informações verbais e gráficas. Além disso, a utilização do rastreamento ocular em conjunto com a tecnologia proporciona *insights* valiosos sobre o comportamento visual dos participantes, a atenção visual em tarefas colaborativas e a facilitação da interação entre alunos durante a resolução de problemas geométricos.

A tipologia das tarefas analisadas revela uma diversidade de abordagens, conteúdos específicos e sujeitos envolvidos, proporcionando uma visão rica do cenário de ensino e aprendizagem em geometria com o uso da tecnologia. A variedade de tarefas – como Provas Geométricas, Rotação Mental, Construção de Objetos Geométricos, Plano Cartesiano, Cálculos Geométricos, Campos Vetoriais e Figuras e Formas – demonstra a aplicabilidade do rastreamento ocular em diferentes contextos e a importância de considerar a interação entre tecnologia, cognição e ensino de matemática.

Portanto, essa abordagem não apenas contribui para o desenvolvimento profissional dos professores de matemática, mas também amplia as possibilidades de investigação e compreensão do ensino e aprendizagem da geometria com o suporte da tecnologia e do rastreamento ocular.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo, sintetizamos uma análise de pesquisas em educação matemática que utilizaram RO na aprendizagem docente em geometria. A partir desse primeiro recorte, ampliaremos o escopo de busca, de modo a compreender melhor como o RO foi utilizado nas pesquisas educacionais brasileiras e estrangeiras com o foco no desenvolvimento do conhecimento profissional do professor de matemática. Buscaremos também refletir

sobre contribuições e restrições – didáticas, cognitivas, éticas, etc. – que o uso do RO traz ao enriquecimento analítico de processos de aprendizagem discente e de desenvolvimento profissional docente.

A identificação dos tópicos geométricos nas tarefas analisadas (Quadro 3) é importante em, pelo menos, quatro aspectos: o currículo escolar; a atenção do professor à compreensão do aluno, percebida pela mediação; o retorno dado pelo docente a partir da mediação; e a contribuição à formação de professores. Particularmente, no âmbito curricular, os tópicos elencados neste estudo apontam para temas geométricos ensinados em outros países. Apesar disso, é possível que tais conteúdos possuam uma relação com os objetos de análise identificados na revisão de Strohmaier *et al.* (2020). Acerca das demais possibilidades, mediante a análise dos dados obtidos por intermédio do RO, é possível ao docente (re)visitar detalhes não observados no momento de aula, o que pode gerar um corpo de conhecimentos do ponto de vista tanto de pesquisa quanto de metodologia de ensino.

No Brasil, a revisão de Salema, Rodriguez e Sato (2019) indicou uma carência de pesquisas que usam vídeos e analisam a afetividade em processos de ensino e de aprendizagem, pois nos estudos que exploraram ainda predominava o foco na leitura de textos e na atenção. Embora não tenha sido uma revisão em educação matemática, essa análise nos será importante posteriormente, tendo em vista que nos orientará, por exemplo, quanto ao uso de vídeos gerados com o RO e o seu uso na formação de professores, como feito em Soares *et al.* (2021).

Em nosso grupo de pesquisa, realizamos duas revisões sobre RO: uma focada no *design* de tarefas em estudos que tratam da resolução de problemas (BAIRRAL; ALDON, submetido) e a presente, com foco do RO na formação de professores em geometria. Esta análise enriquece a apresentada em Bairral e Menezes (2023), que identificou pesquisas direcionadas para a verificação da aprendizagem e para a mediação docente e observou que os conteúdos estiveram circunscritos à identificação de formas geométricas, conceituação e definição. Ambas as revisões destacaram que o uso de RO demanda a integração de diferentes tecnologias. Em Bairral e Aldon (submetido), além do domínio de tarefas de identificação de formas, foram observadas atividades de menor demanda cognitiva. Importa, agora, refinarmos a análise do Quadro 3 sobre a tarefa proposta em cenários com o RO e a forma de integração da tecnologia no seu *design*.

Cabe destacar que nossa intenção é integrar a técnica do RO a outros instrumentos – registros escritos diversos, mapeamentos de toques em tela, telagravação⁸, etc. – na produção de dados com tecnologias digitais. Não defendemos a sua priorização, até porque os estudos analisados também o fazem articuladamente. Um desafio da pesquisa será sinalizar singularidades do aprendizado quando essa técnica compõe o cenário analítico. Nosso propósito será sempre ampliar e enriquecer o espectro analítico, inclusive com contribuição didática posterior, pois muitos instrumentos de coleta passam a gerar recursos didáticos para uso em aula ou em contextos de formação docente (BAIRRAL; HENRIQUE; ASSIS, 2022).

Portanto, outra contribuição deste trabalho, quando concluído, será ressaltar a importância de investimentos públicos para que os currículos de formação docente estejam cada vez mais atravessados por tecnologias e que as práticas formativas sempre potencializem o desenvolvimento do pensamento humano que é, por essência, criativo e multifocal.

REFERÊNCIAS

ALQASSAB, Maryam; STRIJOS, Jan-Willem; UFER, Stefan. The impact of peer solution quality on peer-feedback provision on geometry proofs: Evidence from eye-movement analysis. **Learning and Instruction**, v. 58, n. 1, p. 182-192, 2018.

BAIRRAL, Marcelo; ALDON, Gilles. **A review based on task design on eye-tracking studies**. Submetido.

BAIRRAL, Marcelo; HENRIQUE, Marcos Paulo; ASSIS, Alexandre. Moving parallel and transversal lines with touches on smartphones: A look through screenrecording. **The Mathematics Enthusiast**, Missoula, v. 19, n. 1, p. 114-135, jul. 2022. doi:10.54870/1551-3440.1546

BAIRRAL, Marcelo Almeida; MENEZES, Rhômulo Oliveira. **Elaboração e mapeamento de pesquisas com tecnologias: olhares e possibilidades**. 1. ed. Porto Alegre: Fi, 2023. doi:10.22350/9786559176779

CHEN, Yi-Chun; YANG, Fang-Ying. Probing the relationship between process of spatial problems solving and science learning: An eye tracking approach. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 12, n. 3, p. 579-603, 2014.

DAMÁSIO, António. **O mistério da consciência: do corpo e das emoções do conhecimento de si**. Tradução de L. T. Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

⁸ Refere-se à gravação em vídeo com áudio a partir da captura das manipulações externas, a câmera filmando os movimentos e os gestos das mãos dos sujeitos ao tocarem a tela, e as manipulações internas, vídeo e áudio gerados com base nos registros realizados na tela do dispositivo (Bairral; Henrique; Assis, 2022).

DENG, Ruigi; GAO, Yifan. A review of eye tracking research on video-based learning. **Educ Inf Technol**, v. 28, p. 7671-7702, dez. 2022.

EPELBOIM, Julie; SUPPES, Patrick. A model of eye movements and visual working memory during problem solving in geometry. **Vision Research**, v. 41, n. 12, p. 1561-1574, 2001.

FRY, CAROL. J. Eye fixations during the reading and solution of word problems containing extraneous information: Relation to spatial visualization ability. *In*: BORBA, Andrea (Org.). **Proceedings of the 12th PME International Conference**. 1988. p. 326-333.

HAATAJA, Eeva; GARCIA MORENO-ESTEVA, Enrique; TOIVANEN, Miika; HANNULA, Markku S. Teacher's gaze behavior when scaffolding peer interaction and mathematical thinking during collaborative problem-solving activity. *In*: **Proceedings of the 42nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education**. PME International Group for the Psychology of Mathematics Education, 2018.

HAATAJA, Eeva; TOIVANEN, Miika; LAINE, Anu; HANNULA, Markku S. Teacher-student eye contact during scaffolding collaborative mathematical problem-solving. **LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education**, v. 7, n. 2, p. 9-26, 2019.

HANNULA, Markku S.; TOIVANEN, Miika; GARCIA MORENO-ESTEVA, Enrique. Eye movements during collaborative geometry problem solving lesson: PME & Yandex Russian Conference. *In*: **Proceedings of the PME and Yandex Russian conference**, p. 138-145, 2019. Disponível em: <https://researchportal.helsinki.fi/en/publications/eye-movements-during-collaborative-geometry-problem-solving-lesso>. Acesso em: 05 abr. 2023.

HANNULA, Markku; WILLIAMS, Gaye. Silent gazing during geometry problem solving, insights from eye tracking. *In*: **Proceedings of the 40th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education**. Szeged: PME, 2016. p. 353-360.

HOLMQVIST, Kenneth; NYSTRÖM, Marcus; ANDERSSON, Richard; DEWHURST, Richard; JARODZKA, Halszka; VAN DE WEIJER, Joost. **Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures**. 1. ed. Nova Iorque: OUP Oxford, 2011.

KLEIN, P.; VIIRI, J.; MOZAFFARI, S.; DENGEL, A.; KUHN, J. Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? **Physical Review Physics Education Research**, v. 14, n. 1, 2018.

KRICHEVETS, Anatoly N.; SHVARTS, Anna Yu; CHUMACHENKO, Dmitrii V. Perceptual action of novices and experts in operating visual representations of a

mathematical concept. **Психология. Журнал Высшей школы экономики**, v. 11, n. 3, p. 55-78, 2014.

LEE, Wei-Kuang; WU, Chao-Jung. Eye movements in integrating geometric text and figure: Scanpaths and given-new effects. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 16, n. 4, p. 699-714, 2017.

LIN, John Jr-Hung; LIN, Sunny S. J. Cognitive load for configuration comprehension in computer-supported geometry problem solving: An eye movement perspective. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 12, n. 3, p. 605-627, 2013.

LIN, John Jr-Hung; LIN, Sunny S. J. Tracking eye movements when solving geometry problems with handwriting devices. **Journal of Eye Movement Research**, v. 7, n. 1, 2014.

LIN, Tsai-Wen; WU, Chao-Jung; SOMMERS, S. The influence of reading figures in geometry proof on eye movement. **Proceedings of PME 36**, v. 3, p. 147-152, 2012.

MERSCHMEYER-BRÜWER, Carla. How do primary school pupils “see” and structure two-dimensional representations of cube configurations? Case studies with analyses of eye movements during spatial structuring processes. *In: TÖRNER, Günter et al. (Org.). Developments in mathematics education in German-speaking countries. Selected Papers from the Annual Conference on Didactics of Mathematics, Ludwigsburg, 2001.* p. 83-97.

MULDNER, Kasia; BURLESON, Winslow. Utilizing sensor data to model students’ creativity in a digital environment. **Computers in Human Behavior**, v. 42, n. 1, p. 127-137, 2015.

ÖGREN, Magnus; NYSTRÖM, Marcus; JARODZKA, Halszka. There’s more to the multimedia effect than meets the eye: is seeing pictures believing? **Instructional Science**, v. 45, n. 2, p. 263-287, 2017.

RÊGO, Rogéria Gauencio; RÊGO, Rômulo Marinho; VIEIRA, Kleber Mendes. **Laboratório de ensino de geometria**. Campinas: Autores Associados, 2012.

ROACH, Victoria A.; FRASER, Graham M.; KRYKLYWY, James H.; MITCHELL, Derek G.V.; WILSON, Timothy D. The eye of the beholder: Can patterns in eye movement reveal aptitudes for spatial reasoning? **Anatomical Sciences Education**, v. 9, n. 4, p. 357-366, 2016.

SALEMA, Vitor; RODRIGUEZ, Carla; SATO, João. Eye-tracking aplicado a recursos pedagógicos visuais e multimídia: um mapeamento sistemático. *In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE. Anais... Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*. Brasília, 2019. p. 1780-1789.

SANTOS, Cleane Aparecida; NACARATO, Adair Mendes. **Aprendizagem em Geometria na educação básica: a fotografia e a escrita na sala de aula**. 1. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2014.

SCHIMPF, Florian; SPANNAGEL, Christian. Reducing the graphical user interface of a dynamic geometry system. **ZDM**, v. 43, n. 3, p. 389-397, 2011.

SCHINDLER, Maïke; LILIENTHAL, Achim J.; CHADALAVADA, Ravi; ÖGREN, Magnus. Creativity in the eye of the student. Refining investigations of mathematical creativity using eye-tracking goggles. *In: Proceedings of the 40th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME)*. 2016. p. 163-170.

SHVARTS, Anna. A dual eye-tracking study of objectification as student-tutor joint activity appropriation. *In: Proceedings of the 42nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Umeå, Sweden: PME, 2018a. p. 171-178.

SHVARTS, Anna. Joint attention in resolving the ambiguity of different presentations: A dual eye-tracking study of the teaching-learning process. *In: PRESMEG, N.; RADFORD, L.; ROTH, W. M.; KADUNZ, G. (Eds.). Signs of Signification: Semiotics in Mathematics Education Research*, Cham, Switzerland: Springer, 2018b. p. 73-102.

SOARES, Raimundo da S.; LUKASOVA, Katerina; CARTHERY-GOULART, Maria Teresa; SATO, João Ricardo. Student's perspective and teachers' metacognition: Applications of eye-tracking in education and scientific research in schools. **Frontiers in Psychology**, 12, 2021. doi:10.3389/fpsyg.2021.673615

STROHMAIER, Anselm R.; MACKAY, Kelsey J.; OBERSTEINER, Andreas; REISS, Kristina M. Eye-tracking methodology in mathematics education research: A systematic literature review. **Educational Studies in Mathematics**, v. 104, n. 2, p. 147-200, 2020.

TSAI, Meng-Jung; HOU, Huei-Tse; LAI, Meng-Lung; LIU, Wan-Yi; YANG, Fang-Ying. Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. **Computers & Education**, v. 58, n. 1, p. 375-385, 2012. Disponível em: <https://www.learntechlib.org/p/50672/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

VERDINE, Brian N.; BUNGER, Ann; ATHANASOPOULOU, Angeliki; GOLINKOFF, Roberta Michnick; HIRSH-PASEK, Kathy. Shape up: An eye-tracking study of preschoolers' shape name processing and spatial development. **Developmental Psychology**, v. 53, n. 10, p. 1869-1880, 2017.

WANG, Hsiao-Shen; CHEN, Yi-Ting; LIN, Chih-Hung. The learning benefits of using eye trackers to enhance the geospatial abilities of elementary school students. **British Journal of Educational Technology**, v. 45, n. 2, p. 340-355, 2013.