

A Pesquisa no Campo da Criatividade em Matemática: rumos e perspectivas no cenário internacional

Cleyton Hércules Gontijo ^a

Mateus Gianni Fonseca ^b

Alexandre Tolentino de Carvalho ^c

Wesley Well Vicente Bezerra ^d

^a Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Educação, Departamento de Matemática, Brasília, DF, Brasil

^b Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília (IFB), Brasília, DF, Brasil

^c Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal (SEEDF), Brasília, DF, Brasil

^d Universidade de Brasília (UnB), Faculdade UnB Planaltina, Brasília, DF, Brasil

Recebido para publicação 3 jun. 2022. Aceito após revisão 12 jan. 2023

Editor designado: Claudia Lisete Oliveira Groenwald

RESUMO

Contexto: O campo de estudos sobre criatividade em matemática é relativamente novo no Brasil. Os primeiros registros de pesquisa empírica nesta seara são da primeira década deste século. Como forma de contribuição para a consolidação desse campo, apresentamos um panorama da pesquisa em criatividade em matemática no cenário internacional a partir das produções publicadas nos anais das conferências do International Group for Mathematical Creativity and Giftedness. **Objetivos:** Que elementos têm prevalecido na conceituação de criatividade em matemática? Qual o foco das questões de pesquisa e/ou objetivos das investigações? Que métodos/metodologias foram empregados nas pesquisas? **Design:** Mapeamento de pesquisas, com informações extraídas a partir de formulário estruturado pelos pesquisadores. **Ambiente e participantes:** Anais do International Group for Mathematical Creativity and Giftedness, edições de 2014, 2015, 2017 e 2019. **Coleta e análise de dados:** Foram selecionados relatos de experiência e trabalhos completos que tinham como objetivo a investigação em criatividade em matemática. **Resultados:** Identificou-se diferentes conceituações para criatividade em matemática, que variaram de acordo com o foco das pesquisas, ora enfatizando a pessoa criativa, ora enfatizando o processo criativo em matemática. A maioria dos estudos foi desenvolvida com estudantes de ensino fundamental e ensino médio. Também foram identificados diferentes métodos/metodologias de pesquisa, com predominância de abordagens qualitativas. **Conclusões:** A análise realizada permite destacar a necessidade de atenção a novos estudos, em especial, no que se relaciona a estudos correlacionais e estudos longitudinais.

Autor correspondente: Cleyton Hércules Gontijo. Email: cleyton@mat.unb.br

Palavras-chave: Criatividade em matemática; Pensamento criativo em matemática; Processo criativo em matemática.

Research in the Field of Creativity in Mathematics: Directions and Perspectives on the International Scene

ABSTRACT

Background: The field of studies on mathematical creativity is relatively new in Brazil. The first records of empirical research in this field are from the first decade of this century. As a way of contributing to the consolidation of this field, we present an overview of research on mathematical creativity on the international scenario, based on the productions published in the conference proceedings of the International Group for Mathematical Creativity and Giftedness. **Objectives:** The article seeks to answer the following questions: What elements have prevailed in the conceptualization of mathematical creativity? What is the focus of research questions and / or research objectives? What methods / methodologies were used in the research? **Design:** Research mapping, with information extracted from a form structured by the researchers. **Settings and participants:** Were analyzed the works published in the proceedings of the last 4 conferences promoted by The International Group for Mathematical Creativity and Giftedness, held in 2014, 2015, 2017 and 2019. **Data collection and analysis:** Were selected 35 papers that met the following criteria: to be a research report, to be characterized as a complete work and to have as object of investigation the mathematical creativity at different levels of teaching and/or in teacher training. **Results:** Different concepts for creativity in mathematics were identified, which vary according to the focus of the research, sometimes emphasizing the creative person, sometimes emphasizing the creative process in mathematics. Most of the studies were developed with elementary and high school students. Different research methods/methodologies were also identified, with a predominance of qualitative approaches. **Conclusions:** The analysis carried out allows us to highlight the need for attention to new studies, especially in relation to correlational studies and longitudinal studies.

Keywords: Mathematical creativity; Creative thinking in mathematics; Creative process in mathematics.

INTRODUÇÃO

A criatividade é uma das capacidades humanas que tem recebido grande destaque nos últimos tempos, sendo valorizada nos mais diversos espaços. O termo “criatividade” tem sido usado em abundância para se referir à busca por soluções tanto de problemas em escala global, quanto para problemas presentes nas esferas locais (Sriraman, 2019).

Um exemplo das sinalizações que o mundo contemporâneo apresenta acerca da necessidade do desenvolvimento de novas competências pode ser encontrado no relatório do Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum, 2018), que apontou a criatividade, a originalidade e a iniciativa como o grupo de habilidades que ocupa a terceira posição em ordem de importância que será requisitado dos trabalhadores em 2022. Algumas empresas de consultoria no ramo de gestão de pessoas, como o Instituto McKinsey, têm destacado que, dentre as competências mais requisitadas pelos empregadores, a criatividade foi a que mais cresceu no período entre 2004 e 2019 (Vincent-Lancrin et al., 2020).

No campo educacional, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE publicou em 2019 o estudo *Fostering students' creativity and critical thinking: What it means in school, educational research and innovation*. O documento destaca que nos tempos atuais o pensamento crítico e criativo se torna necessário por diversas razões, entre elas, para contribuir para o bem-estar dos indivíduos e para o bom funcionamento das sociedades democráticas (Vincent-Lancrin et al., 2020). Além disso, na atualidade, há um reconhecimento por parte dos pesquisadores e formuladores de políticas educacionais que existe um vínculo entre criatividade e prosperidade econômica e cultural (Beghetto, 2010).

A despeito da importância dada ao tema nos últimos anos, as pesquisas sobre criatividade vêm sendo realizadas há muito tempo. Ganham impulso na década de 1950, após o discurso de Joy Paul Guilford na abertura do encontro anual da Associação Americana de Psicologia, quando destacou a importância de promover o desenvolvimento criativo das crianças, a fim de prepará-las para um futuro em mudança, especialmente para enfrentarem os desafios do contexto da guerra fria e da corrida espacial que marcaram aquela época (Beghetto, 2010). No entanto, conforme aponta Sriraman (2005, 2019), muitos professores ainda consideram que estimular a criatividade é uma tarefa do campo da educação de estudantes com altas habilidades/superdotação e que isso está distante dos currículos comuns da sala de aula.

Um dos problemas enfrentados no campo da pesquisa em criatividade refere-se à falta de consenso acerca do que é esse constructo (Christou, 2017; Assmus & Fritzljar, 2017; Carvalho & Gontijo, 2017). No entanto, uma definição que abrange grande parte do pensamento atual no campo da criatividade a considera como a interação entre aptidão, processo e ambiente pela qual um indivíduo ou grupo produz algo que é considerado inovador e útil dentro de um determinado contexto social (Plucker, Beghetto & Dow, 2004).

Ressalta-se que subjacente a quase todas as definições de criatividade, está a noção de que um produto criativo é novo e tem algum tipo de valor (Lubart & Georgsdottir, 2004; Lubart & Guignard, 2004). A maioria dos pesquisadores também reconhece que a realização criativa requer uma combinação de habilidades cognitivas (capacidade de identificar e resolver problemas, manifestando fluência, flexibilidade, originalidade e elaboração de pensamento), características de personalidade (alta autoeficácia criativa ou crença em sua capacidade de gerar ideias novas e significativas; motivação, disposição para correr riscos intelectuais etc.) e fatores ambientais (suporte externo ou aceitação de novas ideias, produtos ou maneiras de fazer as coisas) (Sternberg, 2006; Torrance, 1977).

Uma questão de debate no campo da criatividade é a especificidade do domínio, isto é, da área na qual as ideias e produtos criativos são desenvolvidos. Resultados criativos (produtos, performances e ideias) geralmente exibem especificidade de domínio dependente do conjunto de conhecimentos e habilidades exclusivos do campo em que uma solução criativa é gerada. A criatividade em si é uma produção específica dentro de um domínio, resultante de processos específicos desse domínio e de avaliações de especialistas específicos desse domínio (Baer, 1998; Han & Marvin, 2002).

Neste artigo, discutiremos a criatividade no domínio da matemática, com ênfase nos rumos e perspectivas da pesquisa nessa área no cenário internacional. Ressalta-se que na literatura sobre criatividade em matemática também não há uma definição consensual acerca do que a constitui (Mann, 2006; Pitta-Pantazi, Sophocleous & Christou, 2013; Carvalho & Gontijo, 2017). Ao contrário, são inúmeras as formas de conceituar esse fenômeno, chegando a mais de cem maneiras de conceituá-lo (Mann, 2006; Savic et al., 2017).

Considerando o campo da criatividade em matemática, desenvolvemos um estudo do tipo mapeamento de pesquisas (Fiorentini et al., 2016) tomando como base as que foram publicadas nos anais dos eventos promovidos pelo International Group for Mathematical Creativity and Giftedness - IGMCG. Para esse artigo, foram analisados os trabalhos presentes nos anais dos 4 últimos eventos, realizados nos anos de 2014, 2015, 2017 e 2019. Não foram considerados os eventos anteriores, pois, os respectivos anais não estão disponíveis para consulta no sítio do IGMCG na internet. A história desse grupo começou em 1999, quando Hartwig Meissner organizou uma Conferência Internacional sobre Criatividade e Educação Matemática em Muenster, Alemanha. Já foram realizadas 11 conferências internacionais por esse grupo, incluindo a conferência de sua criação.

As questões que motivaram a pesquisa foram:

1. Que elementos têm prevalecido na conceituação de criatividade em matemática nos trabalhos analisados?
2. Qual o foco das questões de pesquisa e/ou objetivos das investigações?
3. Que métodos/metodologias foram empregados nas pesquisas?

CRIATIVIDADE EM MATEMÁTICA

Embora seja um tema recorrente em diversos documentos oficiais que fazem referência à educação, bem como o número de estudos e pesquisas esteja em ascensão a cada ano, ainda não há uma conceituação única para criatividade em matemática. Isso pode ser evidenciado a partir das diferentes conceituações que vem sendo elaboradas ao longo do tempo por diferentes pesquisadores, entre eles Laycock (1970), Krutetskii (1976), Haylock (1987), Ervynck (1991), Lee, Hwang & Seo (2003), Mann (2005) e Sriraman (2005), Livne e Milgran (2000, 2006), Gontijo (2007), Kattou et al. (2013) e Lev-Zamir e Leikin (2013).

A criatividade em matemática, para Laycock (1970), se caracteriza como a habilidade para, a partir de variadas perspectivas, analisar problemas e empreender diferentes respostas. Consideramos que Ervynck (1991) complementa essa definição ao dizer que a criatividade em matemática se desenvolve a partir da combinação entre o conhecido e o desconhecido e que ela não se desenvolve de forma arbitrária e desconectada com a realidade/conhecimento do indivíduo.

O pensamento criativo foi associado como parte integrante do fazer matemática por Aiken (1973), uma vez que este último conduz à geração e combinação de ideias, abordagens inovadoras em busca de solucionar problemas. Argumento similar foi apresentado por Leikin e Pantazi (2013) ao tratar do que chamam de criatividade relativa. As autoras consideram que o estudante precisa atuar como um matemático profissional, “relativamente” à etapa escolar em que se encontra e às aprendizagens/conhecimentos construídos, de modo a se engajar em oportunidades de pesquisa, estudo e discussão acerca de objetos matemáticos diversos, com tempo disponível para o amadurecimento das ideias, ainda que de forma inconsciente, ou seja, tempo para a incubação (Wallas, 1926). Uma das dificuldades para fomentar a criatividade em matemática em sala de aula é o pouco tempo destinado para o desenvolvimento e aprimoramento das ideias.

Na elaboração conceitual de criatividade em matemática, Haylock (1987) destacou dois aspectos: (a) a necessidade de conhecimento na área; e (b) a flexibilidade de pensamento. Sem conhecimento matemático consistente é pouco provável que se consiga construir ideias diferenciadas para a resolução de problemas e é o amplo conhecimento que permite um pensamento versátil, que possa produzir múltiplas e variadas ideias matemáticas.

Ao longo da história, outras conceitualizações foram propostas e ainda que tenham alguns elementos distintos, possuem certa convergência em seus núcleos, em suas essências. Um exemplo de conceito que abarcou aspectos tratados isoladamente por outros pesquisadores foi o apresentado por Gontijo (2007, p. 37), quem propôs o entendimento por criatividade em matemática como

a capacidade de apresentar diversas possibilidades de soluções apropriadas para uma situação-problema, de modo que estas focalizem aspectos distintos do problema e/ou formas diferenciadas de solucioná-lo, especialmente formas incomuns. Esta capacidade pode ser empregada tanto em situações que requeiram a resolução e elaboração de problemas como em situações que solicitem a classificação ou organização de objetos e/ou elementos matemáticos em função de suas propriedades e atributos, seja textualmente, numericamente, graficamente ou na forma de uma sequência de ações.

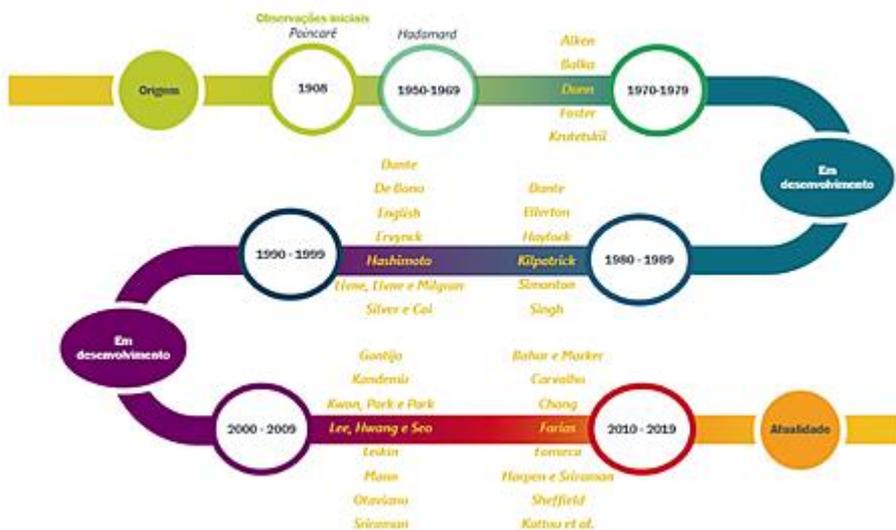
Ressalta-se que, sendo a criatividade em matemática um tipo específico de criatividade (Sak et al., 2017), mas que guarda similaridades com as descrições de outras teorias psicológicas sobre a criatividade em contexto geral, destacamos que ela também deve apresentar fluência, flexibilidade e originalidade de pensamento, que são características do pensamento criativo e que podem ser identificadas em produções nas diversas áreas do conhecimento. Em relação a essas características, Gontijo (2007, p. 37), diz que a produção criativa em matemática se constitui:

pela abundância ou quantidade de ideias diferentes produzidas sobre um mesmo assunto (fluência), pela capacidade de alterar o pensamento ou conceber diferentes categorias de respostas (flexibilidade), por apresentar respostas infrequentes ou incomuns (originalidade) e por apresentar grande quantidade de detalhes em uma ideia (elaboração).

Considerando os esforços de pesquisadores na produção teoria e empírica sobre criatividade em matemática, diversos trabalhos foram produzidos ao longo do tempo, com destaque para os anos a partir de 1950. A ilustração a seguir busca apresentar uma cronologia com alguns desses trabalhos.

Figura 1

Uma cronologia das pesquisas sobre criatividade em matemática (Gontijo et al., 2021, p.12)



Assim, dados os múltiplos conceitos e relevância que tem sido enxergada por pesquisadores e instituições, a criatividade em matemática tem alcançado espaço próprio de discussão, como o International Congress on Mathematical Education (ICME), o qual se prepara para a realização de sua 15ª edição a ser realizada em 2024; o Psychology of Mathematics Education (PME) que corre para sua 45ª edição em 2022; e o International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness (MCG), cuja 12ª edição será realizada em 2022.

Destaca-se que enquanto os dois primeiros possuem grupos de discussão que envolvem a matemática e a criatividade, o MCG é um evento

focado à temática criatividade e altas habilidades em matemática, razão pela qual o número de trabalhos específicos se avoluma expressivamente, vindos de diferentes países.

METODOLOGIA

O presente trabalho se caracteriza como um mapeamento de pesquisas, que segundo Fiorentini et al. (2016, p. 18), é

um processo sistemático de levantamento e descrição de informações acerca das pesquisas produzidas sobre um campo específico de estudo, abrangendo um determinado espaço (lugar) e período de tempo. Essas informações dizem respeito aos aspectos físicos dessa produção (descrevendo onde, quando e quantos estudos foram produzidos ao longo do período e quem foram os autores e participantes dessa produção), bem como aos seus aspectos teórico-metodológicos e temáticos.

Para fazer o mapeamento, foi necessário estabelecer critérios claros que determinassem se a produção científica encontrada iria compor ou não o bojo de textos a serem analisados. Esse processo teve inspiração no trabalho de Heitink et al. (2016), que resultou na construção de um formulário eletrônico para favorecer a extração das informações que seriam analisadas.

A opção pelo uso de formulários eletrônicos foi devida à facilidade de armazenamento, acesso (portabilidade) e interação entre os autores. A escolha recaiu pelo uso do Google Forms, devido a interface amigável, facilidade de uso, poder ser editável por vários usuários independentemente de permissão, diversidade de ferramentas, ser gratuito, multiplataforma, dinâmico e interativo.

Para a seleção dos trabalhos a serem analisados, tomou-se como critério de inclusão: ser relato de pesquisa, ser caracterizado como trabalho completo e ter como objeto de investigação a criatividade em matemática em diferentes níveis de ensino e na formação de professores. Tendo em vista o foco dos eventos, optou-se por excluir os trabalhos sobre criatividade em matemática desenvolvidos no campo das altas habilidades/superdotação. Tal escolha deve-se ao interesse em analisar produções cujos resultados se refiram a contextos educacionais mais amplos e possíveis de serem aplicados/adaptados para a maioria dos estudantes.

Foram analisados 35 trabalhos, sendo 03 publicados nos anais do evento de 2014, 10 nos anais do evento de 2015, 10 nos anais de 2017 e 12 nos anais de 2019. Observamos um crescimento no número de pesquisas a cada edição do evento, relevando o aumento do interesse pela temática. Observamos que os trabalhos tiveram origem em 15 países, cujas ocorrências estão informadas junto aos locais de origem: EUA (8), Alemanha (5), Brasil (4), Canadá (2), Chipre (2), Grécia (2), Israel (2), Romênia (2), Turquia (2), Holanda (1), Índia (1), República Tcheca (1), Sérvia (1), Suécia (1) e um artigo sem origem identificada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos tópicos a seguir, apresenta-se resultados obtidos da análise dos textos consultados para, em seguida, proceder à discussão dos achados a respeito do constructo estudado. Os resultados foram estruturados de modo a responder às questões de pesquisa motivadoras do presente estudo. Por esse motivo, inicialmente, apresenta-se os elementos caracterizadores da criatividade em matemática, sendo abordadas definições do constructo como o foco dado aos estudos. No tópico seguinte, exibe-se as questões de pesquisa e/ou objetivos que foram investigados nas pesquisas encontradas. O terceiro tópico dessa seção permite evidenciar os métodos/metodologias empregados nos estudos analisados.

A análise dos trabalhos revelou uma diversidade de modos de compreender o fenômeno da criatividade em matemática, decorrente das escolhas metodológicas que orientam as pesquisas, o que nos permite categorizar os conceitos apresentados conforme as direções que os pesquisadores tomaram ao se empreender na sua investigação. No entanto, nem sempre foi possível identificar uma definição explícita ou implicitamente referida pelos autores.

As análises nos levaram a concluir que 10 trabalhos (cerca de 29%) não apresentaram uma definição sobre criatividade em matemática, seja por opção, negligência ou por aplicar uma definição de criatividade enquanto domínio geral para o campo específico da matemática.

Para um campo de pesquisa como esse, ao mesmo tempo relativamente novo (Carvalho, 2019) e caracterizado pela multiplicidade de conceitos (Emre-Akdoğan; Yazgan-Sağ, 2015), consideramos importante que seja enunciado aquilo que se está compreendendo pelo termo criatividade em matemática. Torna-se necessário evidenciar a perspectiva sobre a qual se analisa o fenômeno

para que o delineamento da pesquisa possa compor um todo coerente e claro para quem busca informações na literatura da área.

As demais pesquisas (71%) têm no corpo de seus textos definições que lançam luzes a respeito das concepções que delinham seus estudos, apresentando explícita ou implicitamente um conceito sobre criatividade em matemática. Categorizamos esses conceitos, conforme o foco da pesquisa, observando se elas tinham como foco o processo criativo ou produto criativo, ou ambos. O produto criativo faz referência à produção dos estudantes e/ou professores, materializadas em protocolos de resolução de problemas ou na construção de objetos matemáticos e metodologias de ensino. O processo criativo está relacionado à forma como as produções matemáticas foram realizadas, observando as atitudes dos indivíduos, a sua motivação e as etapas que seguiram para concluir as suas tarefas. Algumas pesquisas buscaram analisar o produto associado ao processo.

Quanto ao foco: produto, processos ou em ambos

Os conceitos presentes nas pesquisas têm como foco o produto ou processo, podendo, em algumas delas, apresentar um conceito com esses dois focos. Nos próximos parágrafos descrevemos características dessas pesquisas e apresentamos algumas definições de criatividade em matemática.

Foco no produto

Foram encontradas 8 pesquisas com foco no produto (23% do total de textos). Eles têm em comum o fato de declarar, no conceito que utilizam, critérios com os quais avaliam a criatividade das respostas apresentadas por participantes das pesquisas às questões de cunho matemático. Esses critérios dizem respeito à fluência, flexibilidade e originalidade (ou novidade como tratam alguns) de pensamento.

Manuel (2014) diz que criatividade em matemática é definida pela fluência, flexibilidade e originalidade das soluções para um problema matemático. Assim, conceitua cada um desses critérios, definindo fluência como o número de respostas corretas ou problemas criados, flexibilidade como o número de estratégias apropriadas diferentes usadas para resolver um problema e originalidade como as respostas e estratégias corretas usadas com menos frequência no espaço de amostra.

Dentre as pesquisas com foco no produto, 5 utilizam esses critérios para avaliar criatividade em matemática. Porém, contrariando a tendência da área que em sua grande maioria utiliza somente os critérios de fluência, flexibilidade e originalidade, Shiakalli e Zacharos (2017) incluem em suas análises um quarto fator: a elaboração. Assim, definem esse fator como a habilidade de descrever, estender e desenvolver uma ideia. Por outro lado, Voica e Singer (2019) consideram apenas a flexibilidade como elemento conceitual para buscar estabelecer relações entre criatividade e elaboração de problemas. Para os autores, um aluno demonstra flexibilidade cognitiva quando gera novas propostas que se distanciam do problema inicial (novidade cognitiva), quando apresenta novos problemas diferentes a partir de um determinado contexto (ou seja, variedade cognitiva), e é capaz de mudar sua estrutura mental ao resolver problemas ou identificar / descobrir novos (ou seja, mudança na estrutura cognitiva).

Baseando-se nos trabalhos de Sririman (2005, 2009), os textos de Savic et al. (2014) e de Assmus e Fritzlar (2017) trataram a criatividade em matemática como a apresentação de soluções que sejam ao mesmo tempo novas (ou incomuns) e úteis para problemas que lhes são apresentados. Savic et al. (2014) adotam a definição apresentada por Sriraman (2005), que considera criatividade em matemática como: (a) o processo que resulta em soluções incomuns (novas) e/ou perspicazes para um determinado problema ou problemas análogos; e/ou (b) a formulação de novas questões e/ou possibilidades que permitem que um problema antigo seja considerado sob uma nova perspectiva que requer imaginação. Já Assmus e Fritzlar (2017) citam Sriraman (2009) para caracterizar a criatividade em matemática como a capacidade de se envolver em tomadas de decisões não algorítmicas ou de gerar soluções novas e úteis para problemas.

Foco no processo

A maioria dos estudos analisados (40%) tem como base conceitos com o foco no processo criativo. Foram 14 os textos que: a) descrevem os estágios em que o processo criativo em matemática ocorre, b) apontam recursos necessários para fomentar essa capacidade, c) abordam percepções tanto de alunos quanto de docentes sobre o que pode favorecer a criatividade no campo da matemática, d) elencam subprocessos em que se dá o pensamento criativo em matemática, e) elegem abordagens socioculturais para explicar o processo criativo que emerge das interações sociais.

Os trabalhos que propõem um conceito definindo criatividade em matemática como um processo composto por estágios têm como base teórica os contributos divulgados a quase cem anos por Graham Wallas, que propôs um modelo composto por 4 estágios para explicar a criatividade: preparação, incubação, iluminação (descrito por alguns como insight ou momento aha!) e verificação. Os estudos de Czarnocha e Baker (2015) e de Schindler e Lilienthal (2017) abordam esses estágios, embora foquem suas pesquisas somente no chamado momento aha! (iluminação). Czarnocha e Baker (2015) recorrem às contribuições de Koestler que traz o termo bissociação para distinguir as habilidades rotineiras de se pensar em um plano único e o ato criativo que sempre opera em planos múltiplos de pensamento. Assim, os autores compreendem que o ápice do ato criativo ocorre nos momentos espontâneos de insights, ou seja, que a ideia surge na mente do sujeito criativo como conexão de experiências rotineiras distintas que resultam em ideias e/ou produtos novos e úteis.

Interessa à Schindler e Lilienthal (2017) compreender como surgem ideias originais ou que levam ao insight (iluminação) quando alunos trabalham com os chamados teste de múltiplas soluções (Multiple-Solution Task - MST, no original em inglês), ou seja, atividades que levam os alunos a apresentar múltiplas soluções para problemas matemáticos. Portanto, os autores buscam analisar os momentos em que as ideias emergem durante o trabalho de produção de soluções pelos alunos.

Outro trabalho que buscou abordar os estágios em que o processo criativo ocorre foi apresentado por Kattou, Christou e Pitta-Pantazi (2015). Em sua fundamentação teórica, os autores, além de apresentar os estágios descritos por Wallas, abordam um modelo heurístico apresentado por Sheffield (2009), que indica que o processo criativo durante a resolução de problemas pode ocorrer por meio de 5 estágios não sequenciais: investigação, relacionamento, criação, avaliação e comunicação.

Três estudos se preocupam em compreender quais recursos e formas de fomentar a criatividade podem potencializar essa capacidade. É por meio da teoria do investimento de Sternberg e Lubart (1995) que Shen e Edwards (2014) definem o que compreendem por criatividade. Comprar barato e vender caro é a máxima que define essa teoria e a criatividade aqui é entendida como uma capacidade que, para se desenvolver, requer habilidades intelectuais, estilos de pensamento, personalidade, motivação, conhecimento e ambiente propício.

Beck (2015) toma criatividade em matemática como atividades individuais, matematicamente diferenciadas, produzidas por crianças em idade

de jardim de infância quando essas participam de jogos ou de situações de exploração. Por outro lado, Cilli-Turner et al. (2019) enxergam a criatividade em matemática como um processo de oferecer novas soluções ou ideias que são inesperadas em relação ao aluno que as produz, no que diz respeito à sua formação matemática ou aos problemas que já viu. Preocupados em como se desenvolve a criatividade em matemática, os autores centram seus olhares para o processo criativo do aluno, elencando alguns problemas e ações que podem fomentar essa capacidade: tarefas de múltiplas soluções (termo cunhado por Leikin em 2009), geração de exemplos pelos alunos, problemas abertos e criação de definições matemáticas novas.

Com um olhar semelhante ao anterior, duas pesquisas abordam percepções tanto de alunos quanto de docentes sobre o que pode favorecer a criatividade no campo da matemática. Enquanto Vela et al. (2019) definem como foco as crenças dos alunos a respeito de como atividades no campo da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática – STEM (sigla em inglês) podem desenvolver a criatividade, Zioga e Desli (2019) tomam como sujeitos da pesquisa os professores e suas percepções acerca da criatividade em matemática após passarem por um programa de formação. Ambas as pesquisas adotam uma definição de criatividade em matemática como a produção de uma forma nova para resolver um problema, mesmo que a novidade seja somente para o sujeito que a produziu e ainda que já seja conhecida por outras pessoas.

Há estudos que elencam subprocessos em que se dá a criatividade, como o texto de Pitta-Pantazi e Sophocleous (2017) que propõe a teoria do pensamento de ordem superior em matemática, uma combinação dos processos de pensamento básico, crítico, criativo e complexo. Referindo-se especificamente ao processo de pensamento criativo, as autoras salientam que esse vai além do que já é conhecido, da reorganização dos conhecimentos existentes e da geração de novos conhecimentos. O pensamento criativo inclui, conforme buscam nas orientações do Departamento de Educação de Iowa (de 1989), subprocessos como pensamento analógico e capacidades de resumir, hipotetizar, planejar, imaginar, sintetizar e elaborar. Outros estudos que analisam criatividade em matemática por meio de subprocessos enfatizam que esse é um processo que requer diversos modos de pensamento (Savic et al., 2017) e que envolve pensamento divergente e ações que permitam expandir possibilidades (Aljarrah & Towers, 2019).

Por fim, as contribuições que elegem abordagens socioculturais para explicar o processo criativo, buscam interpretar as influências das interações sociais para os processos criativos, mesmo que essas interações ocorram entre

diferentes povos e tempos. São trabalhos que enxergam a criatividade para além da dimensão individual e a compreendem como um processo social, coletivo. Assim, temos os estudos de Fritzlar, Kötters e Richter (2017), que recorrem à teoria do investimento de Sternberg e Lubart (1991, 1999) e à etnomatemática para compreender como aspectos culturais e contextos matemáticos (em lugares e tempos diversos) podem se relacionar com a criatividade em matemática, ou ainda, podem favorecer o desenvolvimento dessa capacidade. Sob outra perspectiva, Carvalho e Gontijo (2017) utilizam o termo criatividade compartilhada em matemática para definir como sujeitos em interação podem compartilhar conhecimentos e afetos na produção coletiva de ideias matemáticas.

Foco no produto e no processo

Alguns estudos têm compreendido que há maneiras de integrar mais de um foco, de modo que se compreenda a criatividade em matemática como um fenômeno que precisa de uma abordagem holística, buscando averiguar os diversos aspectos que podem ser observados no fenômeno e interrelacioná-los. Isso não significa que todos os estudos com essa multiplicidade de focos tenham, realmente, interrelacionado tais aspectos (processo e produto), mas sim que adotam um conceito sobre criatividade em matemática que apresentam elementos tanto relacionados à avaliação do produto criativo, quanto relativos à análise do processo em que se dá a criatividade nesse campo do conhecimento.

Identificamos 3 estudos com essas características, pertencentes a um mesmo grupo de autores. Nesse sentido, todos os estudos adotam a mesma definição de criatividade em matemática (Gontijo, 2007), considerando-a como a capacidade de apresentar várias soluções adequadas a um problema (fluência) de modo que estas incidam sobre diferentes aspectos do problema e/ou diferentes formas de o resolver (flexibilidade), especialmente formas inusitadas (originalidade). Esta capacidade pode ser empregada tanto em situações que requeiram resolução e elaboração do problema, como em situações que requeiram classificação ou organização de objetos e/ou elementos matemáticos de acordo com suas propriedades e atributos, em formato textual, numérico ou gráfico ou em uma sequência de ações.

Tal definição se constitui uma construção que envolve tanto aspectos relacionados à avaliação do produto criativo (fluência, flexibilidade e originalidade), quanto aspectos que remetem ao processo criativo (requer resolução e elaboração do problema, classificação ou organização de objetos

e/ou elementos matemáticos) e, ainda, à forma de manifestação do pensamento criativo (podendo ocorrer por meio de textos, números, gráficos ou em uma sequência de ações). Carvalho e Gontijo (2017) buscam analisar tanto os produtos (produção de conhecimento matemático) quanto o processo de compartilhamento criativo em matemática quando os alunos interagem em atividades matemáticas. Fonseca, Gontijo, Zanetti e Carvalho (2019) estudam como workshops de criatividade em matemática podem estimular o desenvolvimento da motivação em matemática de alunos. Já Gontijo, Fonseca e Zanetti (2019) buscam apresentar a validação de um workshop que objetiva desenvolver o pensamento crítico e criativo em matemática com professores.

Ao categorizar os conceitos do constructo aqui abordados quanto ao foco de análise, buscamos fornecer bases teóricas que permitem aos interessados no assunto, aos professores que se preocupam em avançar nos níveis de desenvolvimento do conhecimento de seus alunos e mesmo aos iniciantes nessa área, subsídios que os permitam saber o que se entende, nas diversas abordagens existentes, sobre criatividade em matemática.

Questões de pesquisa e/ou objetivos que foram investigados

Vinte e nove trabalhos considerados nessa investigação apresentaram explicitamente as suas questões e/ou objetivos de pesquisa, enquanto seis não apresentaram essas informações de forma explícita (Aljarrah & Towers, 2019, Assmus & Fritzlar, 2017; Fritzlar, Kötters & Richter, 2017; Schindler & Lilienthal, 2017; Shiakalli & Zacharos, 2017; Slezakova & Swoboda, 2015).

Entre os trabalhos que apresentaram explicitamente as suas questões e/ou objetivos de pesquisa, podemos verificar a ocorrência de 04 categorias: (a) desenvolvimento da criatividade em matemática dos estudantes; (b) criatividade em matemática no trabalho e formação continuada de professores; (c) pesquisas correlacionais envolvendo criatividade e; (d) pesquisas de natureza bibliográfica e/ou teórica no campo da criatividade em matemática.

Desenvolvimento da criatividade em matemática dos estudantes

As pesquisas com estudantes envolveram a testagem de atividades, oficinas ou programas de formação para estimular a criatividade em matemática em diferentes etapas de escolarização, desde a educação infantil até a educação superior. Além disso, algumas pesquisas utilizaram procedimentos

de avaliação do pensamento criativo em matemática com os estudantes, aplicando testes de natureza psicométrica.

Um grupo de trabalhos investigou habilidades criativas em matemática com estudantes em anos escolares compatíveis com o ensino fundamental brasileiro. Nesse grupo, estão os trabalhos de Beck (2015), Carvalho e Gontijo (2017), Carvalho, Gontijo e Fonseca (2019), Karadag, Martinovic e Birni (2015) Kattou, Christou e Pitta-Pantazi (2015), Mihajlović e Dejić (2015), Pitta-Pantazi e Sophocleous (2017). Prusak (2015), Schoevers e Kroesbergen (2017), Shen e Edwards (2014), Slezakova e Swoboda (2015).

O trabalho de Beck (2015) teve por objetivo analisar como atividades matematicamente criativas de crianças em idade pré-escolar podem ser identificadas e descritas. Prusak (2015) investigou a percepção de estudantes em relação à influência que enigmas (riddles) escritos têm em sua criatividade matemática. Ele também buscou analisar as percepções dos professores sobre esses enigmas, confrontando-as com as dos estudantes. No trabalho apresentado por Kattou, Christou e Pitta-Pantazi (2015), investigaram o processo seguido por estudantes durante a resolução de tarefas de criatividade matemática de solução múltipla, concluindo que esse processo pode ser descrito em cinco subprocessos não sequenciais: investigar, relacionar, criar, avaliar e comunicar e que este variou entre alunos com diferentes graus de criatividade matemática.

Sobre o trabalho de Carvalho e Gontijo (2017), o objetivo foi analisar o processo de imersão da criatividade em matemática em um grupo de alunos e apresentar uma estratégia de desenvolvimento da criatividade coletiva na qual todos possam contribuir de alguma forma, seja apresentando soluções para os problemas propostos ou melhorando ou julgando as soluções de seus pares no grupo. Em outro trabalho, Carvalho, Gontijo e Fonseca (2019), investigaram se a criatividade pode ser tratada como um fenômeno coletivo, se há diferenças entre o trabalho individual e coletivo na produção de ideias e, se assim for, qual é a natureza dessa diferença, além de investigar se as relações de poder entre os estudantes podem influenciar o trabalho criativo e coletivo nas salas de aula.

Já em Pitta-Pantazi e Sophocleous (2017), o estudo analisa o desempenho dos estudantes em tarefas que envolvem a combinação de conhecimento básico, pensamento crítico, pensamento criativo e processos de pensamento complexos. Os autores apresentam um modelo para validar a combinação desses elementos, que eles chamam de pensamento de ordem superior.

Também foram encontradas investigações conduzidas com estudantes em anos escolares compatíveis com o ensino médio brasileiro. São elas: Alexe et al. (2015), Fonseca et al. (2019), Lee et al. (2019) e Vela et al. (2019).

Alexe et al. (2015) relatam uma investigação na qual introduziram materiais manipuláveis nas aulas de matemática a fim de promover a criatividade e a percepção visual, bem como o pensamento matemático em um contexto geométrico. Fonseca et al. (2019), analisam o uso de oficinas de criatividade matemática como estratégia para estimular a motivação matemática junto a alunos de ensino médio e Lee et al. (2019) investigaram o desenvolvimento das concepções dos alunos sobre pensamento crítico e criativo em matemática por meio de atividades de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) num contexto de aprendizado baseado em projeto (PBL). Sobre o trabalho de Vela et al. (2019), analisaram como as crenças dos alunos sobre matemática, o interesse deles em aplicar a matemática e as suas crenças sobre criatividade nos campos de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) predizem o interesse dos alunos em aplicar a criatividade nessas áreas.

As investigações que envolveram estudantes universitários foram produzidas por Singer, Pelczer e Voica (2015) e Cilli-Turner et al. (2019). No artigo de Singer, Pelczer e Voica (2015), algumas questões apresentadas referem-se ao tipo de ferramentas que poderiam fornecer informações sobre a criatividade matemática de estudantes universitários em contextos de elaboração de problemas e como se poderia avaliar a criatividade neste caso. Cilli-Turner et al. (2019), desenvolveram um trabalho com o objetivo de responder como se promove essa criatividade matemática no nível superior.

Embora matemáticos e educadores matemáticos concordem que os alunos devem ser expostos à criatividade inerente à matemática, ainda há necessidade de mais pesquisas que mostrem como isso pode ser feito em matemática na educação superior. O pequeno número de pesquisas envolvendo este nível educacional aponta este campo com um profícuo espaço para novas investigações.

Criatividade em matemática no trabalho e na formação continuada de professores

Foram encontradas pesquisas que tiveram suas questões de investigação e/ou objetivos direcionados ao fenômeno da criatividade no trabalho docente ou na formação continuada de professores. Encontramos os

trabalhos de Emre-Akdoğan e Yazgan-sağ (2015, 2019), Savic et al. (2017), Schoevers e Kroesbergen (2017), Shen e Edwards (2014), Voica e Singer (2019) e Zioga e Desli (2019).

Emre-Akdoğan e Yazgan-sağ (2015, 2019), apresentaram trabalhos sob uma mesma perspectiva, de investigar a visão de professores sobre a criatividade no que diz respeito às características e às práticas de um professor criativo e características de um aluno criativo. Savic et al. (2017) também tiveram preocupação semelhante, buscaram investigar se as ações ou práticas docentes podem fomentar a percepção dos alunos sobre a criatividade matemática. As preocupações de Zioga e Desli (2019), também estavam voltadas para a análise das atividades que os professores desenvolvem em sala de aula e a relação destas com a criatividade em matemática. Além disso, investigaram se os tipos de atividades utilizadas, bem como as concepções desses professores, foram alterados após participação em um programa de formação sobre criatividade em matemática. O trabalho de Shen e Edwards (2014), mostra um modelo para explicar como os professores entendem a criatividade no aprendizado da matemática e como eles a promovem ou deixam de promovê-la na sala de aula.

Outros dois trabalhos analisaram efeitos de programas de formação continuada nas práticas docentes para a promoção da criatividade em matemática. Schoevers e Kroesbergen (2017) avaliaram os efeitos de uma sequência de ensino e de um programa de desenvolvimento profissional docente na prática de um grupo de professores e Voica e Singer (2019), analisaram produções de professores no contexto de um curso sobre resolução de problemas, verificando se transferiam elementos mais sutis de um problema, como indicações implícitas da resolução, ou se permanecem numa transferência analógica superficial e as implicações dessas transferências na produção criativa.

Criatividade em matemática em estudos correlacionais

As pesquisas envolvidas nesta categoria referem-se a estudos correlacionais entre criatividade em matemática e motivação, entre criatividade em matemática e desempenho acadêmico e entre criatividade em matemática e inteligência. Dois trabalhos apresentam essas características.

Em Kattou e Christou (2017), objetivo foi investigar se os constructos criatividade matemática e inteligência estão correlacionadas e examinar se essa correlação era diferenciada entre alunos com diferentes escores em testes de

inteligência. Especificamente, investigaram: a) se a inteligência e a criatividade matemática estão correlacionadas; e b) de que forma essa correlação é diferenciada entre estudantes que apresentam escores variados em testes de inteligência. O trabalho de Sophocleous e Pitta-Pantazi (2017) buscou investigar se existe correlação entre o desempenho em atividades que requerem o pensamento crítico em matemático e o desempenho em tarefas de elaboração de problemas e, se o pensamento crítico matemático é um preditor de fluência, flexibilidade e originalidade, características do pensamento criativo.

Criatividade em matemática em pesquisas de natureza bibliográfica e/ou ensaio teórico

Entre os trabalhos relacionados a esta categoria, apenas um foi classificado como estudo de revisão de literatura. Trata-se do trabalho de Joklitschke, Baumanns e Rott (2019), que investigou os tipos e a quantidade de artigos publicados em periódicos que tratavam da relação entre formulação de problemas matemáticos e criatividade matemática e como essa relação era conceitualizada. Os demais trabalhos apresentam características distintas, como descritas a seguir.

O trabalho de Manuel (2014) investiga os problemas matemáticos publicados na página da internet da Communauté d'Apprentissages Multidisciplinaires Interactifs - CAMI, avaliando a criatividade das soluções para os problemas apresentados e verificando o potencial destes problemas para estimular a criatividade em matemática. Savic et al. (2014) apresentam rubrica para avaliar a criatividade em matemática em problemas que solicitam prova (proving) - creativity-in-proof rubric (CPR). Karadag, Martinovic e Birni (2015) discutem as oportunidades que os Ambientes de Aprendizagem de Matemática Dinâmica e Interativa (DIMLE) e seus recursos podem proporcionar aos professores para fomentar a criatividade matemática dos alunos.

Com relação ao trabalho de Mihajlović e Dejić, (2015), o objetivo foi apontar a importância do uso de problemas abertos e atividades de representação de problemas em sala de aula de matemática elementar, além disso, o artigo traz a aplicação de exemplos concretos com breve reflexão sobre seus papéis e benefícios para o desenvolvimento da criatividade e do pensamento matemático dos alunos.

Três ensaios teóricos abordam temas relativos à criatividade em matemática, apresentando elementos prontos para debate. No trabalho de Sriraman (2019), explora-se o papel da incerteza na dinâmica de insights/

restrições como catalisadores da criatividade. O trabalho de Nair e Ramasubramanian (2019), problematiza a importância de explorar territórios desconhecidos para nutrir a criatividade matemática dos alunos na escola e o trabalho de Czarnocha e Baker (2015) discute a importância de democratizar programas de estímulos ao desenvolvimento da criatividade para todos os estudantes, pois, segundo os autores, em muitos lugares esses programas estão disponíveis apenas para estudantes com altas habilidades/superdotação.

Métodos/metodologias empregados nas pesquisas

O primeiro item analisado refere-se aos métodos empregados nas pesquisas. A maior parte dos artigos trouxe alguma descrição do método, relatando teorias e abordagens, por exemplo. Entretanto, cerca de 28% ou não fizeram a descrição em seção única ou a informação precisou ser inferida ao longo do trabalho (Assmus & Fritzlar, 2017; Carvalho, Gontijo & Fonseca, 2019; Czarnocha & Baker, 2015; Fritzlar, Kötters & Richter 2017; Karadag, Martinovic & Birni, 2015; Mihajlovic & Dejjic, 2015; Nair & Ramasubramanian, 2019; Schoevers & Kroesbergen, 2017; Slezakova & Swoboda, 2015; Voica & Singer, 2019).

Além do número de trabalhos que não descreveu adequadamente o método utilizado, maior foi o número de autores que não forneceram um argumento defendendo ou explicando a escolha do tipo de pesquisa e método utilizado, representando cerca de 86% da amostra. De certa forma, a descrição do método se limitou a apresentar o caminho, mas não a partir dos pressupostos epistemológicos que justificassem as escolhas adotadas.

Outro cenário investigado foi a abordagem de pesquisa: qualitativa, quantitativa ou mista. Constatamos a predominância pela abordagem qualitativa. Essa predominância pode ser explicada por diferentes fatores, como o interesse em analisar a produção escrita e/ou verbal dos estudantes em atividades escolares ou em analisar as informações contidas em documentos orientadores dos sistemas de ensino para o estímulo à criatividade em matemática. Entretanto, há de se considerar que abordagens mistas (Alexe et al., 2015; Carvalho & Gontijo, 2017; Schoevers & Kroesbergen, 2017; Shen & Edwards, 2014; Singer, Pelczer & Voica, 2015) e quantitativas (Carvalho, Gontijo & Fonseca, 2019; Fonseca, Gontijo, Zanetti & Carvalho, 2019; Gontijo, Zanetti & Fonseca, 2019; Kattou & Christou, 2017; Lee et al., 2019; Manuel, 2014; Pitta-Pantazi & Sophocleous, 2017; Sophocleous & Pitta-Pantazi, 2017; Vela et al., 2019) atingiram juntas 43% do total dos trabalhos, o que pode

indicar um certo equilíbrio com pesquisas que também utilizaram abordagens quantitativas em suas análises e estas se caracterizam especialmente pelo tratamento de dados obtidos a partir da aplicação de testes e escalas para medir a criatividade em matemática.

No que diz respeito à classificação dos objetivos das pesquisas, a maior parte dos trabalhos (74,3%) não apresentou uma especificação, mas, 20% disseram que suas investigações eram, do ponto de vista dos objetivos, exploratórias (Czarnocha & Baker, 2015; Emre-Akdoğan & Yazgan-Sağ, 2015; Fonseca, Gontijo, Zanetti & Carvalho, 2019; Manuel, 2014; Singer, Pelczer & Voica, 2015; Savic et al. 2017; Shen & Edwards, 2014) e 5,7% informaram que suas pesquisas eram descritivas (Aljarrah & Towers, 2019; Joklitschke, Baumanns & Rott, 2019). Essa ausência da explicitação quanto ao tipo de pesquisa também ocorreu no que diz respeito aos procedimentos, pois, 57% dos trabalhos não trouxeram essa informação. Os 43% restantes foram distribuídos em: 9% bibliográfica ou documental (Czarnocha & Baker, 2015; Joklitschke, Baumanns & Rott, 2019; Sriraman, 2019); 14% survey ou levantamento de dados (Alexe et al., 2015; Kattou, Christou & Pitta-Pantazi, 2015; Manuel, 2014; Shen & Edwards, 2014; Singer, Pelczer & Voica, 2015); 3% experimental (Fonseca, Gontijo, Zanetti & Carvalho, 2019) e 17% estudo de caso (Aljarrah & Towers, 2019; Assmus & Fritzlar, 2017; Beck, 2015; Savic et al., 2017; Slezakova & Swoboda, 2015; Zioga & Desli, 2019).

Analisando aqueles que apresentaram explicitamente seu tipo de pesquisa quanto aos objetivos, temos uma concentração maior de pesquisa exploratória – o que segundo Gil (2008, p. 27), tem por “finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”, isto é, uma “primeira” etapa para se propor pesquisas outras e mais aprofundadas no tema. Para o autor, este tipo de pesquisa se caracteriza, na maioria das vezes, por investigação bibliográfica/documental e estudos de caso. Vale destacar que pesquisas com esses dois procedimentos somam, em nossa investigação, 67% dos trabalhos.

Em relação às técnicas de coleta de dados, identificamos que em 37% dos trabalhos os pesquisadores utilizaram testes, escalas ou questionários (Alexe et al., 2015; Carvalho & Gontijo, 2017; Carvalho, Gontijo & Fonseca, 2019; Fonseca, Gontijo, Zanetti & Carvalho, 2019; Gontijo, Zanetti & Fonseca, 2019; Kattou & Christou, 2017; Lee et al., 2019; Pitta-Pantazi & Sophocleous, 2017; Savic et al., 2014; Schoevers & Kroesbergen, 2017; Singer, Pelczer & Voica, 2015; Sophocleous & Pitta-Pantazi, 2017; Vela et al., 2019), enquanto

cerca de 23% recorreram ao uso de entrevista, individual ou coletiva (Aljarrah & Towers, 2019; Cilli-Turner et al., 2019; Emre-Akdoğan & Yazgan-Saç, 2015; Kattou, Christou & Pitta-Pantazi, 2015; Prusak, 2015; Savic et al., 2017; Shen & Edwards, 2014; Zioga & Desli, 2019) e 23% recorreram à análise qualitativa da produção dos estudantes (Assmus & Fritzlar, 2017; Beck, 2015; Karadag; Martinovic & Birmi, 2015; Manuel, 2014; Nair & Ramasubramanian, 2019; Schindler & Lilienthal, 2017; Slezakova & Swoboda, 2015; Voica & Singer, 2019). Resta mencionar que 6% fizeram uso de análise documental (Joklitschke, Baumanns & Rott, 2019; Sriraman, 2019) e que 11% dos artigos analisados não coletaram dados (Czarnochca & Baker, 2015; Fritzlar, Kötters & Richter, 2017; Mihajlovic & Dejjic, 2015).

Entre os que utilizaram testes, escalas e questionários, 51% fizeram uso de instrumentos próprios para a coleta de dados. Entretanto, apenas 9% indicaram a forma de validação desses instrumentos.

No que diz respeito à seleção dos participantes, outra variável necessária para a compreensão do contexto, dos resultados das pesquisas e de possíveis vieses que podem comprometer as conclusões, identificamos que cerca de 25% fizeram uma apresentação explícita, contra 60% que mantiveram essa informação implícita. Em 15% dos trabalhos esse tipo de caracterização não se aplicava em função do tipo de investigação realizada.

Ressaltamos que descrever o método/metodologia, o tipo de abordagem da pesquisa, as técnicas de coleta de dados, critérios de seleção dos participantes, explicitar os tipos de objetivos da pesquisa e os procedimentos de análises de dados, entre outras elementos, são fatores que possibilitam a replicação da pesquisa. A partir de nossas análises, registramos que cerca de 25% dos trabalhos não ofereciam essas informações de maneira clara, enquanto a grande maioria possibilitava, ainda que parcialmente, fazer a sua replicação.

CONCLUSÕES

A análise dos trabalhos mostrou que poucos pesquisadores apontaram limitações nos seus estudos. Os que o fizeram correspondem a cerca de 20% do total dos trabalhos. Consideramos tal informação relevante para a construção do campo de pesquisa, pois, oferece pistas para que novas pesquisas sejam desenvolvidas. Tão importante quanto apontar as limitações do estudo, é apontar pesquisas que podem decorrer das investigações realizadas. Esse tipo de informação, infelizmente, não foi encontrado nos trabalhos analisados. Ressalta-se, entretanto, que a formatação dos trabalhos em termos de número

de páginas não propicia condições para que todas as informações desejáveis sejam inseridas nos textos.

A partir das análises e de outras experiências no campo de pesquisa em criatividade em matemática, apontamos alguns elementos que se mostram relevantes para pesquisas futuras. Chamamos atenção, especialmente, para o desenvolvimento de estudos correlacionais e estudos longitudinais. Em relação ao primeiro, entre os 35 trabalhos analisados, apenas 2 buscaram examinar correlações entre o desempenho em testes de criatividade em matemática e em testes de inteligência e, entre o desempenho em testes que avaliam o pensamento crítico e em testes que avaliam a criatividade em matemática. Consideramos que existem muitas variáveis que favorecem ou não o desenvolvimento da criatividade em matemática, como exemplo, aquelas apontadas nos estudos que envolvem questões de gênero, motivação, afetividade, clima de sala de aula para criatividade, avaliações, relação professor-aluno entre outras. Investigar os efeitos dessas variáveis sobre o desenvolvimento da criatividade pode prover subsídios importantes para a organização do trabalho pedagógico com a matemática.

No que diz respeito aos estudos longitudinais, destacamos que estes são importantes para verificar em que medida os resultados de ações desenvolvidas para estimular a criatividade dos estudantes se mantem ao longo do tempo e se outras ações são necessárias para que o pensamento criativo se mantenha ativo ao longo do curso de desenvolvimento dos estudantes.

Além desses dois aspectos apontados, outras questões ainda se mantêm abertas no campo de pesquisa da criatividade em matemática, a despeito de muitas respostas já encontradas para elas. Assim, as seguintes questões ainda precisam ser exploradas: Quais são as características dos alunos criativos em matemática? Como os professores podem promover e encorajar a criatividade matemática? Como é o funcionamento cerebral durante atividades que requerem criatividade em matemática? Que relações podem ser estabelecidas entre teorias do campo da didática da matemática e teorias sobre criatividade em matemática? Esperamos que tais questões em aberto possam inspirar futuros estudiosos a se dedicarem à compreensão do fenômeno da criatividade, contribuindo assim com o avanço dessa área de pesquisa.

DECLARAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores, C. H. G.; M. G. F.; A. T. de C.; e W. W. V. B, contribuíram igualmente na elaboração do instrumento, na coleta de dados e na escrita do artigo.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados que suportam os resultados deste estudo serão disponibilizados pelo autor correspondente, C. H. G., mediante solicitação razoável.

REFERÊNCIAS

- Aiken, L. R. (1973). Ability and creativity in mathematics. *Review of Education Research*, 43(4), 405–432.
<https://doi.org/10.2307/1170074>
- Alexe, S. et al. (2015). X Colony Educational activities enhance spatial reasoning in middle school students. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (146-153). University of Ploiesti.
- Aljarrah, A. & Towers, J. (2019). Discerning two creative acts: expanding possibilities and divergent thinking. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 103-108). Universität Hamburg.
- Assmus, D. & Fritzlar, T. (2017). Creation of mathematical objects as aspect of creativity in primary grades. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 39-44). University of Cyprus.
- Baer, J. (1998). The case for domain specificity of creativity. *Creativity Research Journal*, 11(2), 173–177.
https://doi.org/10.1207/s15326934crj1102_7
- Beck, M. (2015). Combinational play between mathematical domains as one dimension of mathematical creativity in the early years. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 94-99). University of Ploiesti.

- Beghetto, R. A. (2010). Creativity in the Classroom. In: Kaufman, J. C. & Sternberg, R. J. (Orgs.). *The Cambridge Handbook of Creativity*. (p. 441-463). Cambridge University Press.
- Carvalho, A. T. (2019). *Criatividade compartilhada em matemática: do ato isolado ao ato solidário*. (350 f.). Tese de Doutorado, Educação, Faculdade de Educação da Universidade de Brasília, Brasília.
- Carvalho, A. T. & Gontijo, C. H. (2017). Shared creativity in mathematics: the emersion of collective solutions. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 151-156). University of Cyprus, 2017.
- Carvalho, A. T., Gontijo, C. H. & Fonseca, M. G. (2019). Collective creativity in mathematics: possible scenarios for shared mathematical creativity. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 124-129). Universität Hamburg.
- Christou, C. (2017). Creativity and imagination in mathematics. The 10th International MCG Conference on *Mathematical Creativity and Giftedness*. (pp. 17-24). University of Cyprus.
- Cilli-Turner et al. (2019). An initial investigation into teacher actions that specifically foster mathematical creativity. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 130-135). Universität Hamburg.
- Czarnocha, B. & Baker, W. (2015). Creativity and bisociation. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 80-85). University of Ploiesti.
- Emre-Akdogan, E.; Yazgan-Sag, G. (2015). Prospective teachers' views of creativity in school mathematics. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 182-188). University of Ploiesti.
- Emre-Akdogan, E. & Yazgan-Sag, G. (2019). Prospective teachers' views of creativity in school mathematics. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 130-135). Universität Hamburg.
- Ervynck, G. (1991). *Mathematical creativity*. In: Tall, D. (Org.) *Advanced Mathematical Thinking*. Kluwer.

- Fiorentini, D. et al. (2016). O professor que ensina matemática como campo de estudo: concepção do projeto de pesquisa. In: D. Fiorentini, C. L. Passos & R. C. R. Lima (Orgs.). *Mapeamento da pesquisa acadêmica brasileira sobre o professor que ensina matemática: período 2001 – 2012* (p. 17-41). FE/UNICAMP.
- Fonseca, M. G. et al. (2019). Improving mathematical motivation from mathematical creativity workshops. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 144-149). Universität Hamburg.
- Fritzlar, T., Kötters, M. & Richter, K. (2017). Mathematics from old times and foreign countries – encouraging mathematical creativity of primary students through ethnomathematics. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 99-104). University of Cyprus.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas.
- Gontijo, C. H. (2007). *Relações entre criatividade, criatividade em matemática e motivação em matemática de alunos do ensino médio*. (206 f.) Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia da Universidade de Brasília, Brasília.
- Gontijo, C. H., Zanetti, M. D. T. & Fonseca, M. G. (2019). Creative and critical thinking in mathematics: a workshop for teachers. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 158-162) Universität Hamburg.
- Gontijo, C. H. et al. (2021). Criatividade em Matemática: alguns elementos históricos na constituição do campo de pesquisa e de intervenção pedagógica. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 12(5), 1-24. <https://doi.org/10.26843/rencima.v12n5a20>
- Han, K. S. & Marvin, C. (2002). Multiple creativities? Investigating domain specificity of creativity in young children. *Gifted Child Quarterly*, 46(2), 98–109. <https://doi.org/10.1177%2F001698620204600203>
- Haylock, D. W. (1987). A framework for assessing mathematical creativity in school children. *Educational Studies in Mathematics*, 18(1), 59-74.
- Heitink, M. C. et al. (2016). A systematic review of prerequisites for implementing assessment for learning in classroom practice.

Educational research review, 17(1), 50-62.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.12.002>

- Joklitschke, J., Baumanns, L. & Rott, B. (2019). The intersection of problem posing and creativity: a review. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness* (p. 59-67). Universität Hamburg.
- Karadag, Z., Martinovic, D. & Birni, S. (2015). Mathematical creativity and the affordances of dynamic and interactive mathematics learning environments. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness* (p. 224-230). University of Ploiesti.
- Kattou, M. et al. (2013). Connecting mathematical creativity to mathematical ability. *International Journal on Mathematics Education*, 45(2), 167-181. <https://doi.org/10.1007/s11858-012-0467-1>
- Kattou, M. & Christou, C. (2017). Does intelligence affect all students' mathematical creativity?. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 136-141). University of Cyprus.
- Kattou, M., Christou, C. & Pitta-Pantazi, D. (2015). Solving a mathematical creativity task. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 22-27). University of Ploiesti, 2015.
- Krutetskii, V. A. (1976). *The psychology of mathematical abilities in schoolchildren*. The University of Chicago Press.
- Laycock, M. (1970). Creative mathematics at Nueva. *Arithmetic Teacher*, 17(1), 325-328. <https://doi.org/10.5951/AT.17.4.0325>
- Leikin, R. & Pantazi, D. P. (2013). Creativity and mathematics education: The state of the art. *ZDM Mathematics Education*, 45(1), 159-166. <https://10.1007/s11858-012-0459-1>
- Lev-Zamir, H & Leikin, R. (2013). Saying versus doing: teachers' conceptions of creativity in elementary mathematics teaching. *The International Journal on Mathematics Education*, 45(2), 295-308. <https://http://dx.doi.org/10.1007/s11858-012-0464-4>
- Lee, Y. et al. (2019). Students' conceptions of mathematical creative thinking and critical thinking in STEM PBL activities. In: *Proceedings of The*

11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness. (p. 197-201). Universität Hamburg.

- Lee, K. S., Hwang, D. & Seo, J. J. (2003). A development of the test for mathematical creative problem solving ability. *Journal of the Korea Society of Mathematical Education*, 7(3), 163-189.
- Livne, N. L. & Milgran, R. M. (2006). Academic versus creative abilities in mathematics: Two components of the same construct?. *Creativity Research Journal*, 18(2), 199-212.
https://doi.org/10.1207/s15326934crj1802_6
- Livne, N. L. & Milgran, R. M. (2000). Assessing four levels of creative mathematical ability in Israeli adolescents utilising out-of-school activities: A circular three-stage technique. *Roepers Review*, 22(2), 111-116. <https://doi.org/10.1080/02783190009554013>
- Lubart, T. I. & Georgsdottir, A. (2004). Creativity: Developmental and cross-cultural issues. In: Lau, S., Hui, A.N. & NG, G.Y. (Orgs). *Creativity: When East meets West*. World Scientific.
https://doi.org/10.1142/9789812567192_0003
- Lubart, T.I. & Guignard, J-H. (2004). The generality specificity of creativity: a multivariate approach. In: Sternberg, R. J., Grigorenko, E. & Singer, J. L. (Orgs.): *Creativity: From Potential to Realization*. APA PsycBooks. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/10692-004>
- Mann, E. L. (2005). Mathematical creativity and school mathematics: Indicator of mathematical creativity in middle school students.
<http://www.gifted.uconn.edu/siegle/Dissertations/Eric%20Mann.pdf>.
- Mann, E. L. (2006). Creativity: The essence of mathematics. *Journal for the Education of the Gifted*, 30(2), 236–260.
<http://dx.doi.org/10.4219/jeg-2006-264>
- Manuel, D. (2014). Richness of problems and creativity of solutions in the cami virtual Community. In: *Proceedings of The 8th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness.* (p. 71-76). University of Denver.
- Mathias, S. L. & Sakai, C. (2013). Utilização da ferramenta Google Forms no processo de avaliação institucional: Estudo de caso nas Faculdades Magsul. In: *Seminários Regionais sobre Autoavaliação Institucional e Comissões Próprias de Avaliação.* (p. 1-13). INEP.

- Mihajlovic, A. & Dejjic, M. (2015). Using open-ended problems and problem posing activities in elementary mathematics classroom. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 34-41). University of Ploiesti.
- Nair, V. & Ramasubramanian, H. (2019). Exploration of unknown: a different approach to foster mathematical creativity. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 178-184). Universität Hamburg, 2019.
- Pitta-Pantazi, D., Sophocleous, P. & Christou, C. (2013). Prospective primary school teachers' mathematical creativity and their cognitive styles. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 45(4), 199-213. <https://doi.org/10.1007/s11858-012-0475-1>
- Pitta-Pantazi, D. & Sophocleous, P. (2017). Higher order thinking in mathematics: a complex construct. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 72-78). University of Cyprus.
- Plucker, J. A., Beghetto, R. A. & Dow, G. T. (2004). Why Isn't Creativity More Important to Educational Psychologists? Potentials, Pitfalls, and Future Directions in Creativity Research. *Educational Psychologist*, 39(2), 83-96. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3902_1
- Prusak, A. (2015). Nurturing students' creativity through telling mathematical stories. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 16-21). University of Ploiesti.
- Sak, U. et al. (2017). Creativity in the domain of Mathematics. In: J. C. Kaufman C., V. P. Glăveanu, & J. Baer (Eds). *The Cambridge Handbook of Creativity across Domains* (p. 276-298). Cambridge University Press.
- Savic, M. et al. (2017). Pedagogical practices that foster mathematical creativity at tertiary-level proof-based courses. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 130-135). University of Cyprus.
- Savic, M. et al. (2014). How can we assess undergraduate students' creativity in proof and proving? In: *Proceedings of The 8th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 107-112). University of Denver.

- Schindler, M. & Lilienthal, A. J. (2017). Eye-tracking as a tool for investigating mathematical creativity from a process-view. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 45-50). University of Cyprus.
- Schoevers, E. M. & Kroesbergen, E. H. (2017). Enhancing creative problem solving in an integrated visual art and geometry program: a pilot study. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 27-32). University of Cyprus.
- Shen, Y. & Edwards, C. P. (2014). Elementary School Teachers' Interpretation and Promotion of Creativity in The Learning of Mathematics: A Grounded Theory Study. In: *Proceedings of The 8th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 113-118). University of Denver.
- Shiakalli, M. A. & Zacharos, K. (2017). Developing mathematical creativity in pre-school education. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 105-110). University of Cyprus.
- Singer, F. M., Pelczer, I. & Voica, C. (2015). Problem posing cognitive style - can it be used to assess mathematical creativity? In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 74-79). University of Ploiesti.
- Slezakova, J. & Swoboda, E. (2015). Looking for the way to support children's mathematical creativity. In: *Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 100-105). University of Ploiesti.
- Sophocleous, P. & Pitta-Pantazi, D. (2017). What is the relationship between critical thinking and problem posing ability?. In: *Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 79-85). University of Cyprus.
- Sriraman, B. (2005). Are giftedness and creativity synonyms in mathematics? *The Journal of Secondary Gifted Education*, 17(1), 20-36.
<https://doi.org/10.4219%2Fjsge-2005-389>
- Sriraman, B. (2019). Uncertainty as a catalyst for mathematical creativity. *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 32-51). Universität Hamburg.

- Sternberg, R. J. (2006). The nature of creativity. *Creativity Research Journal*, 18(1), 87-98.
https://psycnet.apa.org/doi/10.1207/s15326934crj1801_10
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. (1991). An investment theory of creativity and its development. *Human Development*, 34(1), 1-31.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. (1995). *Defying the crowd: Cultivating creativity in a culture of conformity*. Free Press.
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and Paradigms. In: R. J. Sternberg (ed.) *Handbook of Creativity* (pp. 3-16). London: Cambridge University Press.
- Torrance, E. P. (1977). *Creativity in the classroom: What research says to the teacher*. National Education Association.
- Vela, K. et al. (2019). Stem project-based learning activities: opportunities to engage in creative mathematical thinking? In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 215-221). Universität Hamburg.
- Vincent-Lancrin, S. et al. (2020). *Desenvolvimento da criatividade e do pensamento crítico dos estudantes: o que significa na escola*. Santillana.
- Voica, C. & Singer, F. M. (2019). Analogical transfer and cognitive framing in prospective teachers' problem posing activities. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 222-228). Universität Hamburg.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. Harcourt.
- World Economic Forum. (2018). *The future jobs report*. Centre for the New Economy and Society.
- Zioga, M. & Desli, D. (2019). Improving mathematical creativity in the classroom: a case study of a fourthgrade teacher. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Mathematical Creativity and Giftedness*. (p. 242-248). Universität Hamburg.