

Influência das cores no contexto educacional de Ciências e Matemática: uma revisão de literatura sobre a utilização de eye-tracking

Influence of colors in Science and Mathematics educational context: a literature review on the use of eye-tracking

Vanessa Martins de Oliveira¹
Solange Wagner Locatelli²
João Ricardo Sato³

Resumo

As cores podem ser usadas para influenciar o processo atencional e, conseqüentemente, o processo de aprendizagem. A técnica de mapeamento do foco visual utilizando um sistema de rastreamento ocular (eye-tracking) é uma forma promissora de se investigar esta relação entre cores e atenção visual. O objetivo desta revisão de literatura foi analisar estudos sobre o uso e a influência das cores, junto à utilização de rastreamento ocular, no contexto educacional em Ciências e Matemática. Considerou-se os estudos publicados de 2005 a 2020, a fim de identificar o estado da arte e possíveis lacunas na área. Os resultados indicaram que há poucos estudos que analisaram a cor como uma variável isolada e a forma que as cores foram empregadas no material. Além disso, há escassez de estudos sobre o uso de materiais dinâmicos, estudos que sejam realizados com participantes de outros níveis além do ensino superior, e em participantes com neurodesenvolvimento atípico. A área do conhecimento com mais pesquisas sobre o tema foi a Biologia e o recurso pedagógico mais utilizado foi o de figuras com texto.

Palavras chave: cores; rastreamento ocular; Ensino de Ciências; Educação Matemática; aprendizagem.

Abstract

Colors can be used to influence the attentional process and, consequently, the learning process. The visual gaze mapping technique using an eye-tracking system is a promising way to investigate this relation between colors and visual attention. The purpose of this literature review was to analyze studies about the use and influence of colors, along with the use of eye-tracking, in the educational context in Sciences and Mathematics. Studies published from 2005 to 2020 were considered in order to identify the state-of-the-art and possible gaps in this field. The results indicated that there are few studies which analyzed color as an isolated variable and the way that colors were used in the material. In addition,

¹ Universidade Federal do ABC | vanessa.m.oliveira@outlook.com

² Universidade Federal do ABC | solange.locatelli@ufabc.edu.br

³ Universidade Federal do ABC | joao.sato@ufabc.edu.br

there is a scarcity of studies about the use of dynamic materials, studies that are carried out with participants from other levels besides higher education, and with participants with atypical neurodevelopment. The area of knowledge with most research on the topic was Biology and the most used pedagogical resource was figures with text.

Keywords: colors; eye-tracking; Science education; Mathematics education; learning.

Introdução

Durante o processo de ensino-aprendizagem são utilizados diversos materiais instrucionais que podem auxiliar tanto o aluno, quanto o professor. No Ensino de Ciências, representações visuais são frequentemente combinadas com textos, no intuito de facilitar a compreensão do leitor e a manipulação de conceitos, além de ajudá-lo a construir modelos mentais. No contexto de explicações científicas, um estudo de Mayer (2009) mostrou que adicionar ilustrações ao texto, ou animações a narração, ajuda o estudante a entender melhor a explicação apresentada. Este resultado foi chamado por Richard Mayer de *Efeito multimídia*, e afirma que uma melhor aprendizagem ocorre quando a mensagem contém não apenas palavras, mas também imagens (MAYER, 2002). Dada sua grande importância, muito se vem discutindo sobre a eficácia destes materiais e meios que possam favorecer a aprendizagem.

De acordo com Almeida et al. (2014, p.1007) o “princípio da sinalização” indica que “a aprendizagem é mais eficiente quando existem sinais ou pistas que indicam, no texto, o que deve ser analisado na imagem”. Existem várias formas de sinalização que visam ajudar a integração de materiais multimídia, sejam estáticos ou dinâmicos, como destaque de palavras, fixo ou sincronizado com narração, rótulos idênticos fornecidos no texto e nas ilustrações, referências dêiticas e a utilização de cores, seja apenas em imagens ou codificação de cores (do inglês 'color-coding') em textos e diagramas (SCHEITER; EITEL, 2015). As cores estão entre as características visuais que são registradas de forma precoce e automática no campo visual, acontecendo primeiramente um processamento mais rápido, em paralelo, e direcionando o local para a fixação e atenção focal, onde ocorre um segundo processamento, em série, mais lento e detalhado, que integra duas ou mais características visuais (TREISMAN; GELADE, 1980). Deste modo, cores mais vibrantes e que se destacam mais no ambiente tendem a chamar nossa atenção, como também mostrou o estudo de Hwang et al. (2007), que comparou cenas do mundo real em cores naturais e em escalas de cinza, enquanto eram registrados dados de rastreamento ocular (eye-tracking). Os resultados indicaram que as informações de cromaticidade levaram a uma detecção do alvo mais rápida, sem influenciar o controle estratégico de alto nível da atenção visual, e ao reconhecimento do alvo com maior convicção. Assim, podemos empregar as cores de várias formas como guia do processo atencional, como por exemplo, usar imagens, estrategicamente coloridas, para ilustrar conceitos ou exemplos relevantes em materiais instrucionais.

Além disso, outra preocupação na criação de materiais instrucionais é quando a leitura de um texto deve ser interrompida para se observar uma ilustração, dividindo a atenção para integrar múltiplas fontes de informação; isto pode resultar em certas dificuldades para o aluno neste processo devido à separação das informações e aumento da carga cognitiva pelo esforço de procura (KALYUGA; CHANDLER; SWELLER, 1999). O código de cores em materiais instrucionais foi proposto para promover uma maior eficiência na aprendizagem,

diminuindo o problema da atenção dividida por meio da organização das informações. Utiliza-se de um código de cores, no qual a mesma cor é utilizada para um mesmo item ou conceito, tanto no texto quanto na ilustração, associando elementos entre diferentes formatos de representação. Tempos de processamento mais curtos na tarefa de leitura mostraram que o material na condição colorida é processado mais facilmente do que o material convencional, indicando que o código de cores fornece orientação e reduz processos de procura, exigindo menor carga cognitiva (KALYUGA; CHANDLER; SWELLER, 1999). Portanto, o uso do código de cores em materiais instrucionais vem sendo recomendado, pois leva a um processamento de informações mais integrado. Desta forma, maximiza-se o benefício do material multimodal, com aumento da contiguidade e aumento da eficiência de processamento em indivíduos com baixo nível de conhecimento prévio, além de ser facilmente utilizado em livros-texto (FOLKER; RITTER; SICHELSCHEMIDT, 2005).

Um estudo de Ozcelik et al. (2009) mostrou os benefícios da utilização das cores na aprendizagem do material sobre sinapses químicas. Foi realizada uma atividade que integrava texto e ilustração por meio de codificação de cores, escolhendo cores únicas para certo alvo e assim o destacando de seus arredores e facilitando a busca visual. Os participantes, que estudaram o material com codificação de cores, levaram menos tempo para achar itens correspondentes entre texto e ilustração e obtiveram maiores pontuações nos testes de retenção e transferência do que aqueles que estudaram o material no formato sem esta codificação.

Em algumas situações, o papel da cor é essencial para um melhor entendimento do assunto, como é o caso das representações gráficas em química, que não necessariamente precisam estar acompanhadas de textos ou rótulos. Logo, para compreender o conteúdo, os alunos devem aprender quais recursos perceptivos eles devem atender, como interpretá-los e como mapear estes recursos para outras representações. Por exemplo, para uma interpretação correta é importante os estudantes aprenderem que a cor em modelos de bolas e varetas (do inglês 'ball-and-stick') e modelos de preenchimento espacial (do inglês 'space filling') denotam a identidade do átomo, enquanto que a cor em mapas de potencial eletrostático denota a densidade de elétrons das regiões (RAU; MICHAELIS; FAY, 2015).

As técnicas de rastreamento ocular apresentam grande potencial de aplicação em uma ampla variedade de disciplinas e áreas de estudo, desde marketing e publicidade até pesquisa médica ou psicolinguística, passando por estudos de usabilidade (HASSAN MONTERO; HERRERO SOLANA, 2007). Contudo, seu uso também tem se mostrado cada vez mais frequente na área da Educação, especialmente em estudos sobre aprendizagem multimídia (ALEMDAG; CAGILTAY, 2018; LAI et al., 2013). As medidas obtidas pelo rastreamento ocular, como local, tempo e quantidade de fixações, ajudam a entender como funciona a alocação de atenção visual no material utilizado e possibilitam diversas oportunidades de pesquisa sobre ensino e aprendizagem (VAN GOG; SCHEITER, 2010).

Vários estudos (SCHEITER; EITEL, 2015; RICHTER; SCHEITER; EITEL, 2016; LIN et al., 2017) apontam para a necessidade de mais pesquisas que abordem sinais de integração multimídia de forma mais explícita e individual, utilizando a metodologia de rastreamento ocular, ou seja, sinais que facilitem a associação entre elementos de diferentes representações do conteúdo, tal como o código de cores. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo analisar estudos sobre o uso e influência das cores, junto à utilização de rastreamento ocular, no contexto educacional em Ciências e Matemática, durante a última década e meia (anos de 2005 a 2020), com foco em analisar as características gerais das

pesquisas realizadas nessa temática e possíveis lacunas considerando-se o uso do rastreamento ocular e a influência das cores. Com isso, pretende-se identificar o estado da arte da temática pretendida, trazendo-se direcionamentos para futuras pesquisas na área.

Metodologia

Visto que o tema de interesse desta revisão são estudos na área de Educação em Ciências e Matemática, que utilizaram rastreamento ocular e abordaram o tema relacionado a cores, as palavras-chave escolhidas para a realização da busca foram 'cor' ou 'cores' e 'eye tracking' ou 'rastreamento ocular', bem como seus correspondentes na língua inglesa e espanhola. Vale ressaltar que a palavra 'cor' na língua inglesa pode ser redigida de duas formas diferentes, 'color' ou 'colour', e a busca foi realizada considerando-se ambas. A decisão se o estudo se encaixava ou não no contexto educacional se deu pela leitura do título, resumo e palavras-chave de cada artigo individualmente. Também, só foram considerados para a análise os artigos que puderam ser acessados. Revisões de literatura foram excluídas da análise para evitar a sobreposição de outros estudos já selecionados e livros não foram incluídos na análise por restrições de acesso ao texto completo. Além disso, decidiu-se por não incluir pesquisas com foco em softwares ou jogos educacionais, pelo entendimento que os dados e métodos são próprios de uma diferente categoria, sendo mais adequada uma análise independente. Assim, a busca foi realizada considerando-se as etapas e critérios de seleção descritos a seguir.

Critérios de seleção

1.a - *Seleção de plataformas de publicação*: para selecionar, inicialmente, as plataformas de publicação nos quais seria feita a pesquisa, como periódicos ou anais, foi realizada uma busca no *Google acadêmico* pelas palavras-chaves escolhidas, aos pares, como no caso da língua inglesa, "color" ou "colour" and "eye-tracking", considerando-se o intervalo de tempo de 2005 a 2020. Além disso, os resumos foram lidos para se verificar a aderência ao contexto educacional, ou seja, se poderiam ser incluídos na área da Educação e, mais especificamente, em Educação em Ciências e Matemática. As plataformas que continham, pelo menos um resultado relacionado ao tema de interesse dentro dos critérios descritos, foram selecionadas para se realizar a busca de artigos nessa referida plataforma (um periódico, por exemplo). Seguindo essas orientações, 17 periódicos e anais foram selecionados (quadro 1):

Quadro 1 - Periódicos e Anais selecionados para busca

1	British Journal of Educational Technology – ISSN: 1467-8535
2	Computers & Education – ISSN: 0360-1315
3	Computers in human behavior - ISSN: 0747-5632
4	Computer Standards & Interfaces - ISSN: 0920-5489
5	EduTec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa - ISSN: 1135-9250
6	Instructional science - ISSN: 1573-1952
7	International Journal of Science and Mathematics Education – ISSN: 1573-1774

8	Journal of Science Education and Technology – ISSN: 1573-1839
9	Learning and instruction - ISSN: 0959-4752
10	Procedia-Social and Behavioral Sciences - ISSN: 1877-0428
11	Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society - ISSN: 1069-7977
12	Proceedings of the IADIS Cognition and Exploratory Learning in Digital Age - ISBN: 978-989-8533-128
13	Respuestas flexibles en contextos educativos diversos - ISBN: 978-84-616-0718-1
14	Science Education – ISSN:1098-237X
15	The Journal of Experimental Education - ISSN: 0022-0973
16	Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE - ISSN 2316-6533
17	Química Nova - ISSN 1678-7064

Dos periódicos e anais selecionados, temos quinze internacionais (1 a 15) e dois nacionais (16 e 17), conforme disposto no quadro 1.

1.b – *Triagem considerando-se as palavras-chaves*: após a seleção das plataformas de publicação a serem analisadas na investigação (quadro 1), as palavras-chave escolhidas (cor/cores e eye-tracking/rastreamento ocular) foram pesquisadas em dupla (cor/eye-tracking, cor/rastreamento ocular, cores/eye-tracking e cores/rastreamento ocular) em cada um dos periódicos ou anais na(s) língua(s) em que são publicados (período de 2005 a 2020), para a seleção prévia de cada artigo. Ao todo, essa busca teve 513 resultados;

1.c - *Triagem considerando-se as palavras-chaves, o título e a leitura do resumo*: a partir dos 513 resultados, os títulos e palavras-chave de cada artigo foram lidos e o resumo dos que foram considerados de interesse foi analisado. Para serem considerados de interesse os artigos deveriam tratar de temas sobre, ou que pudessem estar relacionados a, pelo menos uma das palavras-chave escolhidas para a busca. Além desse critério, eles deveriam estar inseridos no contexto educacional pesquisado (Educação em Ciências e Matemática); por exemplo, artigos sobre materiais instrucionais foram considerados de interesse, uma vez que poderiam estar relacionados às cores e dentro do contexto educacional explorado, enquanto artigos sobre marketing não foram considerados de interesse por não estarem dentro do contexto educacional, ainda que tratassem de temas sobre cores ou rastreamento ocular. Consideramos, ainda, especificamente artigos relacionados à Educação em Ciências e Matemática, assim, artigos que envolviam ensino em geral não foram considerados no escopo dessa pesquisa.

Porém, em alguns casos, mesmo após a leitura do resumo, ainda restavam dúvidas se o artigo abordaria assuntos específicos do tema de interesse (como foi o caso de artigos sobre materiais instrucionais, que podiam ou não tratar do assunto sobre cores) e então foi realizada uma busca das palavras-chave separadamente em todo o texto (cor; cores; eye-tracking; rastreamento ocular; e seus correspondentes na língua inglesa e espanhola),

juntamente com a leitura da conclusão do estudo, para decidir se o artigo seria selecionado ou não. Resumindo, temos no quadro 2, os critérios utilizados para que o artigo fosse selecionado para a pesquisa:

Quadro 2 – Resumo dos critérios de seleção para a fase de análise

Critérios de seleção
1. Estudos que utilizaram rastreamento ocular, abordam tema relacionado a cores e estejam inseridos no contexto educacional sobre Educação em Ciências e Matemática (as três condições simultaneamente), considerando-se as palavras-chave para as duas primeiras condições e a leitura do resumo para a última.
2. Estudos publicados entre os anos de 2005 e 2020.
3. Estudos que estejam nos idiomas: Inglês, Português ou Espanhol.
4. Estudos em que foi possível o acesso ao texto completo.

Para a triagem do material a ser analisado, foi feito o seguinte procedimento, em que temos o número de resultados em cada etapa, Figura 1:

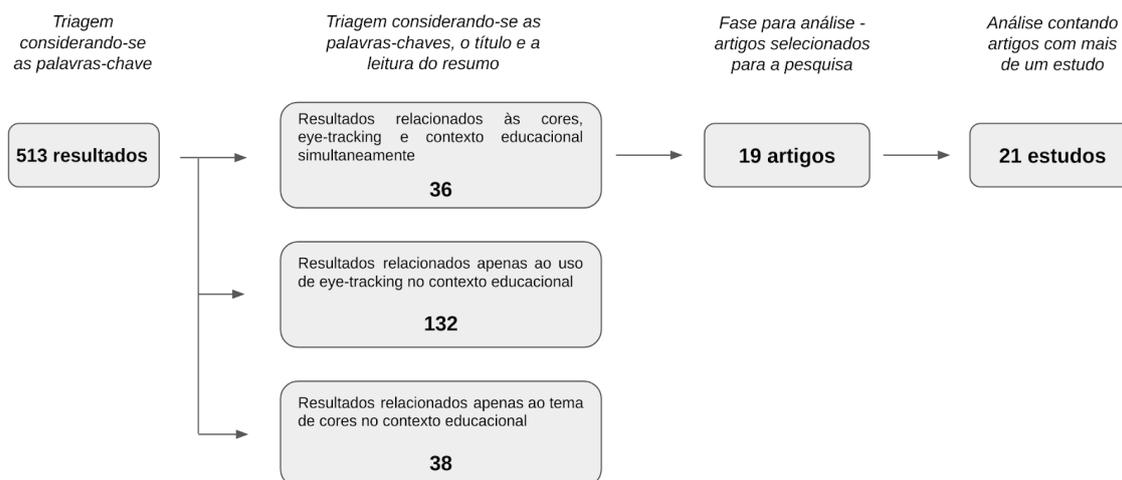


Figura 1 – Etapas consideradas na triagem

Antes da aplicação dos critérios de seleção (quadro 2), haviam 36 resultados relacionados às cores, rastreamento ocular e contexto educacional simultaneamente. Além disso, dos 513 resultados da busca nos periódicos inicialmente, 132 estavam relacionados apenas ao uso de rastreamento ocular no contexto educacional e 38 estavam relacionados apenas ao tema de cores no contexto educacional; dessa forma, estes não foram incluídos, já que não atendiam o descrito no quadro 2, não tratando, simultaneamente, do tema relacionado às cores e ao uso de rastreamento ocular no contexto educacional. Por conta disto, nem todos os periódicos e anais que foram selecionados para busca (quadro 1) tiveram pelo menos um artigo que foi selecionado para a fase de análise. Assim, após as etapas citadas e a aplicação dos critérios de inclusão apresentados no quadro 2, foi realizada a análise final e foram selecionados 19 artigos, publicados entre 2005 e 2020. No entanto, em alguns casos foi realizado mais de um experimento em um único artigo, com diferentes metodologias e resultados; desta forma, artigos que continham mais de um

estudo que se enquadrava ao tema de interesse foram divididos para análise, resultando no total de 21 estudos analisados.

Fase para análise – artigos selecionados para a pesquisa

Considerando-se todos esses critérios (quadro 2), temos que dos 513 resultados, em que se considerou somente as palavras-chave (1.b), obteve-se 19 artigos (21 estudos, contando artigos com mais de um estudo) nessa fase, aqui chamada de fase para análise, quadro 3:

Quadro 3 – Artigos selecionados na fase para análise

ID	Autores/Ano	Título	Periódico / Anais
1	Boucheix e Lowe (2010)	An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations (Estudo 1)	Learning and instruction
2	Cook, Wiebe e Carter (2008)	The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations	Science Education
3	Folker, Ritter e Sichelschmidt (2005)	Processing and integrating multimodal material—the influence of color-coding	Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society
4	Hinze et al.(2013)	Beyond ball-and-stick: Students' processing of novel STEM visualizations	Learning and instruction
5	Lin et al.(2017)	Effects of detailed illustrations on science learning: an eye-tracking study	Instructional science
6	Lowe e Boucheix (2011)	Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes?	Learning and Instruction
7	Majooni, Masood e Akhavan (2015)	Scientific visualizations based on integrated model of text and picture comprehension via eye-tracking	Procedia-Social and Behavioral Sciences
8	Martínez, Díaz e Alcocer (2015)	Evaluación del color en materiales multimedia. Una experiencia con eye tracking	EduTec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa
9a	Navarro, Molina, Lacruz e Ortega (2015)	Evaluation of multimedia educational materials using eye tracking (Estudo 1)	Procedia-Social and Behavioral Sciences
9b	Navarro, Molina, Lacruz e Ortega (2015)	Evaluation of multimedia educational materials using eye tracking (Estudo 2)	Procedia-Social and Behavioral Sciences
10	Navarro et al.(2012)	Utilización de técnicas de seguimiento ocular (eye tracking) en alumnos con problemas de aprendizaje	Respuestas flexibles en contextos educativos diversos
11	Ozcelik et al.(2009)	An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning	Computers & Education
12	Ozcelik, Arslan-Ari e Cagiltay(2010)	Why does signaling enhance multimedia learning? Evidence from eye movements	Computers in human behavior
13	Patrick, Carter e	Visual representations of DNA replication: Middle	Journal of Science

	Wiebe(2005)	grades students' perceptions and interpretations	Education and Technology
14	Ponce e Mayer(2014)	An eye movement analysis of highlighting and graphic organizer study aids for learning from expository text	Computers in human behavior
15	Rau, Michaelis e Fay(2015)	Connection making between multiple graphical representations: A multi-methods approach for domain-specific grounding of an intelligent tutoring system for chemistry (Estudo 2)	Computers & Education
16	Richter e Scheiter(2019)	Studying the expertise reversal of the multimedia signaling effect at a process level: evidence from eye tracking	Instructional Science
17a	Scheiter e Eitel(2015)	Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements (Estudo 1)	Learning and Instruction
17b	Scheiter e Eitel(2015)	Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements (Estudo 2)	Learning and Instruction
18	Scheiter et al.(2019)	Adaptive multimedia: Using gaze-contingent instructional guidance to provide personalized processing support (Estudo 2)	Computers & Education
19	Sonmez, Altun e Mazman(2012)	How Prior Knowledge and Colour Contrast Interfere Visual Search Processes in Novice Learners: An Eye Tracking Study	Proceedings of the IADIS Cognition and Exploratory Learning in Digital Age

Descritores utilizados para a análise dos artigos selecionados para a pesquisa

Para a classificação dos artigos, utilizamos os seguintes descritores:

1. Número de artigos selecionados em cada um dos periódicos/anais de publicação: refere-se à quantidade de artigos que foram selecionados em cada um dos periódicos ou anais pesquisados.
2. Número de artigos por ano de publicação: refere-se à quantidade de artigos selecionados em cada ano no período de 2005 a 2020.
3. Escolaridade dos participantes: classifica o grau de escolaridade dos participantes que tiveram seus dados analisados na pesquisa realizada.
4. Conhecimento prévio dos sujeitos de pesquisa: faz referência ao nível de conhecimento prévio dos participantes sobre o assunto do material utilizado no experimento.
5. Identificação de problemas de aprendizagem: aponta se a pesquisa identificou se os participantes apresentavam algum problema de aprendizagem.
6. Área do estudo: identifica a qual área do conhecimento pertencia o material utilizado no experimento, no caso, Ciências, Química, Física, Biologia ou Matemática.

7. Forma do uso das cores no material: análise da forma em que a variável 'cor' foi aplicada no material utilizado no experimento.
8. Recurso pedagógico utilizado e formato pictórico: identifica os recursos pedagógicos empregados na realização do experimento.
9. Resultados principais das pesquisas: identifica os principais pontos apresentados nos resultados da pesquisa.

Resultados e Discussão

Aqui apresentamos os resultados e a discussão por descritor, de 1 a 9.

1. Número de artigos selecionados em cada um dos periódicos/anais de publicação

Na figura 2, temos o número de estudos selecionados nessa pesquisa no material selecionado.

Número de estudos selecionados em cada um dos periódicos/anais

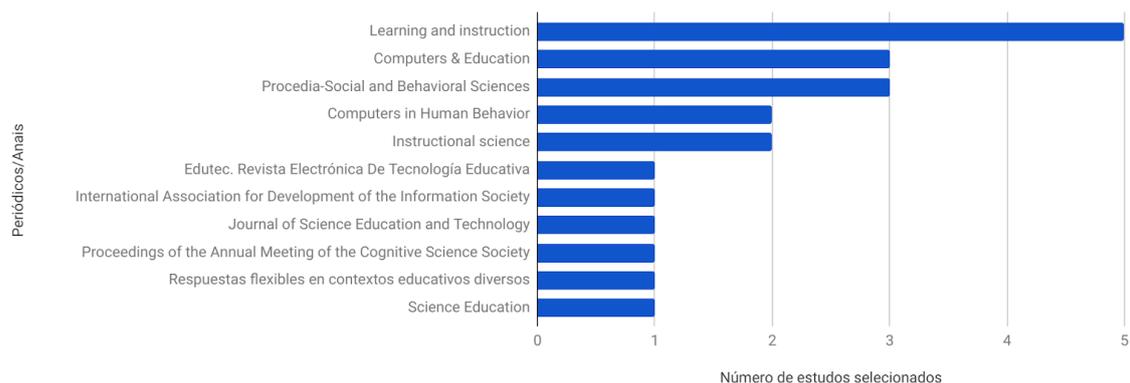


Figura 2 – Estudos selecionados em cada um dos periódicos ou anais (de um total de 21 estudos).

Pela Figura 2 é possível observar que o maior número de estudos selecionados foi publicado no periódico *Learning and instruction*, seguido por *Computers & Education* e *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. O periódico *Learning and instruction* é um periódico internacional voltado para pesquisas sobre aprendizagem, desenvolvimento, instrução e ensino, o que atende ao critério 1 (quadro 2) da nossa pesquisa, sendo um periódico voltado para, especificamente, aprendizagem (learning) e de ensino de forma geral (não especifica uma área), o que poderiam ser fatores que explicassem a razão de se ter um maior número de artigos selecionados.

2. Número de artigos por ano de publicação

A distribuição do número de estudos, por ano em que foram publicados, pode ser observada na figura 3:



Figura 3 – Número de estudos por ano em que foram publicados

Dentre os critérios estipulados para essa pesquisa, não foi observado um crescimento em estudos relacionados ao tema durante os últimos anos, mas sim um pico no ano de 2015; em parte, esse pico se deve a três estudos selecionados que foram publicações parciais dos resultados de uma mesma investigação em 2015 (itens 8, 9.a e 9.b, quadro 3) e a outros dois estudos que foram selecionados de um mesmo artigo, também publicado em 2015 (itens 17.a e 17.b, quadro 3). Além disso, a revisão sistemática de Alemdag e Cagiltay (2018) que analisou pesquisas sobre rastreamento ocular na aprendizagem multimídia no período de 2010 a 2016, também encontrou um maior número de artigos publicados no ano de 2015 (de forma geral).

Quanto à ausência de um crescimento de estudos relacionados ao tema ao longo dos anos, não está de acordo com o que foi observado na revisão de Lai et al. (2013), que investigou como a abordagem de rastreamento ocular foi aplicada em estudos sobre diferentes tópicos de aprendizagem, e quais medidas foram utilizadas para isso, entre os anos de 2000 e 2012. Os resultados mostraram um aumento significativo desde 2009 em pesquisas sobre aprendizagem, em geral, que utilizaram a tecnologia de rastreamento ocular.

No entanto, diferentemente do presente estudo, a revisão de Lai et al. (2013) não considerou, especificamente, o contexto educacional sobre Ciências e Matemática, nem o tema relacionado às cores. Desta forma, a ausência de um crescimento em estudos relacionados ao tema, mostrada na figura 3, não significa que não houve um aumento no número de pesquisas em educação que utilizaram rastreamento ocular nos últimos anos, apenas que não houve um aumento das pesquisas em educação em Ciências e Matemática que utilizaram rastreamento ocular e abordaram algum tema relacionado às cores simultaneamente, que foi dentro do escopo considerado por essa pesquisa.

3. Escolaridade dos participantes

Quanto à escolaridade, a maioria dos estudos, treze (itens 1, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 14, 15, 17.a, 17.b, 18 e 19, quadro 3) foram realizados com estudantes universitários, os seis demais (itens 8, 9.a, 9.b, 10, 13 e 16, quadro 3) com estudantes do Ensino Fundamental, apenas um dos artigos selecionados (item 2, quadro 3) foi realizado com estudantes do Ensino Médio e um (item 3, quadro 3) não especificou a escolaridade dos participantes. Também foi encontrada

uma maioria de estudos, realizados com participantes do nível superior, nas meta-análises de Richter, Scheiter e Eitel (2016) sobre o efeito da sinalização, relacionando figuras e textos na aprendizagem multimídia, e de Schneider et al. (2018), sobre como a sinalização afeta a aprendizagem com mídia; ambas estão relacionadas com o presente estudo pois o uso das cores é umas das formas de sinalização em materiais instrucionais. Segundo Schneider et al. (2018), amostras de estudantes universitários foram super-representadas e limitam uma generalização dos achados para os outros níveis de escolaridade.

4. Conhecimento prévio dos sujeitos de pesquisa

Num artigo sobre perspectivas no Ensino de Ciências, Gil-Perez (1994) considera, como importante, os conhecimentos prévios dos alunos sobre os assuntos a serem tratados em sala de aula, pois eles poderão influenciar no processo de aprendizagem de novos conceitos. Assim, o conhecimento prévio no domínio específico é considerado um dos fatores que pode influenciar o aprendizado e, conseqüentemente, a utilização de certos materiais instrucionais, bem como sua eficácia.

Também é importante apontar que, princípios que facilitam a aprendizagem de estudantes com baixo nível de conhecimento prévio, podem não ser os mesmos para estudantes com alto nível de conhecimento prévio, de modo que diferentes níveis necessitam de diferentes formatos e procedimentos instrucionais no design do material (KALYUGA, 2005). Desta forma, é importante conhecer o nível de especialização dos participantes para um maior controle das variáveis durante as pesquisas e para oferecer um material mais apropriado para aprendizagem.

Entre os estudos selecionados, em treze deles os participantes possuíam níveis baixo ou médio de conhecimento prévio do assunto investigado (itens 1, 3, 5, 6, 8, 9.a, 9.b, 10, 11, 12, 14, 17.a e 17.b, quadro 3). Isso foi feito com o intuito de se ter um maior controle sobre os resultados de outras variáveis, por exemplo, relacionadas à sinalização do material, sem que melhores resultados na aprendizagem se dessem por conta do alto conhecimento prévio. No entanto, o conhecimento prévio foi o foco de investigação em quatro dos artigos selecionados (itens 2, 4, 16 e 19, quadro 3), que compararam grupos de estudantes com diferentes níveis de conhecimento prévio e, em geral, mostraram que a atenção e busca visual de estudantes com baixo e com alto conhecimento prévio apresentam padrões diferentes.

5. Identificação de problemas de aprendizagem

De todos os estudos selecionados, apenas um (item 10, quadro 3) foi realizado com participantes que apresentavam problemas de aprendizagem, que se traduzia em um rendimento acadêmico inferior aos demais. Papagiannopoulou et al. (2014) apontam que, normalmente, estudos que analisam o olhar de crianças com transtorno do espectro autista (TEA) utilizam imagens coloridas, e vários outros estudos utilizam rastreamento ocular para pesquisa sobre desenvolvimento e aprendizagem em crianças com TEA (PAPAGIANNOPOULOU et al., 2014; FALCK-YTTER; BÖLTE; GREDEBÄCK, 2013; GLIGA et al., 2012), assim, esperava-se encontrar estudos que se encaixassem no tema investigado e tratasse de participantes com TEA. No entanto, nenhum dos estudos selecionados nesta revisão foi realizado com participantes com TEA.

6. Área do estudo

Em relação às áreas do conhecimento dos materiais investigados, há um maior número de estudos na área de Biologia, como é possível observar na Figura 4.



Figura 4 – Número de estudos por área do conhecimento do material

Dos vinte e um estudos analisados, três são da área de Matemática, sendo todos sobre geometria (itens 8, 9.a e 9.b, quadro 3) e dezoito são sobre Ciências: nove são da área de Biologia, sendo três sobre divisão celular (itens 3, 18 e 19, quadro 3), dois sobre sistema circulatório humano (itens 17.a e 17.b, quadro 3), um sobre anatomia humana (item 5, quadro 3), um sobre replicação do DNA (item 13, quadro 3), um sobre transporte celular (item 2, quadro 3) e um sobre sinapse química (item 11, quadro 3); cinco são da área de Física, sendo dois sobre sistema mecânico de um piano (itens 1 e 6, quadro 3), um sobre motor de avião a jato (item 12, quadro 3), um sobre estilos de barcos a vapor (item 14, quadro 3) e um sobre o tema de máquinas e ferramentas (item 10, quadro 3); três são da área de Química, sendo um sobre química orgânica (item 4, quadro 3), um sobre diferentes representações gráficas de moléculas (item 15, quadro 3) e um sobre o modelo de partícula da matéria (item 16, quadro 3); e um foi incluído na área de Ciência geral por indicar que o material utilizado se referia ao contexto científico, mas sem especificar a área (item 7, quadro 3).

Por conta do uso frequente de diferentes representações para esquematizar e ilustrar conceitos, algumas áreas do conhecimento, em geral, podem se adequar mais do que outras ao uso de representações multimídia e de cores na sinalização do material; por exemplo, de forma geral, o uso de figuras para explicar conceitos e fenômenos em diferentes níveis de organização pode ser mais diverso e recorrente na área de Biologia do que na área de Matemática, que utiliza mais expressões e operações matemáticas, entre outras representações simbólicas altamente baseadas em regras e convenções (PANDE; CHANDRASEKHARAN, 2017). Desta forma, o emprego das cores para destacar um assunto depende do método e do contexto que está sendo trabalhado, sendo importante avaliar a melhor forma de implementação em cada área. No caso do código de cores, por exemplo, seu uso é adequado para destacar e conectar elementos únicos e específicos entre texto e imagem, e não seria tão eficiente para destacar correspondências entre unidades maiores de texto e imagem, já que nesses casos, trechos muito grandes de texto teriam que ser coloridos ou uma área muito grande da imagem teria que ser destacada, tendo outras

formas de sinalização mais apropriadas para estes casos, como legendas ou referências dêiticas (SCHEITER; EITEL, 2015).

Ainda, segundo Cook (2006), representações visuais que tornam os fenômenos mais concretos, e que mostram múltiplos processos e relações, são cruciais no Ensino em Ciências. Portanto, em áreas de Ciências, nas quais o papel das informações verbais e pictóricas são fundamentais (ALEMDAG; CAGILTAY, 2018) e a integração de elementos entre texto e imagem acontece de forma recorrente, como pode ser o caso da Biologia, é coerente que exista um maior número de estudos com interesse em investigar a atenção visual com rastreamento ocular durante a aprendizagem dos materiais, possibilitando também que a aplicação do uso das cores como forma de destaque e sinalização no material possa ocorrer com maior frequência. Além disso, Sousa e Queirós (2019) realizaram um panorama das pesquisas sobre a análise de recursos didáticos apresentadas no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência (ENPEC), no período de 2008 a 2017, e os resultados mostraram que a disciplina que mais teve trabalhos publicados sobre análise de recursos didáticos também foi a de Biologia, enquanto os autores apontaram para uma carência de trabalhos nas disciplinas de Física e Química.

7. Forma do uso das cores no material

A Figura 5 mostra a forma que as cores foram utilizadas no material;



Figura 5 – Forma que as cores foram utilizadas no material

Essas categorias (figura 5) foram criadas pois, assim como existem diversas formas de aprender novos assuntos (pela leitura de textos, exercícios práticos, atividades interativas, etc.), existem diferentes formas de usar as cores em materiais multimídia, desde variações do contraste ou saturação numa mesma imagem, a destaque de elementos associando diferentes representações gráficas. As categorias foram formadas com base na semelhança do modo que as cores foram empregadas no material e são descritas a seguir.

A categoria *Comparação de materiais com e sem código de cores* incluiu os artigos que analisaram o aprendizado com materiais sinalizados com código de cores e sem a sinalização (materiais padrões). Por exemplo, temos o caso do estudo de Ozcelik et al. (2009) (item 11, quadro 3) que mediu escores de retenção e transferência em alunos que estudaram o material no formato convencional (sem código de cores) e em alunos que

estudaram o material com código de cores, mostrando um desempenho melhor dos estudantes com o uso do material com código de cores.

Em *Comparação de figuras em cores e em preto e branco*, os estudos compararam a eficiência do material com figuras coloridas e do material com figuras em preto e branco. Observaram-se resultados diferentes. O estudo de Majooni, Masood e Akhavan (2015) (item 7, quadro 3) por exemplo, avaliou a integração entre texto e imagem e a carga cognitiva para materiais com as figuras em cores ou em preto e branco e encontrou um efeito positivo da cor na redução de carga cognitiva. Entretanto, Lin et al. (2017) (item 5, quadro 3) compararam materiais com texto acompanhado de ilustrações com detalhes realistas e em cores com materiais com texto acompanhado de ilustrações em preto e branco e sem detalhes realistas, porém os dois casos foram igualmente eficazes em termos de resultados de aprendizagem.

Em *Contraste de cores*, diferentes contrastes foram usados nos materiais; o estudo de Sonmez, Altun e Mazman (2012) (item 19, quadro 3) por exemplo, comparou estudantes com alto e baixo conhecimento prévio utilizando figuras com diferentes contrastes de cores; as imagens com alto contraste mostravam o material genético na cor marrom em fundo azul claro da célula, enquanto as imagens com baixo contraste mostravam o material genético na cor laranja em fundo amarelo da célula. Apenas para os slides com alto contraste de cores, foram observadas diferenças entre os grupos, com o grupo de alto conhecimento prévio apresentando estratégias de busca visual mais eficientes. Já o estudo de Navarro et al. (2015) (item 9.a, quadro 3) analisou dois níveis diferentes do Ensino Fundamental e mostrou que, para ambos os níveis, ocorre uma maior eficiência na busca visual e na retenção do conteúdo quando uma combinação de cores primárias e quentes que contrastam bem é usada, em vez de tons pastéis que não favorecem a localização das áreas de interesse.

Na categoria *Modelos moleculares*, a cor estava presente em diferentes representações moleculares, como mapas de potencial eletrostático ou modelos de bolas e varetas ('ball-and-stick'); Rau, Michaelis e Fay (2015) (item 15, quadro 3) apontam que os alunos devem aprender que as cores correspondentes em mapas de potencial eletrostático e modelos de bolas e varetas, por exemplo, denotam informações diferentes e, portanto, não são críticas para se fazer a conexão entre essas duas representações gráficas particulares, mas devem entender o papel das cores em cada tipo de representação para uma boa compreensão do assunto. O estudo de Hinze et al. (2013) (item 4, quadro 3) mostrou que a adoção e uso fluente de novas representações (como mapas de potencial eletrostático) se dá em função do conhecimento prévio e experiência, sendo importante, por exemplo, o entendimento de qual o significado das cores nas representações moleculares, para que os estudantes se sintam confiantes em usá-las.

Em *Destaque de rótulo durante narração*, rótulos de uma imagem eram destacados com cor enquanto a narração estava explicando sobre o rótulo destacado, e voltava ao normal (sem cor de destaque) ao final da explicação (item 12, quadro 3). Os resultados de Ozelik, Arslan-Ari e Cagiltay (2010) (item 12, quadro 3), indicaram que o grupo com rótulos sinalizados teve melhor desempenho nos testes de transferência e correspondência, e que a sinalização dos rótulos durante a narração direcionou a atenção para informações relevantes, melhorando a eficiência e eficácia de encontrar informações necessárias.

Na categoria *Destaque de apenas palavras*, palavras importantes em um texto eram destacadas do resto do texto utilizando a mesma cor para todas (item 14, quadro 3). Ponce

e Mayer (2014) (item 14, quadro 3) utilizaram destaque de palavras e organizadores gráficos e observaram uma melhora significativa dos resultados de aprendizagem em relação a retenção de conteúdo, em comparação com uma lição sem tais ajudas (ou seja, somente texto).

Já em *Destaque de itens durante animação*, itens gráficos do material eram destacados de forma dinâmica durante a animação (item 6, quadro 3). Segundo o estudo de Lowe e Boucheix (2011) (item 6, quadro 3), as pontuações de demonstração prática das animações com sinalização não foram melhores do que as produzidas na versão não sinalizada e os resultados sugerem que são necessárias alternativas para pistas visuoespaciais para ajudar os alunos a processar animações complexas de forma mais eficaz.

A categoria *Outros* incluiu artigos que usaram as cores no material de forma diferenciada, como o estudo de Boucheix e Lowe (2010) (item 1, quadro 3) que propôs uma nova abordagem de sinalização dinâmica com cores, chamada de 'spreading-colour cue', a qual resultou em um melhor direcionamento da atenção para aspectos tematicamente relevantes e em maiores escores de compreensão; ou como no estudo de Scheiter et al. (2019) (item 18, quadro 3), no qual um material adaptativo com zoom, e, depois, com código de cores, era mostrado somente se o participante tivesse padrões de rastreamento ocular fora do intervalo definido, mas que não encontrou diferenças em termos de resultado de aprendizagem entre o sistema de aprendizagem multimídia adaptativo e o não-adaptativo.

Conforme a Figura 4, as formas mais usadas foram a comparação de materiais com e sem código de cores e a comparação de figuras coloridas com figuras em preto e branco, seguido por materiais que utilizaram diferentes contrastes de cores. Além disso, esperava-se encontrar pesquisas que comparassem as cores individualmente entre si (por exemplo, material com cor vermelha versus cor azul), avaliando seus efeitos na atenção visual ou na carga cognitiva por meio do uso do rastreamento ocular; no entanto, nenhum dos artigos selecionados comparou as cores individualmente entre si.

8. Recurso pedagógico utilizado e formato pictórico

Na figura 6, podemos observar os recursos pedagógicos que foram utilizados nos materiais:

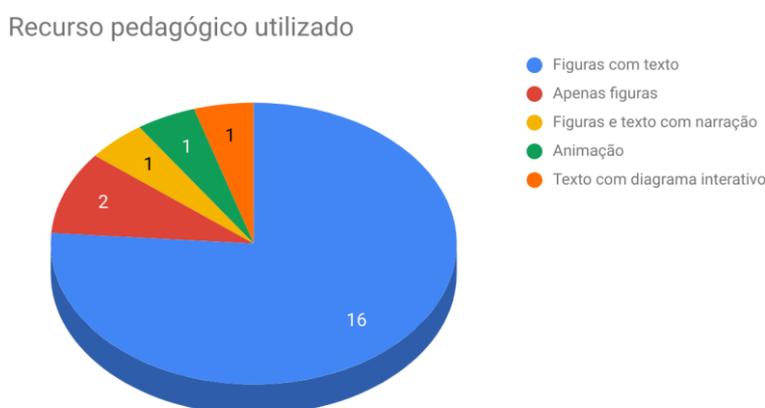


Figura 6 – Recurso pedagógico utilizado no material

Vale destacar que em “figuras” estão incluídos tanto desenhos ilustrativos quanto imagens reais, e nos textos, além do texto normal, legendas e rótulos também foram incluídos.

O recurso pedagógico mais frequente no material dos estudos selecionados foi o de figuras com texto, sendo usado em dezesseis estudos (itens 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9.a, 9.b, 10, 11, 16, 17.a, 17.b, 18 e 19, quadro 3); os demais foram: apenas figuras (itens 13 e 15, quadro 3), animação (item 6, quadro 3), texto com diagrama interativo (item 14, quadro 3) e figuras com texto e narração (item 12, quadro 3).

A predominância da utilização de figuras com texto como recurso pedagógico também foi observada no mapeamento sistemático sobre rastreamento ocular aplicado a recursos pedagógicos visuais e multimídia de Salema, Rodriguez e Sato (2019); individualmente, o texto foi o recurso pedagógico visual investigado com mais frequência, e a combinação de texto e imagem foi a mais utilizada em relação a combinações com outros recursos. Além disso, Sousa e Queirós (2019), que realizaram uma síntese das pesquisas sobre a análise de recursos didáticos apresentadas no ENPEC no período de 2008 a 2017, apontaram que o livro didático foi o recurso mais explorado nas pesquisas analisadas, o que segundo os autores pode estar relacionado ao fato de que, ainda atualmente, o desenvolvimento da prática de ensino é baseado em livros didáticos, de forma que recursos diferenciados sejam menos utilizados.

Quanto ao formato pictórico do material, dos 21 estudos selecionados, dezessete eram estáticos (itens 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9.a, 9.b, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17.a, 17.b e 19, quadro 3), dois dinâmicos (itens 1 e 6, quadro 3) e dois usaram ambos formatos (itens 14 e 18, quadro 3). A prevalência do formato pictórico estático também foi encontrada na meta-análise de Richter, Scheiter e Eitel (2016), sobre o efeito da sinalização relacionando figuras e textos na aprendizagem multimídia.

De Koning et al. (2009) apontam que a simples aplicação de sinais que funciona para representações estáticas em animações é insuficiente, sendo necessário o desenvolvimento de abordagens que funcionem em representações dinâmicas.

9. Resultados principais das pesquisas considerando-se ou não a análise da cor isoladamente

Nesta seção foram reunidos os principais pontos apresentados nos resultados. No entanto, visto que os estudos que não analisaram a variável ‘cor’ de forma individual não atribuíram seus principais resultados às cores, optou-se por dar maior enfoque aos estudos cujos resultados estavam diretamente relacionados às cores e separar estudos que analisaram e os que não analisaram a variável ‘cor’ isoladamente, nas subcategorias 9.a e 9.b.

9.a. Estudos que analisaram a variável ‘cor’ isoladamente

Dos oito estudos que analisaram a variável ‘cor’ de forma separada de outras variáveis (itens 3, 7, 8, 9.a, 9.b, 10, 11 e 19, quadro 3), apenas um (item 10, quadro 3), que analisou o movimento ocular do grupo experimental de 3 alunos com problemas de aprendizagem, comparando ao grupo controle de outros 3 alunos, não encontrou vantagens na utilização do material colorido. Os sete restantes relataram resultados positivos da utilização de cores no material.

Na pesquisa de Ozcelik et al. (2009) (item 11, quadro 3), o uso do código de cores no material resultou em um aumento do desempenho nos testes de retenção e transferência, atração da atenção dos alunos para informações, perceptualmente salientes, e aumento da eficiência na localização de informações correspondentes entre ilustração e texto, necessitando de menos tempo para encontrar tais informações no material codificado por cores do que no material convencional (sem código de cores). Os resultados encontrados por Folker, Ritter e Sichelschmidt (2005) (item 3, quadro 3) também apontam que o uso de códigos de cores favorece o processamento e integração de diferentes fontes de informação, especialmente para alunos com baixo conhecimento prévio; os menores tempos de processamento na tarefa de leitura mostraram que o material na condição com cor oferece um processamento mais fácil do que o material padrão, além de indicarem que códigos de cores orientam e reduzem os processos de busca, liberando capacidades cognitivas.

Após a comparação de figuras em cores versus figuras em preto e branco, Majooni, Masood e Akhavan (2015) (item 7, quadro 3) encontraram efeito positivo da cor na redução da carga cognitiva em todos os casos e melhores pontuações na tarefa em que a figura era apresentada antes do texto; os estudos de Martínez, Díaz e Alcocer (2015) (item 8, quadro 3) e de Navarro et al. (2015) (itens 9.a e 9.b, quadro 3) também comparam figuras coloridas e em preto e branco, e mostraram que uma aprendizagem mais eficiente ocorre quando a cor é usada para destacar áreas de interesse nas quais é desejado que os alunos foquem a sua atenção. A apresentação de conteúdos através de uma configuração de cores adequada, destacando áreas relevantes, favorece a aquisição de conhecimentos e permite uma observação mais rápida e eficiente.

Em relação ao uso de contraste de cores, os resultados de Navarro et al. (2015) mostraram que uma maior eficiência na busca por áreas de interesse e uma aprendizagem mais eficiente ocorrem quando a informação é mostrada usando cores quentes em vez de tons pastéis, acontecendo uma maior eficiência na retenção do conteúdo quando uma combinação de cores primárias e quentes que contrastam bem são usadas em vez de pastéis que não favorecem a localização das áreas de interesse, além do grupo experimental ter necessitado de menos tempo para observar a apresentação. No estudo de Sonmez, Altun e Mazman (2012) (item 19, quadro 3), o conhecimento prévio do conteúdo influenciou as estratégias de busca visual dos participantes e seu tempo de reconhecimento para as amostras de slides que tinham alto contraste de cores. Apesar de nenhuma diferença ter sido encontrada entre os grupos para os slides com baixo contraste de cores, o grupo com alto conhecimento prévio foi capaz de reconhecer e identificar as fases da mitose corretamente em um menor período de tempo em comparação ao grupo com baixo conhecimento prévio nos slides com alto contraste.

Desta forma, é possível observar que em geral, foram encontrados benefícios e resultados positivos na aprendizagem associados ao uso das cores em materiais instrucionais.

9.b. Estudos que não analisarem a variável 'cor' isoladamente

Apenas estudos que utilizaram materiais da área de Química (itens 4, 15 e 16, quadro 3) não tiveram pelo menos um artigo selecionado que analisou a variável 'cor' separadamente de outras variáveis, nem tiveram como foco principal analisar o papel das cores utilizadas no material, apesar de ressaltarem a importância dos alunos entenderem qual o papel da cor

em diferentes representações visuais para terem uma boa compreensão dos conceitos representados, como é o caso dos mapas de potencial eletrostático, onde o potencial eletrostático é representado por código de cores (região vermelha é mais negativa, azul mais positiva e verde é neutra), e dos modelos de preenchimento espacial ('space-filling models') e de bolas e varetas, onde as cores denotam a identidade do átomo.

No entanto, a Química também foi a única área em que todos os estudos selecionados compararam estudantes com alto e baixo conhecimento prévio, o que não apareceu tanto como foco em outras áreas. Esses estudos apontaram que a adoção e uso fluente de novas representações químicas se dá em função do conhecimento prévio e experiência dos alunos (HINZE et al., 2013) (item 4, quadro 3); os resultados de Hinze et al. (2013) também sugerem que as referências dos participantes às características dos mapas de potencial eletrostático (por exemplo, às cores) ou às informações conceituais comunicadas por essa representação (por exemplo, a densidade de elétrons) estavam relacionadas à sua atenção aos mapas de potencial eletrostático e também a respostas mais precisas. Os resultados de Rau, Michaelis e Fay (2015) (item 15, quadro 3) revelaram que alunos com baixo conhecimento prévio tendem a apenas descrever diferenças e fazerem menos inferências sobre conceitos relevantes, o que mostra que aprender como diferentes representações se complementam pode ser particularmente importante em química.

Também foi indicado na pesquisa de Richter e Scheiter (2019) (item 16, quadro 3) que sinais multimídia de integração texto-imagem, como código de cores e referências dêiticas, ajudaram a aprendizagem apenas de alunos com baixo conhecimento prévio, enquanto não foram observados efeitos em alunos com alto conhecimento prévio.

Os resultados de Scheiter e Eitel (2015) (itens 17.a e 17.b, quadro 3) sugerem que a sinalização em materiais auxilia no aprendizado, destacando correspondências específicas entre texto-diagrama, e leva a um melhor desempenho em questões de integração das duas formas de representação. Os achados de Boucheix e Lowe (2010) (item 1, quadro 3) mostraram que a nova técnica investigada de traço de sinalização por espalhamento de cor ('spreading-colour cue') resultou em melhor direcionamento da atenção para aspectos tematicamente relevantes e em maiores escores de compreensão do que na condição de sinalização com flechas ou sem sinalização, também apontando para benefícios da sinalização em materiais instrucionais de forma geral.

Apesar da maioria dos estudos que não analisaram a variável 'cor' isoladamente, terem encontrado vantagens no uso de representações ou sinalizações que incluíam cores de alguma forma (itens 1, 2, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17.a e 17.b, quadro 3), alguns estudos (itens 5, 6 e 18, quadro 3) não encontraram diferenças em relação aos materiais com e sem sinalizações. O estudo de Lin et al. (2017) (item 5, quadro 3), por exemplo, comparou ilustrações com detalhes realísticos e em cores com ilustrações simplificadas e em preto e branco, e ambas foram igualmente eficazes em termos de resultados de aprendizagem, porém os autores indicam que seus resultados se referem a ilustrações com cores e com detalhes realísticos usados simultaneamente, e essas variáveis deveriam ser analisadas de forma individual em trabalhos futuros. Scheiter e Eitel (2015) (itens 17.a e 17.b, quadro 3) também apontam em suas direções futuras que são necessários mais estudos que investiguem a eficácia de cada técnica de sinalização individualmente, como o código de cores.

Considerações finais

Este trabalho apresentou características gerais das pesquisas sobre o uso das cores junto a utilização de rastreamento ocular, no contexto educacional em Ciências e Matemática, realizadas nos últimos 15 anos. Foram exploradas áreas do conhecimento, plataformas de publicação, formato pictórico e recursos pedagógicos usados com mais frequência nos estudos selecionados, além de características dos participantes e principais resultados encontrados relacionados ao uso das cores.

Verificou-se que o periódico *Learning and Instruction* foi o mais prevalente, provavelmente por seu escopo de publicação se encontrar dentro dos critérios dessa pesquisa e, sobretudo, por ser voltado especificamente aos processos de aprendizagem.

A maioria dos estudos concentram-se no Ensino Superior, sendo que dentre os da Educação Básica encontrados, a maioria está no segmento do Ensino Fundamental, levantando uma importante lacuna na escassez de estudos na Educação Básica, sobretudo no Ensino Médio (apenas 1 foi encontrado) e na Educação Infantil (nenhum estudo).

Quanto ao conhecimento prévio dos alunos, esse deve ser considerado, pois, além de interferir na qualidade da aprendizagem, também aponta para diferenças na atenção e na busca visual, considerando-se o maior ou menor conhecimento prévio no assunto. Logo, os efeitos da utilização de cores em materiais instrucionais podem não ser os mesmos para estudantes com alto e baixo conhecimento prévio. Resultados positivos do uso de materiais coloridos para a aprendizagem foram observados não apenas, mas especialmente para estudantes com baixo conhecimento prévio do assunto específico.

A área do conhecimento com mais estudos sobre o tema pesquisado foi a Biologia, porém, apesar da maioria dos estudos que utilizaram rastreamento ocular e analisaram o papel da cor no material de forma individual terem mostrado benefícios para a aprendizagem com o uso do material colorido, ainda existem poucas pesquisas nesse ramo; em especial, áreas como a Química, em que é frequente o uso de diferentes representações visuais, poderiam se beneficiar com mais pesquisas com rastreamento ocular sobre o efeito e o uso adequado das cores no material.

No que se refere a problemas de aprendizagem, concluímos que, ainda que existam vários estudos que utilizaram rastreamento ocular com participantes com TEA no contexto educacional, não foi o caso de nenhum dos artigos selecionados nesta revisão, e apenas um estudo foi realizado com estudantes com problemas de aprendizagem, o que indica uma falta de pesquisas que analisem o uso das cores com participantes com neurodesenvolvimento atípico.

No que se refere a forma de utilização das cores no material, as formas mais recorrentes foram a comparação de materiais com e sem código de cores, e de figuras em cores e em preto e branco. No entanto, como a maioria dos estudos não analisou a variável 'cor' isoladamente, todas as categorias individualmente tiveram poucos estudos com resultados diretamente relacionados às cores, apontando para a necessidade de mais investigações sobre as contribuições individuais das cores em cada um dos diferentes formatos no material. Além disso, nenhum dos estudos selecionados nesta revisão comparou as cores entre si, a fim de se identificar, com o uso de rastreamento ocular, quais cores chamam mais a atenção visual do que outras quando usadas em materiais instrucionais, sendo esta outra possível lacuna que poderia ser abordada em trabalhos futuros.

Figuras com texto predominam como recurso pedagógico utilizado, assim como o formato pictórico estático. Vale ressaltar que formas de sinalização que funcionam para representações estáticas podem não ser as mesmas que funcionam para representações dinâmicas, sendo necessárias mais investigações com recursos pedagógicos dinâmicos (como animações) e formas de sinalização adaptadas para o formato dinâmico.

Quanto aos principais resultados, a maioria dos estudos que analisou a variável 'cor', isoladamente, encontrou resultados positivos na aprendizagem associados ao uso das cores em materiais instrucionais. Entre esses resultados estão a maior eficiência na busca visual por áreas de interesse, a redução na carga cognitiva, o favorecimento do processamento e integração de diferentes formas de representação e o melhor desempenho em testes de retenção e transferência. Em relação aos estudos que não analisarem a variável 'cor' isoladamente, apesar de terem diferentes focos principais de pesquisa, a maioria encontrou vantagens no uso de representações ou sinalizações que incluíam cores de alguma forma, e três estudos relataram que não houve diferenças.

Finalmente, por permitir medidas quantitativas e ser um método não-invasivo, o uso de rastreamento ocular tem grande potencial para obter informações sobre o comportamento visual e poderia ser mais utilizado para avaliar variáveis como as cores, de forma individual, em materiais instrucionais. Na maior parte dos estudos selecionados nesta revisão, a cor não foi diferenciada de outras variáveis, não permitindo, portanto, que os resultados fossem atribuídos a ela de forma específica. Mesmo os estudos que analisaram a variável 'cor' isoladamente, e encontraram vantagens em seu uso, não observamos muitos outros estudos confirmando ou refutando seus resultados. Dessa forma, mais pesquisas deveriam analisar diferentes formas de uso das cores, como o código de cores, contraste de cores e comparação de figuras coloridas com figuras em preto e branco, junto ao uso de rastreamento ocular no contexto educacional, e suas contribuições individuais no processo de aprendizagem.

Referências

ALEMDAG, Ecenaz; CAGILTAY, Kursat. A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. **Computers & Education**, v. 125, p. 413-428, 2018.

ALMEIDA, Rosiney Rocha et al. Avaliação de objetos de aprendizagem sobre o sistema digestório com base nos princípios da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 20, n. 4, p. 1003-1017, 2014.

BOUCHEIX, Jean-Michel; LOWE, Richard K. An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. **Learning and instruction**, v. 20, n. 2, p. 123-135, 2010.

COOK, Michelle; WIEBE, Eric N.; CARTER, Glenda. The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. **Science Education**, v. 92, n. 5, p. 848-867, 2008.

COOK, Michelle Patrick. Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. **Science Education**, v. 90, n. 6, p. 1073-1091, 2006.

- DE KONING, Björn B. et al. Towards a framework for attention cueing in instructional animations: Guidelines for research and design. **Educational Psychology Review**, v. 21, n. 2, p. 113-140, 2009.
- FALCK-YTTER, Terje; BÖLTE, Sven; GREDEBÄCK, Gustaf. Eye tracking in early autism research. **Journal of neurodevelopmental disorders**, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2013.
- FOLKER, Sonja; RITTER, Helge; SICHELSCHEIDT, Lorenz. Processing and integrating multimodal material—the influence of color-coding. **Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society**. 2005.
- GIL PÉREZ, D. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. **Enseñanza de las ciencias**, v. 12, n. 2, p. 154-164, 1994.
- GLIGA, Teodora et al. Gaze following, gaze reading, and word learning in children at risk for autism. **Child development**, v. 83, n. 3, p. 926-938, 2012.
- HASSAN MONTERO, Yusef; HERRERO SOLANA, Víctor. Eye-tracking en interacción persona-ordenador. **No solo usabilidad**, n. 6, 2007.
- HINZE, Scott R. et al. Beyond ball-and-stick: Students' processing of novel STEM visualizations. **Learning and instruction**, v. 26, p. 12-21, 2013.
- HWANG, Alex D.; HIGGINS, Emily C.; POMPLUN, Marc. How chromaticity guides visual search in real-world scenes. **Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society**. 2007.
- KALYUGA, Slava; CHANDLER, Paul; SWELLER, John. Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. **Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition**, v. 13, n. 4, p. 351-371, 1999.
- KALYUGA, Slava. Prior knowledge principle in multimedia learning. **The Cambridge handbook of multimedia learning**, p. 325-337, 2005.
- LAI, Meng-Lung et al. A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. **Educational research review**, v. 10, p. 90-115, 2013.
- LIN, Yu Ying et al. Effects of detailed illustrations on science learning: an eye-tracking study. **Instructional science**, v. 45, n. 5, p. 557-581, 2017.
- LOWE, Richard; BOUCHEIX, Jean-Michel. Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes? **Learning and Instruction**, v. 21, n. 5, p. 650-663, 2011.
- MAJOONI, Azam; MASOOD, Mona; AKHAVAN, Amir. Scientific visualizations based on integrated model of text and picture comprehension via eye-tracking. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 176, p. 52-59, 2015.
- MARTÍNEZ, Óscar Navarro; DÍAZ, Ana Isabel Molina; ALCOCER, Miguel Lacruz. Evaluación del color en materiales multimedia. Una experiencia con eye tracking. **EduTec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa**, n. 54, p. a317-a317, 2015.
- MAYER, R. E. Multimedia principle. R. Mayer (Red.), **Multimedia learning**, p. 223-241, 2009.
- MAYER, Richard E. Multimedia learning. In: **Psychology of learning and motivation**. Academic Press, 2002. p. 85-139.

NAVARRO, Oscar et al. Evaluation of multimedia educational materials using eye tracking. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 197, p. 2236-2243, 2015.

NAVARRO, Óscar et al. Utilización de técnicas de seguimiento ocular (eye tracking) en alumnos con problemas de aprendizaje. **Respuestas flexibles en contextos educativos diversos**, 2012.

OZCELIK, Erol; ARSLAN-ARI, Ismahan; CAGILTAY, Kursat. Why does signaling enhance multimedia learning? Evidence from eye movements. **Computers in human behavior**, v. 26, n. 1, p. 110-117, 2010.

OZCELIK, Erol et al. An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning. **Computers & Education**, v. 53, n. 2, p. 445-453, 2009.

PANDE, Prajakt; CHANDRASEKHARAN, Sanjay. Representational competence: towards a distributed and embodied cognition account. **Studies in Science Education**, v. 53, n. 1, p. 1-43, 2017.

PAPAGIANNIPOULOU, Eleni A. et al. A systematic review and meta-analysis of eye-tracking studies in children with autism spectrum disorders. **Social neuroscience**, v. 9, n. 6, p. 610-632, 2014.

PATRICK, Michelle D.; CARTER, Glenda; WIEBE, Eric N. Visual representations of DNA replication: Middle grades students' perceptions and interpretations. **Journal of Science Education and Technology**, v. 14, n. 3, p. 353-365, 2005.

PONCE, Hector R.; MAYER, Richard E. An eye movement analysis of highlighting and graphic organizer study aids for learning from expository text. **Computers in human behavior**, v. 41, p. 21-32, 2014.

RAU, Martina A.; MICHAELIS, Joseph E.; FAY, Natalie. Connection making between multiple graphical representations: A multi-methods approach for domain-specific grounding of an intelligent tutoring system for chemistry. **Computers & Education**, v. 82, p. 460-485, 2015.

RICHTER, Juliane; SCHEITER, Katharina; EITEL, Alexander. Signaling text-picture relations in multimedia learning: A comprehensive meta-analysis. **Educational Research Review**, v. 17, p. 19-36, 2016.

RICHTER, Juliane; SCHEITER, Katharina. Studying the expertise reversal of the multimedia signaling effect at a process level: evidence from eye tracking. **Instructional Science**, v. 47, n. 6, p. 627-658, 2019.

SALEMA, Vitor; RODRIGUEZ, Carla; SATO, Joao. Eye-tracking aplicado a recursos pedagógicos visuais e multimídia: um mapeamento sistemático. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. 2019. p. 1780.

SCHEITER, Katharina; EITEL, Alexander. Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements. **Learning and Instruction**, v. 36, p. 11-26, 2015.

SCHEITER, Katharina et al. Adaptive multimedia: Using gaze-contingent instructional guidance to provide personalized processing support. **Computers & Education**, v. 139, p. 31-47, 2019.

SCHNEIDER, Sascha et al. A meta-analysis of how signaling affects learning with media. **Educational Research Review**, v. 23, p. 1-24, 2018.

SONMEZ, Duygu; ALTUN, Arif; MAZMAN, Sacide Guzin. How Prior Knowledge and Colour Contrast Interfere Visual Search Processes in Novice Learners: An Eye Tracking Study. **International Association for Development of the Information Society**, 2012.

SOUSA, Thiago Wesley de Almeida; QUEIRÓS, Wellington Pereira de. Panorama das pesquisas sobre a análise de recursos didáticos no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência (ENPEC). **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 15, n. 34, p. 165-177, 2019.

TREISMAN, Anne M.; GELADE, Garry. A feature-integration theory of attention. **Cognitive psychology**, v. 12, n. 1, p. 97-136, 1980.

VAN GOG, Tamara; SCHEITER, Katharina. Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning. **Learning and Instruction**, v. 2, n. 20, p. 95-99, 2010.