

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO**

Camila Peres Nogue

**PRECURSORES DO DESEMPENHO ARITMÉTICO EM CRIANÇAS DE 3º E 4º
ANOS: DA IDENTIFICAÇÃO À INTERVENÇÃO**

Porto Alegre

2021

CAMILA PERES NOGUES

PRECURSORES DO DESEMPENHO ARITMÉTICO EM CRIANÇAS DE 3º E 4º ANOS:
DA IDENTIFICAÇÃO À INTERVENÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Doutora em Educação.

Orientadora: Prof^a. Dra. Beatriz Vargas Dorneles

Linha de Pesquisa: Aprendizagem e Ensino

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Nogues, Camila Peres
PRECURSORES DO DESEMPENHO ARITMÉTICO EM CRIANÇAS DE
3º E 4º ANOS: da identificação à intervenção / Camila
Peres Nogues. -- 2021.
168 f.
Orientadora: Beatriz Vargas Dorneles.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de
Pós-Graduação em Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Desempenho aritmético. 2. Cognição Numérica. 3.
Habilidades cognitivas preditoras. 4. Intervenção em
raciocínio quantitativo . I. Dorneles, Beatriz Vargas,
orient. II. Título.

Camila Peres Nogueis

PRECURSORES DO DESEMPENHO ARITMÉTICO EM CRIANÇAS DE 3º E 4º ANOS:
DA IDENTIFICAÇÃO À INTERVENÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Doutora em Educação.

Orientadora: Prof^a. Dra. Beatriz Vargas Dorneles

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Beatriz Vargas Dorneles (UFRGS) – Orientadora

Prof^a. Dra. Luciana Vellinho Corso (UFRGS - PPGEDU)

Prof^a. Dra. Helena Vellinho Corso (UFRGS)

Prof^a. Dra. Rosane da Conceição Vargas (Externo)

Prof. Dr. José Orrantia Rodríguez (Universidad de Salamanca)

DEDICATÓRIA

À minha avó Anna Maria e aos meus pais (*in
memoriam*) que foram minha fonte de força,
motivação e amor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas e às instituições que de alguma forma permitiram ou apoiaram para que a realização desta tese fosse possível. Agradeço, então:

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Beatriz Dorneles, pelo acompanhamento competente e cuidadoso que foi imprescindível para a condução desta pesquisa, bem como pelo incentivo e pelas tantas aprendizagens que me foram proporcionadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de bolsa, o que permitiu uma dedicação exclusiva e eficiente para a pesquisa.

Às escolas e aos alunos que participaram da pesquisa, pela disponibilidade e recepção, os quais foram essenciais para a concretização dos estudos.

Ao grupo de pesquisa pela atenção e carinho durante o curso, seja pela parceria na coleta de dados ou na leitura cuidadosa do meu trabalho. Também pela companhia e tantas trocas de conhecimentos.

Ao Fábio Jardim pela companhia e apoio em boa parte do curso, pela paciência em me ensinar estatística e pelo cuidado e atenção nas análises.

À Évelin de Assis por toda a parceria acadêmica, pela amizade construída durante a pós-graduação e pelos momentos de desabafos e de risadas. Também por todo o apoio e carinho dentro e fora da academia, pelas palavras de incentivo e por ser essa amiga/colega ideal.

À Natali Brandt pela amizade, por me mostrar um lado mais emocional das situações, por estar comigo desde o início da minha trajetória acadêmica e por, em algumas vezes, acreditar mais em mim do que eu mesma.

Ao Renato Levin pelo apoio incondicional, pelo carinho e preocupação, pelos ensinamentos sobre a vida e por me incentivar a valorizar o presente. Também pelas tantas manhãs e tardes de “sprint” para que o foco nos estudos fosse mantido nesse período tão delicado de pandemia.

À minha família por acreditar em mim, por me incentivar a ir em busca dos meus objetivos e por entender meus longos momentos ausente. Também pelo suporte e dedicação na minha educação e por se fazerem presentes mesmo na distância.

E, por fim, a todos aqueles que me apoiaram de alguma forma, que compartilharam comigo momentos de estudo, de descontração, de acolhimento e de compreensão durante esses anos.

RESUMO

A aprendizagem da matemática, e especificamente da aritmética, envolve diversas habilidades cognitivas que incluem tanto habilidades de domínio geral quanto de domínio específico. Conhecer quais habilidades melhor predizem o desempenho aritmético é importante para prevenir dificuldades futuras que podem ser enfrentadas pelos estudantes. Há um crescente interesse da área da cognição numérica em investigar como ocorre o processo de aprendizagem da matemática e quais habilidades são subjacentes a tal processo. Porém, os resultados são diversos e nem sempre existe convergência entre eles. Isso dificulta a compreensão ampla sobre quais são as habilidades mais frequentemente relatadas que influenciam o desempenho aritmético. Além disso, o foco geralmente está na avaliação de alunos no início da escolarização com a intenção de prevenir dificuldades de aprendizagem futuras, entretanto resta saber se os preditores do desempenho matemático permanecem os mesmos em alunos já inseridos há mais tempo no contexto escolar. Assim, esta tese investigou por meio de três estudos complementares as habilidades preditoras do desempenho aritmético em estudantes brasileiros já alfabetizados. O primeiro estudo contemplou uma revisão sistemática da literatura acerca das habilidades cognitivas de domínio geral e específico que são precursoras do desempenho matemático de alunos da Educação Infantil até 5º ano do Ensino Fundamental, incluindo o total de 62 artigos para análise. O segundo estudo avaliou habilidades cognitivas de domínio geral (consciência fonêmica, memória de trabalho e compreensão leitora) e de domínio específico (transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo) como preditoras do desempenho aritmético em 127 estudantes de 3º e 4º ano do Ensino Fundamental, avaliados no início e no final do mesmo ano letivo. O terceiro estudo investigou os efeitos de uma intervenção em raciocínio quantitativo, com 40 alunos participantes do estudo anterior, porém quando estavam no 4º e 5º anos. Como principais resultados, destaca-se que a maioria dos artigos incluídos na revisão sistemática consideraram alunos de Educação Infantil em suas avaliações e que as habilidades preditoras relatadas com maior frequência foram memória de trabalho e habilidades numéricas iniciais, permanecendo as mesmas ao longo de todos os Anos Iniciais e apesar do desempenho matemático considerado. Entre os alunos brasileiros, as habilidades cognitivas explicativas da proficiência aritmética foram transcodificação numérica, raciocínio quantitativo e consciência fonêmica. A partir da intervenção, o grupo experimental não diferiu significativamente do grupo controle, entretanto apresentou avanços significativos do pré para o pós-teste, sendo mais evidenciado entre estudantes do 5º ano. A complementaridade dos estudos permitiu um conhecimento abrangente sobre o assunto, o que contribui para a compreensão de quais habilidades influenciam a aprendizagem matemática posterior. As evidências encontradas destacam que o desenvolvimento dessas habilidades no ensino escolar poderá beneficiar a aprendizagem dos alunos a longo prazo. Além disso, ressalta-se que um investimento especificamente no ensino do sistema numérico e do raciocínio quantitativo, mesmo em estudantes com mais tempo de escolarização, poderá favorecer a remediação e prevenção de dificuldades nessa área do conhecimento.

Palavras-chave: Desempenho aritmético. Habilidades cognitivas preditoras. Intervenção em raciocínio quantitativo. Cognição numérica.

ABSTRACT

Learning mathematics, and specifically arithmetic, involves several cognitive skills that include both general and specific domain. Knowing which skills best predict arithmetic performance is important to prevent future difficulties that may be faced by students. There is a growing interest in the area of numerical cognition in investigating how the mathematics learning process occurs and what skills underlie it. However, the results are diverse and there is not always convergence between them. This makes it difficult to comprehend broadly what are the most frequently reported skills that influence arithmetic performance. In addition, the focus is usually on the assessment of students at the beginning of primary school with the intention of preventing future learning difficulties. However, it remains to be seen whether the predictors of mathematical performance remain the same in students who have been in the school context for a longer time. Thus, this thesis investigated, through three complementary studies, the predictive skills of arithmetic performance in Brazilian literate students. The first study included a systematic review of the literature about cognitive skills of general and specific domain that are precursors of the mathematical performance of students from kindergarten through 5th grade of elementary school, including a total of 62 articles for analysis. The second study evaluated cognitive skills of general domain (phonemic awareness, working memory and reading comprehension) and specific domain (number transcoding, number estimation and quantitative reasoning) as predictors of arithmetic performance in 127 students in 3rd and 4th grades of Elementary School, assessed at the beginning and end of the same academic year. The third study investigated the effects of an intervention in quantitative reasoning, with 40 students participating in the previous study, however when they were in the 4th and 5th grades. As main results, it is highlighted that most of the articles included in the systematic review considered kindergarteners in their assessments and that the most frequently reported predictor skills were working memory and early numerical skills, remaining the same throughout the school grades and despite the mathematical performance considered. Among Brazilian students, the cognitive skills that explain arithmetic proficiency were number transcoding, quantitative reasoning, and phonemic awareness. From the intervention, the experimental group did not differ significantly from the control group, however it showed significant advances from the pre to the post-test, being more evident among 5th graders. The complementarity of the studies allowed a comprehensive knowledge on the subject, which contributes to the understanding of which skills influence the later mathematical learning. The evidence found highlights that the development of these skills in school education can benefit students' learning in the long term. In addition, it is emphasized that an investment specifically in teaching the number system and quantitative reasoning, even in students with more schooling time, may favor the remediation and prevention of difficulties in this area of knowledge.

Keywords: Arithmetic achievement. Predictive cognitive skills. Intervention in quantitative reasoning. Numerical cognition.

RESUMEN

Aprender matemáticas, y específicamente aritmética, implica varias habilidades cognitivas que incluyen habilidades de dominio generales y específicas. Saber qué habilidades predicen mejor el rendimiento aritmético es importante para prevenir futuras dificultades que puedan enfrentar los estudiantes. Hay un interés creciente en el área de la cognición numérica por investigar cómo ocurre el proceso de aprendizaje de las matemáticas y qué habilidades subyacen en él. Sin embargo, los resultados son diversos y no siempre hay convergencia entre ellos. Esto hace que sea difícil comprender en general cuáles son las habilidades que se informan con mayor frecuencia y que influyen en el rendimiento aritmético. Además, el enfoque suele estar en la evaluación de los estudiantes al inicio de la escolaridad con la intención de prevenir futuras dificultades de aprendizaje. Todavía, queda por ver si los predictores siguen siendo los mismos en los estudiantes que han estado en el contexto escolar durante más tiempo. Así, esta tesis investigó, a través de tres estudios complementarios, las habilidades predictivas del desempeño aritmético en estudiantes alfabetizados brasileños. El primer estudio incluyó una revisión sistemática de la literatura sobre las habilidades cognitivas de dominio general y específico que son precursoras del desempeño matemático de los estudiantes desde la Educación Infantil hasta el quinto grado de la escuela primaria, incluyendo un total de 62 artículos para análisis. El segundo estudio evaluó las habilidades cognitivas de dominio general (conciencia fonémica, memoria de trabajo y comprensión lectora) y dominio específico (transcodificación numérica, estimación numérica y razonamiento cuantitativo) como predictores del desempeño aritmético en 127 estudiantes de 3° y 4° grado de Primaria, evaluados al principio y al final del mismo curso académico. El tercer estudio investigó los efectos de una intervención en el razonamiento cuantitativo, con 40 alumnos participantes del estudio anterior, pero cuando estaban en 4° y 5° curso. Como resultados principales, se destaca que la mayoría de los artículos incluidos en la revisión sistemática consideraron estudiantes de Educación Infantil en sus evaluaciones y que las habilidades predictoras reportadas con mayor frecuencia fueron memoria de trabajo y habilidades numéricas iniciales, permaneciendo iguales durante toda la educación primaria y a pesar del rendimiento matemático considerado. Entre los estudiantes brasileños, las habilidades cognitivas explicativas de la competencia aritmética fueron la transcodificación numérica, el razonamiento cuantitativo y la conciencia fonémica. De la intervención, el grupo experimental no difirió significativamente del grupo control, sin embargo, mostró avances significativos del pre al post-test, siendo más evidente entre los estudiantes de 5° grado. La complementariedad de los estudios permitió un conocimiento integral sobre el tema, lo que contribuye a la comprensión de qué habilidades influyen en el aprendizaje matemático posterior. La evidencia encontrada destaca que el desarrollo de estas habilidades en la educación escolar podrá beneficiar el aprendizaje de los estudiantes a largo plazo. Además, se enfatiza que una inversión específicamente en la enseñanza del sistema numérico y del razonamiento cuantitativo, incluso en estudiantes con más tiempo de escolaridad, puede favorecer la remediación y prevención de dificultades en esta área de conocimiento.

Palabras clave: Rendimiento aritmético. Habilidades cognitivas predictoras. Intervención en razonamiento cuantitativo. Cognición numérica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo da tarefa de estimativa na reta numérica.....	28
Figura 2 – Fluxograma PRISMA da revisão sistemática da literatura	52
Figura 3 – Desenho da pesquisa	107
Figura 4 – Modelo de Mediação.....	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados e Metas do IDEB no Brasil	20
Gráfico 2 – Frequência de artigos por ano de publicação	53
Gráfico 3 – Distribuição das publicações por país	54
Gráfico 4 – Desempenho no pré-teste e no pós-teste separado por grupos.....	138
Gráfico 5 – Desempenho aritmético do Grupo Experimental separado por ano escolar e pela presença de dificuldade	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Organização das sessões do Grupo Experimental	134
Quadro 2 – Organização das sessões do Grupo Controle.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição resumida de cada um dos estudos selecionados para a revisão sistemática	58
Tabela 2 – Categorização da amostra	111
Tabela 3 – Análises descritivas das tarefas avaliadas nos momentos 1 e 2.....	112
Tabela 4 – Correlações entre as tarefas avaliadas no momento 1 e o desempenho aritmético	113
Tabela 5 – Modelo 1 de Regressão Linear Múltipla	114
Tabela 6 – Modelo 2 e final da Regressão Linear Múltipla	114
Tabela 7 – Modelo de Regressão sem a influência da variável transcodificação numérica no desfecho	115
Tabela 8 – Caracterização da Amostra	131
Tabela 9 – Análise descritiva e de comparação entre os grupos experimental e controle	138
Tabela 10 – Classificação dos participantes em cada grupo	139

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES ARITMÉTICAS.....	22
1.2 PREDITORES DO DESEMPENHO ARITMÉTICO.....	23
1.2.1 Transcodificação Numérica	25
1.2.2 Estimativa Numérica.....	27
1.2.3 Raciocínio Quantitativo	29
1.2.4 Memória de Trabalho	31
1.2.5 Consciência Fonêmica	32
1.2.6 Compreensão Leitora	34
1.3 INTERVENÇÕES EM HABILIDADES PREDITORAS DO DESEMPENHO ARITMÉTICO.....	35
1.4 MÉTODO DA PESQUISA	38
REFERÊNCIAS.....	39
2 REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS PRECURSORES DO DESEMPENHO MATEMÁTICO INICIAL	46
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 MÉTODO	49
2.2.1 Estratégia de busca	50
2.2.2 Critérios de elegibilidade	50
2.2.3 Critérios para inclusão dos artigos e seleção dos dados.....	51
2.3 RESULTADOS	51
2.4 DISCUSSÃO	68
2.5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS.....	72
REVISÃO SISTEMÁTICA: ARTIGO ORIGINAL PUBLICADO.....	78
3 HABILIDADES COGNITIVAS PREDITORAS DO DESEMPENHO ARITMÉTICO DE CRIANÇAS DE 3º E 4º ANOS DO ENSINO FUNDAMENTAL.....	95
3.1 INTRODUÇÃO.....	95
3.1.1 Preditores de domínio geral.....	98
3.1.2 Preditores de domínio específico	101
3.1.3 O presente estudo.....	104

3.2 MÉTODO	105
3.2.1 Participantes.....	105
3.2.2 Coleta de Dados	106
3.2.3 Análises	111
3.3 RESULTADOS	111
3.4 DISCUSSÃO	117
REFERÊNCIAS.....	120
4 INTERVENÇÃO EM RACIOCÍNIO QUANTITATIVO COMO POSSIBILIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO ARITMÉTICO.....	126
4.1 Introdução.....	126
4.2 MÉTODO	131
4.2.1 Participantes.....	131
4.2.2 Procedimentos.....	132
4.2.3 Avaliação do desempenho aritmético	133
4.2.4 Atividades do grupo experimental	133
4.2.5 Atividades do grupo controle.....	135
4.2.5 Análise dos dados.....	137
4.3 Resultados.....	137
4.4 Discussão	141
REFERÊNCIAS.....	143
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	147
REFERÊNCIAS.....	150
APÊNDICE A – TAREFA DE ESTIMATIVA NUMÉRICA NÚMERO-POSIÇÃO ...	152
APÊNDICE B – TAREFA DE AVALIAÇÃO DO RACIOCÍNIO QUANTITATIVO .	156
ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA SMED	161
ANEXO B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DAS ESCOLAS	162
ANEXO C – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DOS PROFESSORES.....	164
ANEXO D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DOS RESPONSÁVEIS.....	165
ANEXO E – TERMO DE ASSENTIMENTO DOS ALUNOS	166
ANEXO F – TCLE DA INTERVENÇÃO.....	167
ANEXO G – TALE DA INTERVENÇÃO	168

APRESENTAÇÃO

Esta tese apresenta como tema principal as habilidades cognitivas que são consideradas precursoras do desempenho aritmético de alunos dos Anos Iniciais. A escolha por esse assunto se deve à trajetória acadêmica e profissional da autora. A formação inicial em Licenciatura em Matemática juntamente com as experiências profissionais como professora possibilitaram a percepção de dificuldades recorrentes dos alunos nessa área do conhecimento. Muitas dessas dificuldades estavam relacionadas a conceitos de base da matemática, como compreensão das operações fundamentais (adição, subtração, multiplicação e divisão), entendimento das relações entre números e quantidades e a construção do sistema numérico. Foi observado, também, que frequentemente tinham de ser trabalhados conhecimentos numéricos anteriores ao conteúdo que estava sendo ensinado em sala de aula para que fosse possível um avanço na compreensão por parte dos alunos, evitando causar mais problemas em sua aprendizagem. Os conceitos relacionados ao conhecimento numérico referidos anteriormente, costumam ser trabalhados nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, porém quando não estão bem estabelecidos poderão ser enfrentadas, pelos alunos, dificuldades futuras em conteúdos mais complexos da matemática. Portanto, surgiu o interesse em compreender o processo de aprendizagem matemática, como ocorre e quais habilidades estão envolvidas, especificamente quando os alunos estão na etapa inicial da escolarização (Anos Iniciais do Ensino Fundamental), com a intenção de prevenir dificuldades de aprendizagem posteriores.

Nesse sentido, aproveitando sua formação em matemática, a autora visou contribuir para esse momento inicial da aprendizagem por meio de pesquisas que pudessem trazer maiores esclarecimentos sobre o assunto. Em busca disso, a autora especializou-se em Psicopedagogia enquanto também realizou Mestrado em Educação com o objetivo de acerrar-se de pesquisas em Cognição Numérica, área interdisciplinar destinada a compreender o processo de aprendizagem da matemática. Durante esse primeiro aprofundamento teórico na área, o interesse se voltou para algumas habilidades cognitivas subjacentes ao desempenho matemático, tanto de domínio geral, como a memória de trabalho, quanto de domínio específico, como a estimativa numérica e o raciocínio quantitativo. Seguindo nessa perspectiva, durante o curso de doutorado, a pesquisa foi aprofundada para investigar mais detalhes da relação entre essas habilidades e o desempenho em matemática. Especificamente, a atenção se voltou para a proficiência em aritmética, por ser um conteúdo amplamente ensinado nos Anos

Iniciais, que requer muitas habilidades para sua aprendizagem e por ser uma base importante para conhecimentos matemáticos mais complexos das etapas seguintes da escolarização.

Dentro desse contexto, estudos estão sendo conduzidos para determinar as habilidades cognitivas explicativas do desempenho em aritmética. A preferência está na investigação da aprendizagem inicial da matemática, avaliando alunos desde a Educação Infantil, com o propósito de prevenir dificuldades de aprendizagem por meio da intervenção precoce. Entretanto, também é necessário conhecer as habilidades preditoras do desempenho de alunos de anos escolares mais avançados para verificar possíveis diferenças na demanda das habilidades necessárias durante a execução de cálculos, bem como verificar essas habilidades dentro de um contexto brasileiro.

Assim, esta tese se origina de uma pesquisa que buscou investigar as habilidades preditoras do desempenho aritmético de estudantes de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental de escolas públicas da rede municipal de ensino de Porto Alegre/RS. Para atingir o objetivo, foram realizados três estudos: o primeiro de revisão sistemática da literatura, o segundo de avaliação das habilidades preditoras e o terceiro de intervenção, considerando uma dessas habilidades mais influentes para o desempenho aritmético. A intenção com esses estudos foi de ter uma análise completa, isto é, iniciando por meio da identificação na literatura de quais são as habilidades frequentemente indicadas como precursoras, seguindo para a verificação delas dentro de uma realidade brasileira e, por fim, buscando a confirmação por uma intervenção. Ou seja, esperava-se que o desempenho aritmético dos estudantes apresentasse avanços ao participarem de atividades específicas sobre uma das habilidades preditoras. A expectativa é de que esta pesquisa possa contribuir com as comunidades científica e educacional, no sentido de apresentar evidências sobre habilidades influentes para a proficiência aritmética, reunindo o que se sabe até o momento sobre o assunto, além de poder auxiliar a prática docente, visando um ensino mais eficiente e direcionado.

Esta pesquisa está inserida em um projeto mais abrangente intitulado “Precursores do Desempenho Matemático nas séries iniciais” (cadastrado na Plataforma Brasil e Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS, sob o número 82570618.9.0000.5347), coordenado pela professora Beatriz Vargas Dorneles, e que possui como objetivo geral estabelecer como algumas habilidades cognitivas definem o desempenho matemático e de que forma é possível promover seu desenvolvimento para que os alunos obtenham um melhor desempenho matemático.

A presente tese está organizada em cinco capítulos, com o primeiro deles destinado a uma introdução geral ao tema central. Nos capítulos seguintes são apresentados os estudos em

formato de artigo, por isso em cada um é considerada a fundamentação teórica direcionada ao assunto abordado, o método específico, bem como os resultados e a discussão própria. A tese é concluída no quinto capítulo, em que são apresentadas as considerações gerais, a partir da reflexão sobre os principais resultados de cada estudo.

1 INTRODUÇÃO

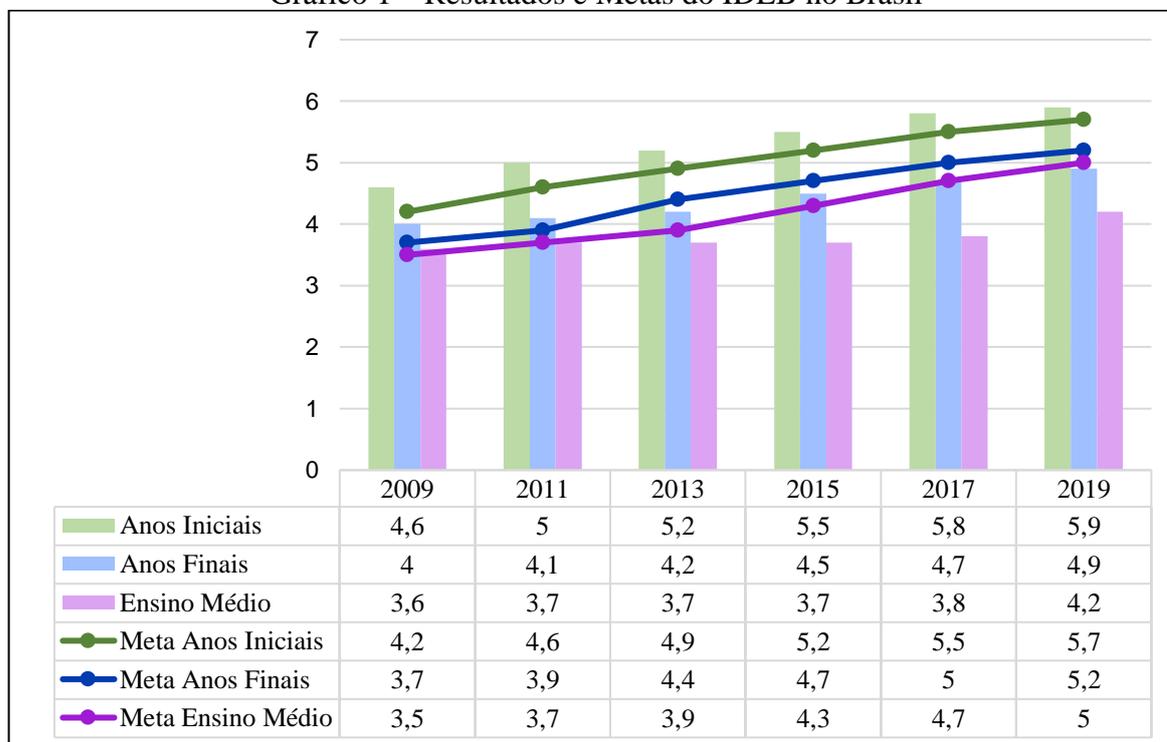
A matemática é uma área do conhecimento fundamental na aprendizagem escolar e para a vida cotidiana de modo geral. Diferentes habilidades matemáticas são utilizadas no dia a dia e se fazem necessárias inclusive para conseguir melhores oportunidades de trabalho, por exemplo. Muitas são as situações que podemos citar sobre o uso da matemática no cotidiano, desde fazer cálculos simples de adição para realizar compras no supermercado, realizar cálculos que auxiliem no controle financeiro em casa, decidir as quantidades necessárias de cada ingrediente para uma receita, ou até mesmo pensar no tempo que será levado para chegar em casa depois de um dia de trabalho. Percebemos, com esses exemplos, que habilidades simples de aritmética já são suficientes para resolver muitas das situações diárias. Na escola, juntamente com a leitura e escrita, a matemática compõe o processo de alfabetização e tem papel importante para o desenvolvimento cognitivo da criança. Possuir raciocínio lógico e matemático, ser capaz de resolver cálculos aritméticos básicos, ter noções de estimativa e espaço, são algumas das habilidades matemáticas que permitem um desempenho adequado na escola e, inclusive, uma inserção e convívio na sociedade em que vivemos. Além disso, pesquisas indicam que prejuízos em habilidades matemáticas na infância têm um impacto a longo prazo, na tomada de decisões, na situação financeira e de empregabilidade, bem como na qualidade de vida na fase adulta (GROSS; HUDSON; PRICE, 2009; PARSONS; BYNNER, 2005; REYNA *et al.*, 2009).

Uma área de pesquisa que se preocupa em entender como ocorre a aprendizagem da matemática e quais são as habilidades envolvidas nesse processo é a Cognição Numérica, área na qual esta tese se insere. A Cognição Numérica é interdisciplinar e, portanto, baseia-se na Psicologia Cognitiva, na Educação e nas Neurociências. Assim, diferentes métodos de pesquisa são empregados, tais como estudos cognitivos experimentais, de intervenção e comparativos, na intenção de responder questões sobre o que subjaz a compreensão matemática, como acontece o desenvolvimento do conhecimento numérico e quais são os processos cognitivos envolvidos (GILMORE; GÖBEL; INGLIS, 2018). Uma das motivações de pesquisas na área da Cognição Numérica está no baixo desempenho dos estudantes em matemática e nas dificuldades de aprendizagem que os alunos enfrentam com a matemática na escola.

As avaliações nacionais e internacionais indicam um alto índice de não-proficiência dos estudantes brasileiros em relação à matemática. O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) de 2019, último disponível, indica que o país não está atingindo as metas estabelecidas, mesmo havendo um pequeno avanço no desempenho de uma avaliação para a outra. Dentre os três níveis da Educação Básica (Ensino Fundamental Inicial, Final e Ensino

Médio), apenas os Anos Iniciais do Ensino Fundamental conseguiram atingir a meta, os índices dos Anos Finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio ficaram abaixo da projeção, como é possível visualizar no Gráfico 1, em que são apresentados os dados das avaliações realizadas nos últimos dez anos.

Gráfico 1 – Resultados e Metas do IDEB no Brasil



Fonte: INEP

De acordo com os resultados internacionais, considerando as médias da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), 68,1% dos estudantes de 14 a 15 anos avaliados pelo Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA) no ano de 2018 apresentam um desempenho muito abaixo da média, não conseguindo atingir o nível 2 de proficiência em matemática, que é o nível mais básico (BRASIL, 2020). Isto significa que esses estudantes não estão aptos a utilizar conceitos básicos da matemática, como compreender situações em contextos que não exigem mais do que inferência direta e interpretação literal dos resultados, e a realizar procedimentos para resolver cálculos aritméticos simples, por exemplo (DORNELES, 2018; OECD, 2016).

Os resultados dessas avaliações de desempenho alertam para fatores preocupantes no ensino da matemática na Educação Básica. Ao mesmo tempo em que a matemática é essencial para a vida cotidiana, os estudantes brasileiros não estão atingindo níveis suficientes de proficiência nessa área do conhecimento. Com isso, a atenção dos pesquisadores volta-se para

entender os processos de ensino e de aprendizagem e para pensar maneiras eficazes de contribuir para o trabalho dos profissionais da educação, levando-se em consideração que esses processos são multifacetados, podendo envolver desde fatores sociais e econômicos, até questões de planejamento curricular e da prática em sala de aula. Assim, um desses fatores é a aprendizagem dos alunos, que é foco desta pesquisa, e a partir da qual podem ser estabelecidas estratégias de ensino mais eficazes e direcionadas para o melhor aproveitamento do potencial de cada aluno.

Outro fator importante a ser destacado é que dentre o grupo expressivo de estudantes com baixo desempenho em matemática, indicado pelas avaliações oficiais de desempenho, existe uma parte que apresenta dificuldades específicas em matemática. De acordo com alguns estudos, a prevalência de dificuldades em matemática nas crianças em idade escolar é estimada entre 5% e 8% (GEARY, 2004). Porém, muitas vezes isso só é verificado depois de alguns anos de escolarização, acarretando o aumento dessas dificuldades. Um estudo brasileiro realizado com 2.893 crianças paulistas, alunas do 1º ano do Ensino Fundamental de escolas públicas, indicou prevalência de 7,8% para discalculia do desenvolvimento (BASTOS *et al.*, 2016). Outro estudo realizado em quatro regiões brasileiras, considerando 1.618 participantes de 2º a 6º anos do Ensino Fundamental, encontrou prevalência de 6% para transtornos específicos da aprendizagem em relação à matemática (FORTES *et al.*, 2016). Esses dados são preocupantes e importantes para se pensar em métodos de avaliar, desde os primeiros anos escolares, crianças que estão apresentando dificuldades na matemática ou que estão em risco de desenvolverem dificuldades na área, para, a partir disso, possibilitar o acompanhamento precoce desses estudantes. Além disso, o conhecimento detalhado do tipo de dificuldade apresentada permite o planejamento de uma intervenção adequada às defasagens ou às capacidades de cada criança (TOLL *et al.*, 2011).

Por isso, a avaliação e a intervenção adequadas às necessidades de aprendizagem das crianças podem ser corroboradas por meio da identificação das habilidades cognitivas envolvidas na aprendizagem matemática. Como as dificuldades de aprendizagem são distintas e variam de acordo com cada caso, considerando as especificidades de cada aluno, uma possibilidade de melhor conhecer as habilidades subjacentes ao desempenho matemático é investigar alunos de desempenho típico, pois isso permite estabelecer uma compreensão mais generalizada do processo de aprendizagem para, então, analisar casos específicos de dificuldades de aprendizagem. Assim, mais estudos na área da cognição numérica são necessários para proporcionar mais entendimento e esclarecimento sobre os fatores que determinam a aprendizagem da matemática, especificamente nos Anos Iniciais do Ensino

Fundamental, momento em que é iniciado o ensino formal da matemática. Nesse sentido, a pesquisa apresentada nesta tese se propõe a: (a) revisar de forma sistemática quais habilidades têm sido indicadas pela literatura como precursoras do desempenho matemático; (b) investigar quais habilidades melhor predizem esse desempenho numa realidade brasileira e (c) verificar os efeitos de uma intervenção específica em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético.

Para atingir esses objetivos, três estudos foram conduzidos, que abrangem desde uma revisão sistemática da literatura, passando pela avaliação até chegar na intervenção. Essa composição de estudos que se complementam caracteriza a originalidade desta tese de doutorado, pois, até onde se sabe, nenhum trabalho anterior apresentou essa proposta de integração com essa perspectiva. Além do mais, esta pesquisa também considera a avaliação de habilidades preditoras do desempenho aritmético em estudantes brasileiros, o que também é inédito, e uma amostra de alunos em anos escolares mais avançados, que também é um diferencial, como será apontado na sequência do texto. Nas seções seguintes são apresentadas a revisão teórica acerca do tema central desta tese, bem como o método geral utilizado para condução dos três estudos, seguidos pelos capítulos que apresentam cada um dos estudos realizados e, por último, encerra-se com um capítulo de considerações finais.

1.1 DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES ARITMÉTICAS

Uma parte significativa do ensino da matemática nos Anos Iniciais da Educação Básica é dedicada à compreensão da aritmética, envolvendo a memorização de fatos aritméticos e os procedimentos das operações matemáticas (BRASIL, 2018; GILMORE; GÖBEL; INGLIS, 2018). Evidências indicam que são diversos os processos cognitivos envolvidos na aprendizagem da aritmética (p. ex. FUCHS *et al.*, 2014; GEARY, 2011; GIMBERT *et al.*, 2019) e que, por isso, esta pode ser entendida como um construto composto de vários componentes (DOWKER, 2005) e que depende de habilidades específicas e gerais para o seu desenvolvimento (p. ex. FUCHS *et al.*, 2014; GEARY, 2011; GILMORE; GÖBEL; INGLIS, 2018).

Para resolver tarefas aritméticas, muitas são as habilidades numéricas necessárias, que podem envolver o reconhecimento de número, procedimentos de contagem, estimativas e recuperação de fatos aritméticos (DOWKER, 2005; GILMORE; GÖBEL; INGLIS, 2018). Entretanto, a aritmética também envolve a capacidade de escolher uma estratégia de resolução e aplicá-la de maneira eficaz para obter sucesso nas tarefas. Esse processo de solução, além de exigir habilidades numéricas, também requer a demanda de habilidades gerais. Por exemplo,

podem ser solicitadas a memória de trabalho para reter temporariamente as informações e processá-las e habilidades de linguagem para entender a instrução aritmética proposta no problema (FUCHS *et al.*, 2014; LEFEVRE *et al.*, 2010; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007).

Mais do que isso, para um completo desenvolvimento da aritmética se faz necessário também entender os conceitos envolvidos, isto é, as relações entre números e operações. Tais relações podem ser trabalhadas com o desenvolvimento do raciocínio quantitativo, que também inclui conceitos sobre as propriedades matemáticas nos números inteiros (NUNES; BRYANT, 1997; NUNES *et al.*, 2016). Por meio da compreensão conceitual da aritmética será possível aplicar o conhecimento de forma a selecionar os procedimentos adequados para se chegar à resposta correta (GILMORE; GÖBEL, INGLIS, 2018).

Percebe-se, com isso, que muitas dessas habilidades podem influenciar o desempenho dos alunos na aritmética. Portanto, o conhecimento dos fatores cognitivos subjacentes e aqueles que são preditores do desenvolvimento das habilidades aritméticas permitirá aos professores uma organização do ensino mais direcionada a essas áreas. Isso, por sua vez, irá favorecer a aprendizagem dos alunos e, conseqüentemente, possibilitar um desenvolvimento completo da proficiência aritmética.

1.2 PREDITORES DO DESEMPENHO ARITMÉTICO

Aprender a construção do sistema numérico, saber como lidar com os números nas operações e compreender as relações entre as quantidades, é um processo bastante importante, o qual ocorre na escola e tem muitas aplicações na vida cotidiana. Por isso, quando algumas dessas habilidades, ou outras que constituem a aprendizagem da matemática, não estão bem desenvolvidas, podem causar dificuldades no desenvolvimento escolar e cognitivo (GEARY, 2004; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007). Devido à importância dessas habilidades no desenvolvimento intelectual da criança, entender quais são e como acontecem os processos cognitivos subjacentes a elas é essencial (MOELLER *et al.*, 2011).

Nesse sentido, algumas pesquisas estão direcionadas a determinar quais habilidades cognitivas desempenham um papel significativo na aquisição e no desenvolvimento das habilidades matemáticas (p. ex. GEARY, 2004; GEARY; HAMSON; HOARD, 2000; LASKI; SIEGLER, 2007; LINK; NUERK; MOELLER, 2014; MOORE; ASHCRAFT, 2015; NUNES *et al.*, 2009) e, mais recentemente, tem-se preocupado em identificar quais dessas habilidades cognitivas são precursoras do desempenho aritmético (p. ex. ARAGÓN *et al.*, 2019; DECKER;

ROBERTS, 2015; MOELLER *et al.*, 2011; PASSOLUNGHI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007). Conhecer as habilidades precursoras do desempenho nessa área se faz importante, pois pode fornecer uma base para o reconhecimento de crianças em risco de apresentar dificuldades de aprendizagem, o que possibilita, também, a aplicação de programas de intervenção destinados a auxiliar e fortalecer o desenvolvimento das habilidades matemáticas.

Já existem evidências de que algumas habilidades cognitivas são essenciais para o bom desempenho matemático, especificamente em cálculos aritméticos, exercendo um papel explicativo para esse desempenho, ou seja, sendo necessárias para a aprendizagem matemática e estabelecendo relação causal com o desempenho matemático futuro. Dentre elas, destacam-se habilidades numéricas iniciais como a transcodificação numérica (HABERMANN *et al.*, 2020; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019), que é a habilidade de ler e escrever os números em formato arábico, a estimativa numérica, que é a capacidade de determinar aproximadamente a localização espacial de um número em uma reta numérica (ARAGÓN *et al.*, 2019; GILMORE *et al.*, 2018), e a memória de trabalho, que se refere à habilidade de reter e manipular informações de forma temporária (GEARY, 2011; PASSOLUNGHI; LANFRANCHI, 2012; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018). Essas habilidades, quando desenvolvidas desde os primeiros anos escolares, irão fortalecer a compreensão numérica e, conseqüentemente, influenciar o desempenho matemático posterior dos estudantes. Conforme se estabelece a compreensão numérica inicial, outros conhecimentos vão sendo desenvolvidos, tais como as operações matemáticas, que exigem a conexão entre números e relações entre as quantidades representadas (NUNES; BRYANT, 2015). Essa compreensão da relação entre quantidades pode ser chamada de raciocínio quantitativo, que será importante para o desempenho matemático futuro e para a compreensão dos conceitos matemáticos envolvidos nas operações (CHING; NUNES, 2017; NUNES *et al.*, 2007; NUNES; BRYANT, 2015).

Entretanto, para outras habilidades ainda existem resultados controversos, como é o caso da consciência fonêmica (HECHT *et al.*, 2001; PASSOLUNGHI; LANFRANCHI, 2012), que é a habilidade mais avançada da consciência fonológica e se refere à capacidade de perceber e manipular os fonemas que constituem as palavras (LOPES-SILVA *et al.*, 2014; SOARES, 2019), ou resultados não bem definidos, como acontece com a compreensão leitora (ANDERSSON, 2008; TRÄFF, 2013). Para esta última, até onde se sabe, alguns estudos indicaram relação causal entre a capacidade de leitura de palavras e o desempenho aritmético (GILLIGAN; FLOURI; FARRAN, 2017; WONG; HO, 2017) e entre a compreensão de leitura e a recuperação de fatos aritméticos (ANDERSSON, 2008).

Convém salientar que o desempenho matemático pode ser avaliado por meio de testes que consideram o desempenho geral, que é medido por vários conhecimentos como cálculos aritméticos, resolução de problemas, geometria, medidas e interpretação de dados. Mas, também, muitas vezes somente é considerado o desempenho em cálculos aritméticos ou apenas a capacidade na resolução de problemas. Na literatura internacional, essa distinção na nomenclatura nem sempre ocorre, sendo determinada apenas por *mathematical achievement* (desempenho matemático) independentemente do que está de fato sendo avaliado na tarefa. Entretanto, na presente pesquisa o foco está exclusivamente na avaliação do desempenho aritmético, o que inclui a habilidade em resolver cálculos envolvendo as operações matemáticas.

A pesquisa apresentada nesta tese se propôs, primeiramente, a realizar uma revisão sistemática da literatura para reunir evidências sobre quais são as habilidades mais frequentemente relatadas como preditoras do desempenho aritmético e, com isso, tentar elucidar caminhos possíveis para pesquisas futuras, bem como orientar a prática pedagógica a partir de uma síntese estruturada e organizada sobre a temática. Além disso, esta pesquisa também investigou habilidades precursoras do desempenho aritmético, isto é, avaliou habilidades cognitivas que são consideradas pré-requisitos para a aprendizagem matemática e influenciam o desempenho dos estudantes especificamente na aritmética. Para isso, foram selecionadas, a partir das evidências na área, habilidades de interesse que podem exercer influência no desempenho aritmético dos estudantes, combinando habilidades mais comumente avaliadas com outras que necessitam de mais esclarecimentos sobre sua relação com a aritmética. As habilidades selecionadas podem ser classificadas em habilidades de domínio específico, que são demandadas exclusivamente para tarefas matemáticas; e de domínio geral, que são compartilhadas por várias áreas do conhecimento. Primeiramente são apresentadas as habilidades de domínio específico selecionadas, que são: transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo. Em seguida, discorre-se sobre as habilidades de domínio geral incluídas: memória de trabalho, consciência fonêmica e compreensão leitora. Cada uma das habilidades selecionadas é descrita a seguir com mais detalhes, salientando-se as evidências de sua relação com a aritmética.

1.2.1 Transcodificação Numérica

Compreender o número exige o processamento de representações verbais e arábicas, assim como do valor-posicional (por exemplo, entender que o algarismo “5” no número “57”

representa 5 dezenas e que o algarismo “7” representa 7 unidades). O processamento numérico também exige a habilidade de tradução entre as diferentes representações de número, isto é, ser capaz de traduzir a informação verbal “cinquenta e sete” para a notação arábica “57” (GEARY; HAMSON; HOARD, 2000). Esse processo de tradução entre as representações verbais e escrita na forma arábica do número é conhecido como transcodificação numérica e é considerado pela literatura uma habilidade numérica básica (GEARY; HAMSON; HOARD, 2000; LOPES-SILVA *et al.*, 2014; MOURA *et al.*, 2013, 2015).

A compreensão do sistema numérico e a sua notação por meio dos números arábicos são os principais desafios que os alunos enfrentam nos primeiros anos escolares, especialmente o entendimento do sistema do valor-posicional (GEARY, 2000; MOURA, *et al.*, 2015). A leitura e a escrita dos números em diferentes representações constituem um marco importante na aprendizagem matemática de uma criança que está iniciando sua vida escolar, pois leva tempo para ser compreendida e requer uma instrução formal (GEARY, 2000). Estudos sugerem que a escrita e a leitura de números impõem obstáculos significativos para crianças com dificuldade de aprendizagem em matemática com idades em torno dos 7 anos, observando que as crianças com discalculia ou dificuldades de aprendizagem em matemática apresentam dificuldades nas tarefas de transcodificação numérica (GEARY; HAMSON; HOARD, 2000; GEARY; HOARD; HAMSON, 1999). Além disso, as evidências sugerem que a tarefa de transcodificação numérica é sensível para identificar crianças com dificuldades em matemática (MOELLER *et al.*, 2011; MOURA *et al.*, 2013, 2015).

Estudos verificaram associações significativas entre transcodificação numérica e desempenho em matemática, e entre a leitura e a escrita de pequenos números e o desempenho formal em matemática (GEARY; HAMSON; HOARD, 2000; GEARY; HOARD; HAMSON, 1999). Também se tem evidências de que habilidades de transcodificação numérica são preditivas do desempenho em aritmética (HABERMANN *et al.*, 2020; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019; MOELLER *et al.*, 2011). Mais ainda, estudos mostraram que os erros em uma tarefa de escrita de números arábicos e a comparação de números de dois dígitos são importantes para caracterizar e prever o desempenho matemático em alunos dos primeiros anos escolares (MOELLER *et al.*, 2011; NUERK *et al.*, 2011).

Mais especificamente, Habermann e colaboradores (2020) investigaram o conhecimento arábico de números em crianças pequenas antes mesmo de sua exposição ao ensino formal da aritmética, na intenção de identificar se diferentes aspectos do conhecimento numérico (comparação simbólica e não simbólica, contagem e conhecimento arábico), avaliados aos 4 anos de idade, são preditores do desempenho aritmético dos estudantes no final

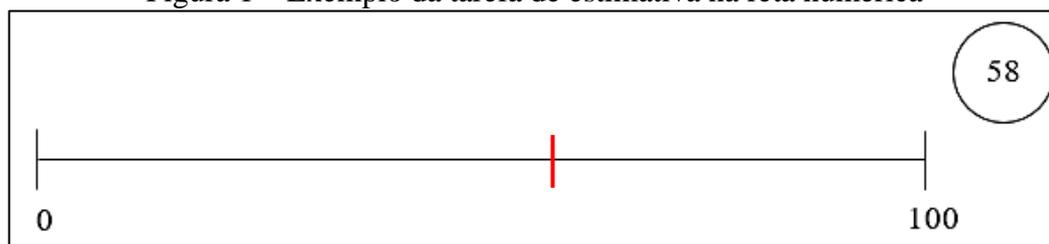
do 1º ano, aos 6 anos de idade. Dentre os principais resultados de interesse, destaca-se que o conhecimento arábico de número, composto pela identificação, leitura e escrita dos numerais, foi o único preditor do desempenho aritmético. A partir disso, os autores sugerem que a habilidade de transcodificação numérica fornece uma base essencial para o desenvolvimento da aritmética em crianças pequenas. Mais do que isso, a avaliação dessa habilidade apresenta-se como um indicador muito válido do conhecimento aritmético formal posterior, além de ser uma tarefa rápida e de alta confiabilidade (HABERMANN *et al.*, 2020).

Esses achados corroboram um estudo anterior realizado por Malone e colaboradores (2019), que também investigou, de forma longitudinal, preditores do desempenho aritmético em crianças no início da escolarização, sendo reavaliadas depois de um ano. As habilidades consideradas nesse estudo abrangeram discriminação de numerosidade, conhecimento arábico de número, contagem, linguagem, funcionamento executivo e gnosis digital. Os resultados mostraram que apenas o conhecimento arábico de números e a discriminação de numerosidade foram preditores únicos do desenvolvimento aritmético ao longo do primeiro ano escolar (MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019). De acordo com os autores, o conhecimento arábico dos números é importante para o desenvolvimento posterior das habilidades aritméticas. Assim, aprender o conjunto de símbolos numéricos e seus rótulos (nome dos números) parece ser uma habilidade fundamental para o desenvolvimento do conhecimento numérico e para o desempenho aritmético.

1.2.2 Estimativa Numérica

A estimativa numérica pode ser explicada como um processo de tradução entre representações quantitativas, no qual uma é aproximada e a outra é numérica (SIEGLER; BOOTH, 2004). Para exemplificar esse processo, pode-se pensar na própria tarefa comumente utilizada para avaliar a habilidade de realizar estimativas numéricas, em que uma reta numérica delimitada de 0 a 100, por exemplo, é mostrada para a criança e ela deve localizar nessa reta a posição de um determinado número, como ilustrado na Figura 1. Percebe-se que, nessa tarefa, é exigida uma tradução de um número em formato arábico para uma posição espacial na reta numérica (SIEGLER; THOMPSON; OPFER, 2009).

Figura 1 – Exemplo da tarefa de estimativa na reta numérica



Fonte: Elaborado pela autora

Essa habilidade entre as representações de número tem sido bastante investigada e os estudos sugerem que as crianças se apoiam em uma reta numérica mental para poderem representar magnitudes numéricas, ordená-las e realizar comparações numéricas (FRISO-VAN DEN BOS *et al.*, 2015; LASKI; SIEGLER, 2007). A compreensão de magnitudes numéricas é um componente central do senso numérico que, embora existam divergências teóricas quanto a sua definição, é amplamente considerado como crucial para o desempenho matemático (FRISO-VAN DEN BOS *et al.*, 2015; LASKI; SIEGLER, 2007).

A literatura indica a estimativa numérica como uma habilidade importante para a compreensão matemática, especificamente para a compreensão de número e do sistema numérico (ASHCRAFT; MOORE, 2012; BOOTH; SIEGLER, 2008; SIEGLER; THOMPSON; OPFER, 2009), também estando relacionada com competências numéricas básicas, como a categorização numérica e a comparação de magnitudes, e com competências complexas da aritmética, como os cálculos com as quatro operações fundamentais (LASKI; SIEGLER, 2007; LINK; NUERK; MOELLER, 2014). A estimativa numérica também já foi avaliada em estudantes brasileiros e os resultados mostraram que essa habilidade correlacionou-se significativamente com memória de trabalho e raciocínio quantitativo (NOGUES; DORNELES, 2020), além de indicar que estudantes mais velhos apresentaram melhor desempenho nas tarefas de estimativa na reta numérica (NOGUES; DORNELES, 2018), corroborando estudos prévios que sugerem uma melhora na precisão das estimativas conforme o avanço nos anos escolares (LINK; NUERK; MOELLER, 2014; SASANGUIE; VAN DEN BUSSCHE; REYNVOET, 2012).

A partir dos estudos mencionados, percebemos a importante relação entre estimativa numérica e desempenho matemático. Porém, esses achados não definem se existe uma relação causal entre ambas as medidas, isto é, se a acurácia em estimativa numérica é causa ou consequência do desempenho matemático. Nesse sentido, Geary (2011) encontrou correlação entre o desempenho em estimativa na reta numérica e o desempenho aritmético futuro. Seus resultados indicaram que o conhecimento na reta numérica de alunos do 1º ano do Ensino

Fundamental foi preditor do desempenho em operações numéricas nos anos posteriores. Mais ainda, esse estudo apontou que ser capaz de localizar com precisão os números na reta numérica pode ser uma base importante para a aprendizagem matemática posterior, assim como o conhecimento prévio de fatos básicos da aritmética (GEARY, 2011).

Esses achados são corroborados pelo estudo de Sasanguie e colaboradores (2012), no qual foi identificado que a estimativa na reta numérica nas duas versões apresentadas, simbólica e não simbólica, foi explicativa do desempenho matemático geral avaliado um ano depois. A partir disso, os autores sugerem que o processamento simbólico numérico está mais fortemente relacionado ao desempenho matemático do que o processamento de quantidades (não simbólico) (SASANGUIE; VAN DEN BUSSCHE; REYNVOET, 2012).

Mais do que isso, Gilmore e colegas (2018) identificaram que a estimativa na reta numérica foi o único preditor significativo para o desempenho aritmético conceitual mesmo quando avaliadas habilidades de domínio geral. Nesse estudo, foram incluídas habilidades de domínio geral e específico na intenção de verificar a influência dessas habilidades no desempenho aritmético conceitual (composição aditiva). Os resultados indicaram que somente a habilidade de estimar números em uma reta numérica foi explicativa do desempenho aritmético. As autoras também concluem que a precisão na tarefa de estimativa na reta numérica requer a compreensão do sistema numérico e de sua estrutura, especificamente da compreensão da relação de composição aditiva implícita no sistema numérico (GILMORE *et al.*, 2018). Com isso, reforça-se a importância da estimativa numérica para o desempenho aritmético, bem como sua influência para o desenvolvimento do conhecimento numérico futuro.

1.2.3 Raciocínio Quantitativo

O raciocínio matemático e o cálculo aritmético são duas habilidades essenciais para a aprendizagem matemática formal na escola. Realizar a distinção entre essas duas habilidades é interessante para entender que, como são habilidades que podem ser trabalhadas de forma separada na escola, também irão desempenhar um papel diferente na aprendizagem matemática das crianças (NUNES *et al.*, 2012). Nesse sentido, se faz necessário pensar não somente no desenvolvimento da habilidade de realizar cálculos aritméticos, mas também no desenvolvimento da habilidade de raciocinar sobre as relações quantitativas envolvidas nos problemas matemáticos.

As relações entre as quantidades são de grande importância para a aprendizagem da representação numérica, assim como para a aritmética. Compreender a diferença existente entre

raciocinar sobre as relações matemáticas envolvidas e o cálculo aritmético a ser feito se aplica a diversos problemas matemáticos e a relação quantitativa envolvida irá depender do tipo de problema apresentado (NUNES *et al.*, 2012). Identificar a relação entre as quantidades é a parte central na maioria dos problemas matemáticos a serem resolvidos, para só depois decidir o cálculo correto a ser feito para solucionar o problema.

Dentre essas relações quantitativas, algumas podem ser destacadas: a correspondência um-a-um, que está relacionada com a compreensão de cardinalidade, ou seja, se dois conjuntos contém o mesmo número de objetos, então cada objeto de um conjunto está em correspondência com um objeto do outro conjunto; a correspondência um-para-muitos, que se relaciona com a compreensão da multiplicação; e a relação inversa entre adição e subtração (NUNES *et al.*, 2007). Pensar e decidir sobre as relações entre as quantidades é o que se define como raciocínio quantitativo que, além disso, envolve usar números para representar quantidades e utilizar a operação adequada para se chegar a conclusões sobre as quantidades (NUNES *et al.*, 2016).

Para melhor entender essas relações, pode-se considerar o seguinte problema “Lorena fez 160 docinhos para a festa de aniversário de sua irmã. Ela irá colocar os docinhos em bandejas, em cada bandeja cabem 30 docinhos. De quantas bandejas ela precisará para acomodar todos os docinhos?”. Neste problema é necessário fazer a divisão de 160 por 30 para se chegar na resposta. Porém, observa-se que uma resposta do tipo 5,33 significa que o cálculo está correto e que o algoritmo foi utilizado de forma adequada, mas o raciocínio quantitativo está ausente. Isto é, não é possível obter 5,33 bandejas, então o raciocínio está na conclusão de que serão necessárias 6 bandejas para acomodar todos os doces. Quando um aluno responde dessa forma, ou seja, com o valor de 5,33 bandejas, percebe-se que a matemática foi aprendida sem conexão com significado (NUNES *et al.*, 2016).

No raciocínio quantitativo, duas relações quantitativas são suficientes para definir os diferentes tipos de problemas a serem aprendidos pelas crianças: raciocínio aditivo e multiplicativo. O raciocínio aditivo baseia-se nas relações parte todo entre as quantidades e o raciocínio multiplicativo baseia-se nas relações de correspondência um-para-muitos ou de razão entre as quantidades (NUNES *et al.*, 2016; NUNES; BRYANT, 1997). Essa classificação simplifica a análise dos tipos de problema e oferece uma contribuição significativa para a organização do currículo escolar (NUNES *et al.*, 2016).

Outro fator relevante a ser destacado é que já existem resultados que confirmam que o raciocínio quantitativo, quando desenvolvido nos primeiros anos escolares, contribui de forma significativa e preditiva para o desempenho matemático posterior (CHING; NUNES, 2017; NUNES *et al.*, 2007, 2012). As evidências indicam que o raciocínio quantitativo dos alunos nos

primeiros anos do Ensino Fundamental tem uma importante contribuição para o desempenho matemático escolar, mesmo quando controlados o nível intelectual e a capacidade de memória de trabalho dos estudantes (NUNES *et al.*, 2007, 2012). Além disso, quando comparadas as influências individuais da habilidade em cálculos aritméticos e do raciocínio quantitativo, este último irá produzir um retorno maior para o desempenho matemático dos alunos do que apenas saber aritmética (NUNES *et al.*, 2012). Assim, destaca-se como fator importante o investimento significativo no ensino do raciocínio quantitativo para favorecer o desenvolvimento do conhecimento matemático dos estudantes e, conseqüentemente, melhorar os índices de desempenho futuros.

1.2.4 Memória de Trabalho

A memória de trabalho é um sistema de memória que envolve o controle, o armazenamento e o processamento temporário de informações relevantes durante a realização de tarefas cognitivas (BADDELEY, 2011; RAGHUBAR; BARNES; HECHT, 2010). Em outras palavras, “é um sistema de memória que serve de base à nossa capacidade de ‘manter as coisas em mente’ ao realizarmos tarefas complexas” (BADDELEY, 2011, p. 22).

Um dos modelos de memória de trabalho mais utilizados em pesquisas na área da ciência cognitiva é o de Baddeley e Hitch (1974). Nesse modelo, os autores indicam a memória de trabalho como um sistema composto por três componentes: o executivo central responsável por processar, coordenar e manipular as informações que são armazenadas pelos componentes fonológico, que mantém informações verbais e auditivas, e visuoespacial, que mantém informações visuais e espaciais. Uma atualização desse modelo (BADDELEY, 2000) inclui um quarto componente, o *buffer* episódico, capaz de integrar informações armazenadas pelos componentes fonológico e visuoespacial com informações recuperadas da memória de longo prazo. O *buffer* episódico tem sido mais recentemente trabalhado e carece de tarefas consistentes para sua avaliação (NOBRE *et al.*, 2013), portanto sua relação com o desempenho matemático ainda não está bem definida.

Muitos estudos indicam a memória de trabalho como determinante para a aprendizagem matemática (ANDERSSON; LYXELL, 2007), especificamente associada à resolução de problemas matemáticos e aritmética (CORSO, 2008; GATHERCOLE; ALLOWAY, 2004; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007). Além disso, outros estudos indicaram a memória de trabalho como uma habilidade precursora da aprendizagem matemática inicial (ARAGÓN *et al.*, 2019; GEARY, 2011; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007;

PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018), mostrando melhoras significativas no desempenho da Educação Infantil para o 1º ano, e permanecendo com efeitos positivos ao longo dos anos iniciais do Ensino Fundamental, do 1º ao 5º ano (GEARY, 2011).

Ao considerar individualmente a contribuição de cada componente da memória de trabalho, tem-se que o executivo central é o principal responsável por explicar o desempenho matemático posterior (PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007; PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012). Os demais componentes vão variar em importância conforme o conteúdo e a complexidade da tarefa matemática proposta (GEARY, 2011). Entretanto, as evidências também sugerem que o componente executivo central varia em sua importância para o desempenho matemático ao longo dos anos escolares, tarefas mais simples não demandam tanto o executivo central, mas à medida que as tarefas vão ficando mais complexas, o executivo central surge como um fator de contribuição importante para as diferenças individuais no desempenho matemático (GEARY, 2011).

Outro aspecto importante a ser destacado se refere ao caso em que são consideradas conjuntamente memória de trabalho e habilidades numéricas. Quando isso ocorre, o valor de predição da memória de trabalho pode ser reduzido, visto que exercerá apenas efeito indireto no desempenho matemático. Assim, a memória de trabalho irá desempenhar um papel mais significativo como preditora das habilidades numéricas, que por sua vez irão mediar a relação entre memória de trabalho e o desempenho matemático geral (FUHS; HORNBERG; MCNEIL, 2016; PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012). Percebe-se, com isso, que a memória de trabalho é uma habilidade cognitiva frequentemente demandada em tarefas matemáticas. Mesmo exercendo efeitos diretos ou indiretos, é uma habilidade que está envolvida no processo de aprendizagem e apresenta relação causal com o desempenho matemático.

1.2.5 Consciência Fonêmica

A consciência fonêmica é um dos subcomponentes que compõem a consciência fonológica, que se refere à “capacidade de focalizar os sons das palavras, dissociando-as de seu significado e de segmentar as palavras nos sons que as constituem” (SOARES, 2019, p. 166). A consciência fonológica é um construto composto por diferentes níveis que se especificam de acordo com o grau de conhecimento demandado, classificando-se em consciência lexical (consciência da palavra), consciência silábica (consciência da sílaba, rimas e aliterações) e consciência fonêmica. Esta última, por sua vez, se refere à habilidade de associar grafemas

(letras) e seus respectivos fonemas (sons), sendo considerada como o nível mais avançado da consciência fonológica e, portanto, essencial para uma escrita alfabética (GILLON, 2017; SOARES, 2019).

Estudos indicaram associação da consciência fonológica com habilidades matemáticas básicas, como recuperação de fatos aritméticos e problemas aritméticos (DE SMEDT; BOETS, 2010; HECHT *et al.*, 2001; SÁNCHEZ; MATILLA; ORRANTIA, 2017), e com transcodificação numérica (LOPES-SILVA *et al.*, 2014). A habilidade de transcodificação numérica, isto é, de manipular os números sabendo convertê-los de uma representação para outra é um dos primeiros passos na aprendizagem matemática das crianças e depende, dentre outras habilidades, da consciência fonológica (LOPES-SILVA *et al.*, 2014; MOURA *et al.*, 2013). Mais especificamente, as evidências sugerem que limitações na capacidade de processamento fonológico podem restringir a capacidade de transcodificação, particularmente no caso de números com mais dígitos (LOPES-SILVA *et al.*, 2014).

Além disso, a consciência fonológica também foi identificada como preditora de habilidades matemáticas, especificamente em cálculos aritméticos (HECHT *et al.*, 2001; SÁNCHEZ; MATILLA; ORRANTIA, 2017). Mais ainda, indica-se que conhecimentos básicos de aritmética e processamento de números nas representações verbais e arábicas são precursores importantes para a aprendizagem matemática posterior (MOELLER *et al.*, 2011), além de ser um indicador de dificuldades de aprendizagem matemática (MOURA *et al.*, 2015; MOURA *et al.*, 2013).

Cabe salientar, entretanto, que os estudos diferem na forma de considerar a habilidade de consciência fonológica. Alguns estudos avaliam de forma completa o processamento fonológico, que inclui memória fonológica, consciência fonológica e velocidade de processamento, porém discriminam em suas análises cada uma dessas habilidades (HECHT *et al.*, 2001; SÁNCHEZ; MATILLA; ORRANTIA, 2017), o que facilita a interpretação separada de cada uma delas para o desempenho matemático. Outros estudos, no entanto, consideraram apenas a habilidade de consciência fonológica, mas utilizando tarefas de níveis específicos, por exemplo na pesquisa de Simmons, Singleton e Horne (2008) foi utilizada apenas a tarefa de consciência silábica como representante de consciência fonológica, já em Lopes-Silva e colaboradores (2014) foi considerado somente o nível de consciência fonêmica. Igualmente, os achados dessas pesquisas indicam a importância e o valor de explicação significativo do processamento fonológico, consciência fonológica e, mais especificamente, da consciência fonêmica para o desempenho aritmético. Assim, como a consciência fonêmica é o nível mais avançado da consciência fonológica, entende-se que as tarefas desse nível sirvam como

representantes da qualidade de consciência fonológica das crianças. Portanto, nesta tese, considerou-se a consciência fonêmica como medida preditora do desempenho aritmético.

1.2.6 Compreensão Leitora

Para a aprendizagem matemática, as crianças têm que lidar com diversas informações e diferentes tipos de representações. A competência matemática baseia-se em várias habilidades cognitivas, o que faz com que sua aprendizagem seja complexa e demande estudos para esclarecer maneiras que possam auxiliar no desenvolvimento de sua aprendizagem e pensar em formas de ensino mais eficazes. Nesse sentido, a leitura e a compreensão das informações lidas (compreensão leitora) podem desempenhar um papel importante nessa aprendizagem. Convém definir, a partir de Connor e colaboradores (2014), que a compreensão leitora pode ser entendida como uma atividade complexa que exige do aluno a coordenação de processos cognitivos, incluindo processos linguísticos e específicos do texto, como a decodificação, e processos regulatórios. Esses processos se desenvolvem ao longo do tempo e são recíprocos e interativos uns com os outros (CONNOR *et al.*, 2014).

Estudos indicaram correlação da leitura com cálculos aritméticos (BERG, 2008; TRÄFF, 2013). Especificamente, um estudo, que investigou a contribuição de diferentes habilidades cognitivas e numéricas para a aprendizagem matemática das crianças, apontou a existência de correlação entre uma tarefa de leitura, envolvendo a compreensão leitora, e o desempenho em cálculos aritméticos, recuperação de fatos aritméticos e resolução de problemas matemáticos (TRÄFF, 2013). Mesmo que a leitura e a aritmética usem diferentes estruturas cognitivas e representações (por exemplo, letras e consciência fonológica; números e conhecimento numérico), o desempenho nessas duas áreas baseia-se em processos cognitivos semelhantes (BERG, 2008).

Nesse sentido, existem evidências de que a leitura de palavras e a compreensão leitora são explicativas do desempenho em aritmética, mais especificamente essas habilidades predizem o desempenho na recuperação de fatos aritméticos e em cálculos (ANDERSSON, 2008; WONG; HO, 2017). Essa importância da habilidade de leitura para o desempenho aritmético pode ser explicada pelo fato de compartilharem do mesmo componente de recuperação de informações da memória de longo prazo, bem como por ambas as habilidades demandarem da consciência fonológica para sua correta execução (WONG; HO, 2017). Além disso, os processos de recuperação e codificação das informações, como palavras e fatos

aritméticos, quando não bem desenvolvidos poderão ocasionar em baixo desempenho em leitura e aritmética (WONG; HO, 2017).

Consistente com essas relações e considerando a escassez de estudos relacionando a compreensão leitora com o desempenho aritmético, nesta pesquisa a compreensão leitora foi avaliada como uma das habilidades preditoras para verificar possíveis relações ou interações com o desempenho aritmético.

1.3 INTERVENÇÕES EM HABILIDADES PREDITORAS DO DESEMPENHO ARITMÉTICO

Estudos têm investigado que o baixo desempenho em habilidades matemáticas no início da vida escolar acarretam problemas de inserção social adequada na vida adulta (GROSS; HUDSON; PRICE, 2009; PARSONS; BYNNER, 2005; REYNA *et al.*, 2009). Esse fator, junto com a taxa alta de estudantes com baixo desempenho (BRASIL, 2020) ou com dificuldade na matemática (BASTOS *et al.*, 2016; FORTES *et al.*, 2016; GEARY, 2004), destaca a importância de se intervir o quanto antes na aprendizagem dos estudantes para melhorar habilidades acadêmicas básicas e reduzir dificuldades de aprendizagem futuras (PASSOLUNGHI; COSTA, 2016).

Nesse sentido, pesquisadores na área da cognição numérica estão dedicando esforços para elucidar as habilidades cognitivas envolvidas na aprendizagem matemática e que causam um melhor desempenho nessa área (ARAGÓN *et al.*, 2019; CHING; NUNES, 2017; GEARY, 2011; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019) para, com isso, indicar possibilidades de intervenção baseadas em evidências. Mesmo assim, ainda pouco se sabe sobre a influência de diferentes efeitos de intervenção focadas em aprimorar habilidades preditoras para, a partir disso, melhorar o desempenho matemático (PASSOLUNGHI; COSTA, 2016).

Nessa perspectiva, alguns estudos indicam que incentivar o desenvolvimento de habilidades numéricas iniciais desde os primeiros anos de escolarização são eficazes para melhorar o desempenho das crianças em habilidades matemáticas específicas e em aritmética (FUCHS *et al.*, 2013; KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; MONONEN *et al.*, 2014; NUNES *et al.*, 2007). No momento inicial da escolarização, isto é, considerando a Educação Infantil e o 1º ano, são desenvolvidos o senso numérico, a contagem e alguns princípios iniciais da aritmética (KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; NUNES; BRYANT, 1997). Intervenções com esse objetivo mostram efeitos positivos tanto para a aprendizagem das crianças especificamente nessas habilidades (ASSIS; CORSO, 2019; PASSOLUNGHI; COSTA, 2016)

como para o desempenho aritmético (NUNES *et al.*, 2007; STERNER; WOLFF; HELENIUS, 2020).

Nesse sentido, Assis e Corso (2019) avaliaram os efeitos de uma intervenção em contagem, de quatro sessões, realizada com alunos de 1º ano do Ensino Fundamental, os quais foram separados em grupo controle e experimental. Ambos os grupos apresentaram melhoras significativas em suas habilidades de contagem, entretanto o avanço no desempenho do grupo experimental foi maior. Esse resultado indica a eficácia de um programa de intervenção curto e focado no desenvolvimento de uma habilidade matemática específica e essencial para o desempenho aritmético, além de apresentar atividades de fácil aplicabilidade em sala de aula.

Ainda sobre o desenvolvimento de habilidades específicas, Passolunghi e Costa (2016) compararam os efeitos de dois tipos de intervenção em alunos no final do último ano da Educação Infantil. As intervenções foram organizadas em 10 sessões e os participantes foram separados em três grupos: intervenção em habilidades numéricas iniciais, que envolveram contagem, representação linear dos números, relações entre número e quantidade e comparação de quantidades; intervenção em memória de trabalho; e um grupo controle que permaneceu apenas com as atividades regulares de sala de aula. Os resultados indicaram melhoras significativas no desempenho em habilidades numéricas iniciais dos dois grupos que receberam intervenção em comparação ao grupo controle. A partir disso, conclui-se que intervenções focadas em promover habilidades específicas beneficiam os alunos no desenvolvimento das habilidades precursoras que são fundamentais para a aprendizagem escolar posterior, além de auxiliar na prevenção de dificuldades de aprendizagem nesse nível pré-escolar.

Da mesma forma, porém verificando os efeitos da intervenção no desempenho aritmético dos estudantes, Sterner e colaboradores (2020) investigaram os efeitos de uma intervenção em senso numérico – envolvendo padrões numéricos, comparações de magnitudes, contagem, estimativa e transformações numéricas – com crianças do último ano da Educação Infantil. Para isso, os alunos foram separados em grupos controle e experimental, porém foram os próprios professores das turmas que aplicaram o programa de intervenção com práticas diárias durante suas aulas durante 10 semanas. Os professores receberam treinamento e orientação prévios. No final das atividades, os alunos foram avaliados em um pós-teste que considerou, além do desempenho no senso numérico, habilidades matemáticas em resolução de problemas apresentados oralmente e em cálculos aritméticos de adição e subtração. Os resultados indicaram avanços tanto no senso numérico quanto nas habilidades matemáticas de todos os participantes, com o grupo experimental apresentando um desempenho significativamente melhor nessas habilidades. A partir disso, entende-se que intervenções

escolares feitas com instrução explícita e sistemática pelos próprios professores em suas turmas são eficazes para desenvolver o senso numérico, que por sua vez será necessário para o desempenho matemático futuro (JORDAN; GLUTTING; RAMINENI, 2010).

À medida que os alunos desenvolvem as habilidades matemáticas básicas, agrega-se o desafio de melhorar sua capacidade de aplicar esses conhecimentos numéricos em situações de resolução de problema (FLETCHER *et al.*, 2009). Em relação a isso, Nunes e colaboradores (2007) conduziram uma intervenção em crianças de 6 anos de idade durante 12 semanas. Dois grupos foram formados: o grupo controle recebeu apenas o ensino regular da escola; enquanto o grupo experimental participou de atividades focadas no desenvolvimento do raciocínio quantitativo, envolvendo composição aditiva, relação inversa entre adição e subtração e correspondências. Os resultados mostraram que o grupo experimental obteve desempenho significativamente melhor tanto na avaliação de desempenho matemático, que envolveu resolução de problemas aritméticos, quanto na avaliação padronizada nacional realizada pela própria escola. Com esse estudo, atenta-se para o fato de que a compreensão da relação entre as quantidades melhorou a aprendizagem matemática das crianças, mostrando também efeitos de transferência para testes de desempenho matemático geral. Isso sugere que o desenvolvimento do raciocínio quantitativo irá auxiliar na assimilação do ensino de matemática regular recebido na escola (NUNES *et al.*, 2007).

Assim, percebe-se a importância de intervenções focadas nas habilidades preditoras do desempenho aritmético para o desenvolvimento do conhecimento matemático dos estudantes, além de guiarem e enriquecerem a prática docente por meio de evidências. Os resultados dos estudos descritos estão de acordo com uma revisão sistemática sobre o assunto que indicou que intervenções em habilidades numéricas iniciais podem ser promovidas de forma satisfatória com toda a turma, mesmo que as atividades sejam realizadas de forma individual ou em pequenos grupos em sala de aula, pois os alunos aproveitam mais a instrução conjunta com os demais colegas (MONONEN *et al.*, 2014).

Esses resultados também corroboram a meta-análise realizada por Kroesbergen e Van Luit (2003), na qual foram incluídos estudos de intervenção em matemática para estudantes com dificuldades de aprendizagem. Essa pesquisa mostrou que a maioria dos estudos analisados consideram intervenções em habilidades matemáticas básicas (KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003), que é um domínio amplo, mas essencial para o desenvolvimento matemático posterior dos estudantes (KISS; NELSON; CHRIST, 2019; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019). Além disso, esse estudo indicou que intervenções com instrução direta produzem maiores efeitos para o desempenho dos alunos, bem como o tempo de duração das intervenções também

influencia: intervenções curtas são mais eficazes, pois normalmente desenvolvem apenas um conceito, enquanto intervenções mais longas tendem a abranger mais conceitos matemáticos em sua programação. Para alunos com mais tempo de escolarização ou que já apresentem dificuldades matemáticas, as orientações de explicações explícitas e o uso de representações pictóricas ou concretas são efetivas para remediação dessas dificuldades (FLETCHER *et al.*, 2009). Por meio da instrução explícita podem ser abordadas habilidades conceituais e procedimentais da matemática, o que beneficia alunos com desempenho típico e atípico (FLETCHER *et al.*, 2009).

Destaca-se, com isso, a importância de se realizar intervenções baseadas em evidências, pois, assim, é possível manter um monitoramento do progresso dos alunos para, a partir disso, orientar de que forma pode ser amparada a aprendizagem matemática das crianças (MONONEN *et al.*, 2014). Entretanto, mais evidências são necessárias sobre programas de intervenção envolvendo as habilidades preditoras do desempenho aritmético, mas pensados para alunos de anos escolares mais avançados.

1.4 MÉTODO DA PESQUISA

Como já referido anteriormente, esta pesquisa inclui três estudos: o primeiro de revisão sistemática da literatura sobre o tema central desta tese; o segundo de avaliação das habilidades cognitivas preditoras do desempenho aritmético e o terceiro de intervenção em raciocínio quantitativo. Para isso, os estudos seguiram o método quantitativo para tratamento dos dados e interpretação dos resultados. O estudo de avaliação das habilidades cognitivas considerou estudantes de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental, os quais também participaram no estudo de intervenção. Porém, ao realizar as atividades da intervenção, os estudantes estavam nos 4º e 5º anos, pois houve um intervalo de aproximadamente um ano entre os dois estudos. Os 3º e 4º anos foram escolhidos por estarem entre o final do primeiro ciclo de alfabetização e início do segundo ciclo escolar, momento no qual espera-se que esses alunos já estejam alfabetizados. Outro motivo dessa escolha foi por esses alunos já estarem inseridos há mais tempo no contexto escolar, pois as habilidades avaliadas são influenciadas pela escolarização e algumas delas requerem um ensino formal da matemática.

Os objetivos principais desses estudos são: verificar na literatura o que já se sabe sobre as habilidades cognitivas precursoras do desempenho matemático, identificar quais das habilidades selecionadas melhor predizem o desempenho aritmético na realidade brasileira e

verificar os efeitos de uma intervenção em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético dos estudantes.

Para nortear a pesquisa, algumas questões são relevantes:

- a) Quais são as habilidades cognitivas mais frequentemente relatadas como preditoras do desempenho aritmético de estudantes dos Anos Iniciais?
- b) Na realidade brasileira, quais das habilidades cognitivas selecionadas melhor predizem o desempenho aritmético dos estudantes de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental?
- c) Uma intervenção focada no desenvolvimento do raciocínio quantitativo é eficaz para melhorar o desempenho aritmético dos estudantes de 4º e 5º anos?

Levanta-se como hipótese que as habilidades consideradas apresentem valor explicativo do desempenho aritmético, como já apontado em estudos anteriores (ANDERSSON, 2008; GILMORE *et al.*, 2018; HABERMANN *et al.*, 2020; NUNES *et al.*, 2007; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007; SÁNCHEZ; MATILLA; ORRANTIA, 2017). Em relação ao estudo interventivo, espera-se que o programa de intervenção seja eficaz, apresentando melhoras de desempenho para os estudantes, conforme estudo prévio (NUNES *et al.*, 2007)

Como cada estudo apresenta um método específico de coleta e tratamento dos dados, mais detalhes da condução de cada um, bem como a seleção da amostra e instrumentos utilizados são descritos nos capítulos destinados para cada estudo. Espera-se, com a realização dessa pesquisa, oportunizar às crianças possibilidades de obterem melhores desempenhos, assim como de proporcionar à comunidade acadêmica e escolar indicações de intervenções e de habilidades cognitivas importantes para o desenvolvimento matemático das crianças.

REFERÊNCIAS

ANDERSSON, U. Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 78, n. 2, p. 181–203, 2008.

ANDERSSON, U.; LYXELL, B. Working memory deficit in children with mathematical difficulties: A general or specific deficit? **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 96, n. 3, p. 197–228, 2007.

ARAGÓN, E. *et al.* Individual differences in general and specific cognitive precursors in early mathematical learning. **Psicothema**, Astúrias, Espanha, v. 31, n. 2, p. 156–162, 2019.

ASHCRAFT, M. H.; MOORE, A. M. Cognitive processes of numerical estimation in children. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 111, n. 2, p. 246–267, 2012.

ASSIS, É. F. de; CORSO, L. V. Intervenção em princípios de contagem com alunos de 1º ano do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, [s. l.], v. 100, n. 256, p. 733–751, 2019.

BADDELEY, A. Memória de Trabalho. *In*: BADDELEY, A.; ANDERSON, M. C.; EYSENCK, M. W. (org.). **Memória**. Artmed: Porto Alegre, 2011.

BADDELEY, A. The episodic buffer: A new component of working memory? **Trends in Cognitive Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 11, p. 417–423, 2000.

BASTOS, J. A. *et al.* The prevalence of developmental dyscalculia in Brazilian public school system. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, Academia Brasileira de Neurologia – ABNEURO: São Paulo, v. 74, n. 3, p. 201–206, 2016.

BERG, D. H. Working memory and arithmetic calculation in children: The contributory roles of processing speed, short-term memory, and reading. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 99, n. 4, p. 288–308, 2008.

BOOTH, J. L.; SIEGLER, R. S. Numerical Magnitude Representations Influence Arithmetic Learning. **Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 79, n. 4, p. 1016–1031, 2008.

BRASIL. **Base Nacional Comum (BNCC)**. Ministério da Educação (MEC), Brasília, 600 p., 2018. doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

BRASIL. **Relatório Brasil no PISA 2018**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2020. ISSN 1098-6596.v. 53. *E-book*.

CHING, B. H.-H.; NUNES, T. The Importance of Additive Reasoning in Children’s Mathematical Achievement: A Longitudinal Study. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 109, n. 4, p. 477-508, 2017.

CONNOR, C. M. *et al.* Comprehension tools for teachers: Reading for understanding from prekindergarten through fourth grade. **Educational Psychology Review**, Springer: Berlim, Alemanha, v. 26, p. 379–401, 2014.

CORSO, L. V. **Dificuldades na leitura e na matemática**: um estudo dos processos cognitivos em alunos de 3ª a 6ª série do Ensino Fundamental. 2008. 2018 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DE SMEDT, B.; BOETS, B. Phonological processing and arithmetic fact retrieval: Evidence from developmental dyslexia. **Neuropsychologia**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 48, n. 14, p. 3973–3981, 2010.

DECKER, S. L.; ROBERTS, A. M. Specific cognitive predictors of early math problem solving. **Psychology in the Schools**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 52, n. 5, p. 477–488, 2015.

DORNELES, B. V. Latin America. *In*: FRITZ, A.; HAASE, V. G.; RÄSÄNEN, P. (org.). **International Handbook of Mathematical Learning Difficulties From the Laboratory to**

the Classroom. 1. ed. New York: Springer International Publishing, 2018.

DOWKER, A. **Individual Differences in Arithmetic Implications for Psychology, Neuroscience and Education.** Londres: Psychology Press, 2005.

FLETCHER, J. M. *et al.* **Transtornos de aprendizagem da identificação à intervenção,** 1ª ed., 2009.

FORTES, I. S. *et al.* A cross-sectional study to assess the prevalence of DSM-5 specific learning disorders in representative school samples from the second to sixth grade in Brazil. **European Child & Adolescent Psychiatry,** Springer: Berlim, Alemanha, v. 25, n. 2, p. 195–207, 2016.

FRISO-VAN DEN BOS, I. *et al.* Longitudinal development of number line estimation and mathematics performance in primary school children. **Journal of Experimental Child Psychology,** Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 134, p. 12–29, 2015.

FUCHS, L. S. *et al.* Effects of First-Grade Number Knowledge Tutoring With Contrasting Forms of Practice. **Journal of Educational Psychology,** APA: Washington, EUA, v. 105, n. 1, p. 58–77, 2013.

FUCHS, L. S. *et al.* Sources of Individual Differences in Emerging Competence with Numeration Understanding versus Multidigit Calculation Skill. **Journal of Educational Psychology,** APA: Washington, EUA, v. 106, n. 2, p. 482–498, 2014.

FUHS, M. W.; HORNBERG, C. B.; MCNEIL, N. M. Specific early number skills mediate the association between executive functioning skills and mathematics achievement. **Developmental Psychology,** APA: Washington, EUA, v. 52, n. 8, p. 1217–1235, 2016.

GATHERCOLE, S. E.; ALLOWAY, T. P. Working memory and classroom learning. **Dyslexia Review,** [s. l.], v. 17, p. 1–41, 2004.

GEARY, D. C. Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. **Developmental Psychology,** APA: Washington, EUA, v. 47, n. 6, p. 1539–1552, 2011.

GEARY, D. C. From infancy to adulthood: the development of numerical abilities. **European Child & Adolescent Psychiatry,** Springer: Berlim, Alemanha, v. 9, n. II, p. 11–16, 2000.

GEARY, D. C. Mathematics and Learning Disabilities. **Journal of Learning Disabilities,** SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 37, n. 1, p. 4–15, 2004.

GEARY, D. C.; HAMSON, C. O.; HOARD, M. K. Numerical and Arithmetical Cognition: A Longitudinal Study of Process and Concept Deficits in Children with Learning Disability. **Journal of Experimental Child Psychology,** Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 77, n. 3, p. 236–263, 2000.

GEARY, D. C.; HOARD, M. K.; HAMSON, C. O. Numerical and Arithmetical Cognition: Patterns of Functions and Deficits in Children at Risk for a Mathematical Disability. **Journal of Experimental Child Psychology,** Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 74, n. 3, p. 213–239,

1999.

GILLIGAN, K. A.; FLOURI, E.; FARRAN, E. K. The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 163, p. 107–125, 2017.

GILLON, G. T. **Phonological Awareness, Second Edition: From Research to Practice**. 2. ed. Nova Iorque: Guilford Publications, 2017.

GILMORE, C. *et al.* Understanding arithmetic concepts: The role of domain-specific and domain-general skills. **PLoS ONE**, PLOS: São Francisco, EUA, v. 13, n. 9, p. 1–20, 2018.

GILMORE, C.; GÖBEL, S. M.; INGLIS, M. **An Introduction to Mathematical Cognition**. 2. ed. Abingdon, Oxon: Nova Iorque: Routledge, 2018.

GIMBERT, F. *et al.* What predicts mathematics achievement? Developmental change in 5- and 7-year-old children. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 178, p. 104–120, 2019.

GROSS, J.; HUDSON, C.; PRICE, D. The long term costs of numeracy difficulties. **The Long Term Costs of Numeracy Difficulties**, [s. l.], Every Child a Chance Trust and KPMG, 2009.

HABERMANN, S. *et al.* The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 193, n. 2020, p. 104794, 2020.

HECHT, S. A. *et al.* The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 79, n. 2, p. 192–227, 2001.

JORDAN, N. C.; GLUTTING, J.; RAMINENI, C. The Importance of Number Sense to Mathematics Achievement in First and Third Grades. **Learning and Individual Differences**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 20, n. 2, p. 82–88, 2010.

KISS, A. J.; NELSON, G.; CHRIST, T. J. Predicting Third-Grade Mathematics Achievement: A Longitudinal Investigation of the Role of Early Numeracy Skills. **Learning Disability Quarterly**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 42, n. 3, p. 161–174, 2019.

KROESBERGEN, E. H.; VAN LUIT, J. E. H. Mathematics Interventions for Children with Special Educational Needs: A Meta-Analysis. **Remedial and Special Education**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 24, n. 2, p. 97–114, 2003.

LASKI, E. V.; SIEGLER, R. S. Is 27 a big number? correlational and causal connections among numerical categorization, number line estimation, and numerical magnitude comparison. **Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 78, n. 6, p. 1723–1743, 2007.

LEFEVRE, J.-A. *et al.* Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance.

- Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 6, p. 1753-1767, 2010.
- LINK, T.; NUERK, H. C.; MOELLER, K. On the relation between the mental number line and arithmetic competencies. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 67, n. 8, p. 1597–1613, 2014.
- LOPES-SILVA, J. B. *et al.* Phonemic awareness as a pathway to number transcoding. **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 5, n. JAN, p. 1–9, 2014.
- MALONE, S. A.; BURGOYNE, K.; HULME, C. Number knowledge and the approximate number system are two critical foundations for early arithmetic development. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, 2019.
- MOELLER, K. *et al.* Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance—A longitudinal study on numerical development. **Research in Developmental Disabilities**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 32, n. 5, p. 1837–1851, 2011.
- MONONEN, R. *et al.* A Review of Early Numeracy Interventions for Children at Risk in Mathematics. **International Journal of Early Childhood Special Education**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 25–54, 2014.
- MOORE, A. M.; ASHCRAFT, M. H. Children’s mathematical performance: Five cognitive tasks across five grades. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 135, p. 1–24, 2015.
- MOURA, R. *et al.* From “Five” to 5 for 5 Minutes: Arabic Number Transcoding as a Short, Specific, and Sensitive Screening Tool for Mathematics Learning Difficulties. **Archives of Clinical Neuropsychology**, Oxford University Press: Oxford, Inglaterra, v. 30, n. 1, p. 88–98, 2015.
- MOURA, Ricardo *et al.* Transcoding abilities in typical and atypical mathematics achievers: The role of working memory and procedural and lexical competencies. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 116, n. 3, p. 707–727, 2013.
- NOBRE, A. de P. *et al.* Tasks for assessment of the episodic buffer: a systematic review. **Psychology & Neuroscience**, APA: Washington, EUA, v. 6, n. 3, p. 331–343, 2013.
- NOGUES, C. P.; DORNELES, B. V. Desempenho em Estimativa Numérica de um Grupo de Alunos de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. **Bolema**, Campinas, SP, v. 32, n. 60, p. 156–171, 2018.
- NUERK, H.-C. *et al.* Extending the Mental Number Line - A review of multi-digit number processing. **Journal of Psychology (Zeitschrift für Psychologie)**, Hogrefe: Boston, EUA, v. 219, n. 1, p. 3–22, 2011.
- NUNES, T. *et al.* **Development of maths capabilities and confidence in primary school**. No. Researed. London: Department of Children, Schools and Families, 2009. *E-book*.
- NUNES, T. *et al.* Teaching and Learning About Whole Numbers in Primary School. *In:*

ICME-13 TOPICAL SURVEYS. Springer Oed: Hamburg, Alemanha, 2016.

NUNES, T. *et al.* The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. **British Journal of Developmental Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 25, n. 1, p. 147–166, 2007.

NUNES, T. *et al.* The Relative Importance of Two Different Mathematical Abilities to Mathematical Achievement. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 136-156, 2012.

NUNES, T.; BRYANT, P. **Crianças fazendo matemática**. Artmed: Porto Alegre, 1997.

NUNES, T.; BRYANT, P. The Development of Mathematical Reasoning. **Handbook of Child Psychology and Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, p. 1–48, 2015.

OECD. Country Note - Brazil - Results from PISA 2015. **OECD**, p. 13, 2016.

PARSONS, S.; BYNNER, J. Does Numeracy Matter More ? **National Research and Development Centre for Adult Literacy and Numeracy**, UCL Institute of Education: Londres, Inglaterra, p. 1–37, 2005.

PASSOLUNGHI, M. C.; VERCELLONI, B.; SCHADEE, H. The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. **Cognitive Development**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 22, n. 2, p. 165–184, 2007.

PASSOLUNGHI, M. C.; COSTA, H. M. Working memory and early numeracy training in preschool children. **Child Neuropsychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 22, n. 1, p. 81–98, 2016.

PASSOLUNGHI, M. C.; LANFRANCHI, S. Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: A longitudinal study from kindergarten to first grade. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 42–63, 2012.

RAGHUBAR, K. P.; BARNES, M. A.; HECHT, S. A. Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. **Learning and Individual Differences**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 20, n. 2, p. 110–122, 2010.

REYNA, V. F. *et al.* How Numeracy Influences Risk Comprehension and Medical Decision Making. **Psychological Bulletin**, APA: Washington, EUA, v. 135, n. 6, p. 943–973, 2009.

SÁNCHEZ, R.; MATILLA, L.; ORRANTIA, J. Relaciones entre procesamiento fonológico y diferencias individuales en ejecución matemática: un estudio longitudinal. Resumen. *In: II Congreso Internacional Virtual sobre La Educación en el Siglo XXI*, n. 2, 2017/[S. l.]. **Anais [...]**, p. 432–442.

SASANGUIE, D.; VAN DEN BUSSCHE, E.; REYNVOET, B. Predictors for Mathematics Achievement? Evidence from a Longitudinal Study. **Mind, Brain, and Education**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 6, n. 3, p. 119-128, 2012.

SIEGLER, R.; BOOTH, J. Development of numerical estimation in young children. **Child development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 75, n. 2, p. 428–444, 2004.

SIEGLER, R. S.; THOMPSON, C. A.; OPFER, J. E. The logarithmic-to-linear shift: One learning sequence, many tasks, many time scales. **Mind, Brain, and Education**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 3, n. 3, p. 143–150, 2009.

SIMMONS, F.; SINGLETON, C.; HORNE, J. Brief report - Phonological awareness and visual-spatial sketchpad functioning predict early arithmetic attainment: Evidence from a longitudinal study. **European Journal of Cognitive Psychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 20, n. 4, p. 711–722, 2008.

SOARES, M. **Alfabetização: a questão dos métodos**. 1. ed., 3ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2019.

STERNER, G.; WOLFF, U.; HELENIUS, O. Reasoning about Representations: Effects of an Early Math Intervention. **Scandinavian Journal of Educational Research**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 64, n. 5, p. 782–800, 2020.

TOLL, S. W. M. *et al.* Executive functions as predictors of math learning disabilities. **Journal of Learning Disabilities**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 44, n. 6, p. 521–532, 2011.

TRÄFF, U. The contribution of general cognitive abilities and number abilities to different aspects of mathematics in children. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 116, n. 2, p. 139–156, 2013.

WONG, T. T.-Y.; HO, C. S.-H. Component Processes in Arithmetic Word-Problem Solving and Their Correlates. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washinton, EUA, v. 109, n. 4, p. 520-531, 2017.

XENIDOU-DERVOU, I. *et al.* Cognitive predictors of children's development in mathematics achievement: A latent growth modeling approach. **Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 21, n. 6, p. 1–14, 2018.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS PRECURSORES DO DESEMPENHO MATEMÁTICO INICIAL¹

Resumo

Na última década, muitos estudos têm se dedicado a investigar habilidades cognitivas subjacentes à aprendizagem matemática e, mais do que isso, a identificar quais habilidades são determinantes e explicativas do desempenho matemático futuro. Nesse sentido, a proposta deste estudo foi a de realizar uma revisão sistemática da literatura, com objetivo de identificar quais habilidades cognitivas de domínio geral e específico são indicadas com mais frequência como preditoras do desempenho matemático de estudantes dos anos iniciais do Ensino Fundamental. Para isso, 62 artigos que preencheram os critérios de elegibilidade foram incluídos a partir das bases de dados EMBASE, *American Psychological Association* (APA), PubMed/MEDLINE e *Educational Resources Information Center* (ERIC). Os resultados indicam que predominaram estudos longitudinais com amostras consideradas inicialmente na Educação Infantil e com avaliação do desempenho matemático no intervalo de um ano após a primeira avaliação. Além disso, memória de trabalho e habilidades numéricas iniciais são as habilidades cognitivas mais frequentemente relatadas como preditoras do desempenho matemático posterior, independentemente do ano escolar avaliado e do tipo de desempenho matemático considerado. Os achados deste estudo reúnem evidências que contribuem para a compreensão de quais habilidades cognitivas são fundamentais para a aprendizagem da matemática a longo prazo e indicam que tais habilidades podem ser inseridas no ensino escolar como recurso de prevenção de dificuldades matemáticas futuras.

Palavras-chave: Desempenho matemático; habilidades cognitivas; preditores

Abstract

In the last decade, many studies have been investigating cognitive skills underlying mathematical learning and more than that, identifying which skills are determinant and explanatory of future mathematical performance. In this sense, the purpose of this study was to carry out a systematic review of the literature, in order to identify which cognitive skills of general and specific domain are most frequently indicated as predictors of the mathematical achievement of students in the early years of elementary school. For that, 62 studies that met the eligibility criteria were included from the EMBASE, American Psychological Association (APA), PubMed/MEDLINE, and Educational Resources Information Center/ERIC databases. The results indicated that prevailed longitudinal studies with samples composed by kindergarten students and with evaluation of mathematical performance one year after the first assessment. In addition, working memory and early numerical skills are the cognitive abilities most often reported as predictors of subsequent mathematical achievement, regardless of the school grade assessed and the type of mathematical performance considered. The findings of this study gather evidence that contributes to the understanding of which cognitive skills are fundamental for long-term mathematics learning and that such skills can be inserted in school education as a resource to prevent future mathematical difficulties.

Keywords: Mathematical achievement; cognitive skills; predictors

¹ Este estudo foi publicado em inglês no periódico *International Journal of Educational Research Open* em 29 de janeiro de 2021. Esta é uma versão em português exclusiva para a apresentação desta tese, não podendo ser reproduzida ou compartilhada em outros meios. O artigo original é apresentado ao final deste capítulo, também está disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666374021000054>>.

2.1 INTRODUÇÃO

Aprender matemática requer uma série de habilidades cognitivas de base, tanto gerais quanto específicas, que determinam se esse processo será mais fácil e rápido para os estudantes. Por isso, se faz necessário identificar quais são as habilidades cognitivas envolvidas na aprendizagem matemática, no sentido de auxiliar o trabalho dos professores e, conseqüentemente, a aprendizagem dos alunos, minimizando, assim, o surgimento de dificuldades posteriores. O desenvolvimento de intervenções e estratégias de ensino eficazes para melhorar a aprendizagem matemática dos estudantes depende da identificação de habilidades de conhecimento quantitativo inicial que influenciam o desempenho posterior (GEARY, 2011).

Nesse sentido, estudos longitudinais identificaram a relação de habilidades numéricas iniciais e habilidades cognitivas gerais com o desempenho matemático posterior (p. ex. CARR *et al.*, 2020; GASHAJ *et al.*, 2019; GEARY, 2011; LEFEVRE *et al.*, 2010; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018). Um estudo longitudinal estado-unidense (GEARY, 2011) que avaliou tanto habilidades de domínio geral quanto de domínio específico e seu efeito no desempenho matemático de 177 crianças dos anos iniciais, cujo desempenho foi acompanhado do 1º ao 5º ano, identificou a velocidade de processamento, a memória de trabalho, assim como o reconhecimento de quantidades, a contagem e a estimativa numérica, como habilidades que contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento matemático ao longo desses anos. Os resultados desse estudo indicaram que essas habilidades também foram identificadas com valor explicativo do desempenho matemático, ou seja, quando avaliadas no início da vida escolar, predizem o desempenho matemático posterior. A partir dessas evidências, também se concluiu que o desempenho matemático e seu desenvolvimento ao longo do tempo são impulsionados por uma combinação de habilidades de domínio geral, que afetam várias áreas da aprendizagem, com habilidades de domínio específico, que influenciam unicamente a aprendizagem da matemática (GEARY, 2011).

Esses achados são corroborados por outros estudos que tiveram como foco a avaliação dos estudantes apenas no 1º ano, e que também destacam a memória de trabalho e habilidades numéricas iniciais como preditores do desempenho matemático posterior (p. ex. ARAGÓN *et al.*, 2019; NUNES *et al.*, 2007; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018). Entretanto, um estudo britânico que avaliou 77 estudantes de 7,8 a 10,8 anos de idade, que também considerou habilidades de domínio geral e específico

(GILMORE *et al.*, 2018), evidenciou, dentre as habilidades avaliadas, somente a estimativa na reta numérica como preditora do desempenho matemático, não obtendo resultados significativos para nenhuma das habilidades de domínio geral, entre elas a memória de trabalho. Esse estudo vai ao encontro de outras pesquisas que também investigaram ambas as habilidades de domínio e indicaram resultados diversos (p. ex. CIRINO, 2011; FANARI; MELONI; MASSIDDA, 2018; HAWES *et al.*, 2019; ORRANTIA *et al.*, 2018).

É válido ressaltar que, em estudos como o de Jordan e colaboradores (2010), no qual o desempenho dos mesmos alunos foi avaliado em mais de um ano escolar, os autores encontraram resultados diferentes sobre as habilidades preditoras para cada um dos anos. Esse estudo, também estado-unidense, teve como objetivo avaliar de forma longitudinal a contribuição única e preditiva do senso numérico e de habilidades gerais, como memória de trabalho e raciocínio espacial, em 175 estudantes de 1º ano, sendo avaliados posteriormente no 3º ano. A partir dos resultados, foi identificado que tanto o senso numérico quanto o raciocínio espacial foram preditores em ambos os anos escolares, porém a memória de trabalho foi explicativa apenas do desempenho matemático dos estudantes de 3º ano. A partir disso, pode ser levantada a hipótese de que as habilidades que influenciam o desempenho matemático dependem do ano escolar avaliado, bem como do tipo de desempenho matemático considerado, se aritmético ou resolução de problemas, por exemplo (KISS; NELSON; CHRIST, 2019; LEFEVRE *et al.*, 2010; TOLL; KROESBERGEN; VAN LUIT, 2016).

Assim, considerando as divergências e convergências entre os achados das pesquisas na mesma temática, salienta-se a importância de reunir e analisar os estudos já existentes para verificar as habilidades mais frequentemente relatadas como precursoras do desempenho matemático. Portanto, isso define a proposta do presente estudo, que tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre as habilidades cognitivas identificadas como preditoras do desempenho matemático, especificamente do desempenho aritmético, de estudantes dos anos iniciais. A intenção desta revisão sistemática está na possibilidade de se realizar um mapeamento sobre o que a literatura apresenta até o momento acerca dos precursores do desempenho matemático, isto é, quais habilidades, tanto de domínio geral quanto de domínio específico, estão sendo consideradas como explicativas desse desempenho. É relevante mencionar que esta revisão sistemática foi feita a partir da perspectiva da psicologia cognitiva, especificamente da cognição numérica. Assim, todos os artigos incluídos para análise estão embasados nessa mesma perspectiva teórica e consideram métodos de avaliação do desempenho dos estudantes que estão de acordo com a psicologia cognitiva.

O foco em alunos dos anos iniciais foi determinado a partir da compreensão de como acontece a aprendizagem matemática, a qual requer que habilidades básicas estejam bem consolidadas para o adequado desenvolvimento dessa área do conhecimento escolar (BUTTERWORTH, 2005; NUNES; BRYANT, 1997). Além disso, destaca-se a relevância da busca por pesquisas que apresentem análises de regressão e que façam uma descrição dos resultados a partir do ponto de vista de predição do desempenho matemático. Porém, cabe salientar que o desempenho matemático é muito amplo e envolve diversas áreas, como aritmética, álgebra, resolução de problemas, geometria, entre outras. Por isso, devido à faixa etária de investigação escolhida para esta revisão sistemática compreender alunos de Educação Infantil até 5º ano, optou-se por selecionar estudos que incluam a aritmética como principal área de avaliação do desempenho matemático, visto que a aritmética é eixo central do currículo da matemática nesse momento da escolarização (BRASIL, 2018), envolvendo o estudo dos números, operações e suas relações. Com isso, pretende-se reunir evidências de habilidades cognitivas que possam auxiliar no desenvolvimento matemático inicial dos estudantes.

Nesse sentido, conhecer os diferentes estudos que investigaram os precursores do desempenho matemático é fundamental para identificar o que já se sabe sobre o tema e quais conhecimentos podem ser ampliados em pesquisas futuras que contribuam na identificação das habilidades importantes para o desempenho matemático. Com isso, possibilita-se a avaliação dessas habilidades em crianças com ou sem dificuldades matemáticas e o planejamento de intervenções que auxiliem no desenvolvimento dessas habilidades e, conseqüentemente, do conhecimento matemático.

2.2 MÉTODO

Este estudo de revisão sistemática da literatura foi conduzido e reportado de acordo com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses – PRISMA* (MOHER *et al.*, 2015), o qual contém um conjunto de itens necessários a serem seguidos pelos autores, auxiliando-os na condução de um método padrão para a elaboração de uma revisão sistemática. O PRISMA é bastante utilizado em pesquisas da área da saúde, portanto alguns itens não são aplicáveis para a revisão de estudos na área da educação, mesmo assim, pela falta de métodos pensados para a área educacional, optou-se por adotar essas recomendações já existentes, realizando adaptações quando necessário. Dessa forma, foram seguidas as fases de identificação, triagem, elegibilidade, inclusão e extração de dados dos estudos incluídos. Todas as fases foram realizadas pela pesquisadora seguindo rigorosamente

os critérios pré-estabelecidos. Não foi realizado registro de protocolo desta revisão sistemática, devido ao assunto pesquisado não estar de acordo com o escopo da plataforma de registros.

2.2.1 Estratégia de busca

As bases de dados EMBASE, *American Psychological Association* (APA), *PubMED/MEDLINE* e *Educational Resources Information Center* (ERIC) foram escolhidas por estarem de acordo com os assuntos da área que se pretende estudar e por sua relevância acadêmica. Foram incluídos, também, artigos selecionados a partir de referências de pesquisa manual. A busca compreendeu artigos publicados até 03 de março de 2020 sem estabelecer data limite inicial, pois teve-se a intenção de abranger a maior parte possível dos estudos no assunto. As estratégias de busca foram aplicadas igualmente em todas as bases, considerando as palavras-chave: *(predictors) OR (precursors) AND (mathematics) AND (achievement)*. A palavra-chave *mathematics* (matemática) foi considerada porque a maioria dos autores utiliza esse termo para designar também o desempenho aritmético, que é foco desta revisão sistemática. De acordo com critérios pré-definidos, foram selecionados apenas artigos completos publicados em periódicos revisados por pares, podendo estar nas línguas inglesa, espanhola e portuguesa, e que tivessem como objetivo a investigação de habilidades cognitivas como preditoras do desempenho matemático em estudantes do Ensino Fundamental.

2.2.2 Critérios de elegibilidade

Na primeira fase, na de triagem, os artigos de interesse foram selecionados por meio da leitura dos títulos e resumos, sendo incluídos os estudos que estavam de acordo com o assunto a ser pesquisado, e foram excluídos os estudos duplicados ou sem relação com o tema. Após, foi realizada uma lista dos artigos elegíveis, os quais foram lidos parcialmente, levando-se em consideração principalmente o método, a amostra, as habilidades preditoras avaliadas e a variável desfecho considerada. Nessa fase de elegibilidade, foram atendidos os seguintes critérios de inclusão: a) amostra de alunos de Educação Infantil e de Anos Iniciais; b) amostra com desempenho típico; c) avaliação de habilidades cognitivas de domínio geral ou específico da aprendizagem; d) condução de análise de predição (análise de regressão); e e) desempenho matemático, relacionado ao desempenho aritmético, como variável desfecho. Como critérios de exclusão foram considerados: a) amostra menor do que 15 participantes; b) avaliação apenas de medidas sociais, psicológicas ou emocionais; c) avaliação de outras habilidades (por

exemplo: atividade cerebral, atividades físicas, motricidade fina, foco espontâneo em numerosidades); d) avaliação do método de ensino ou formação dos professores; e) avaliação a partir do nível de ensino dos pais ou incentivo escolar em casa; f) amostra composta por estudantes com dificuldade de aprendizagem, transtorno ou síndrome; e g) desfechos diferentes do desempenho aritmético ou que incluíram leitura ou resolução de problemas.

2.2.3 Critérios para inclusão dos artigos e seleção dos dados

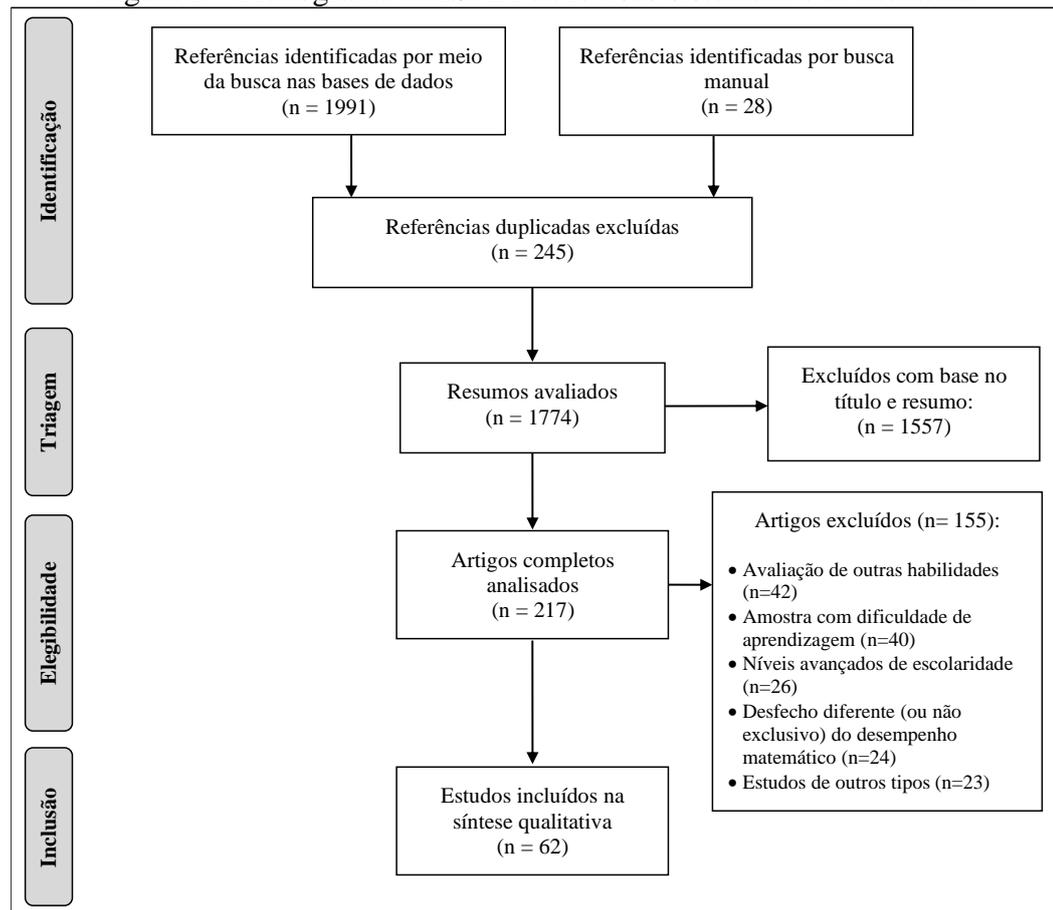
Em seguida, na fase de inclusão, foi realizada a leitura na íntegra dos estudos selecionados para posterior extração de dados. Os dados de interesse foram organizados em planilha, considerando as seguintes informações: a) ano de publicação; b) país em que o estudo foi conduzido; c) objetivo principal do estudo; d) características da amostra (faixa etária e nível escolar); e) momentos de avaliação; f) habilidades cognitivas avaliadas; g) variável desfecho considerada; h) resultados principais.

Para análise dos dados extraídos, foram consideradas: a frequência dos países de origem dos estudos; a média, mediana e intervalo do tamanho das amostras; os anos escolares avaliados; as habilidades cognitivas mais e menos frequentes na avaliação; as variáveis desfecho consideradas; e, de acordo com os resultados principais, as habilidades predictoras mais frequentes para o desempenho aritmético.

2.3 RESULTADOS

Inicialmente, a partir da busca nas bases referenciadas, foram identificados 1991 artigos e foram incluídos mais 28 estudos a partir da pesquisa manual, totalizando 2019 artigos (Figura 2). Após, na fase de triagem, foi feita a leitura dos títulos e resumos, sendo excluídos artigos duplicados e sem relação com o tema proposto como estudos que apresentaram variável desfecho diferente do desempenho aritmético, que não avaliaram habilidades cognitivas, que não tiveram como foco a análise de predição ou que a composição da amostra foi de níveis escolares mais avançados ou de crianças com dificuldade de aprendizagem, restando, assim, 217 estudos para leitura mais detalhada. Já na fase de elegibilidade foram excluídos 155 artigos de acordo com os critérios de exclusão mencionados anteriormente. Assim, permaneceram 62 estudos para leitura completa e síntese da análise qualitativa.

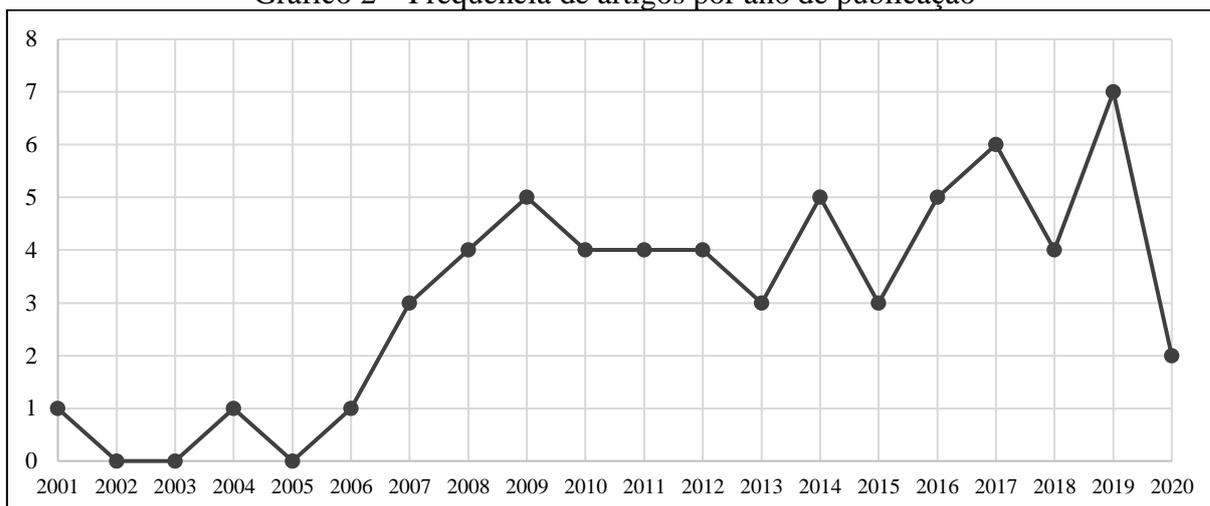
Figura 2 – Fluxograma PRISMA da revisão sistemática da literatura



Fonte: Adaptado de PRISMA (MOHER *et al.*, 2009)

A partir da seleção dos 62 artigos incluídos nesta revisão sistemática, foi possível identificar que o período de publicação desses estudos ficou entre 2001 e 2020, sendo o maior número de artigos selecionados correspondente ao ano de 2019 (n=7, 11,3%), como pode ser verificado no Gráfico 2. Em relação aos periódicos, os artigos selecionados distribuíram-se entre 31 periódicos, sendo aquele com maior quantidade de publicações no assunto o *Journal of Experimental Child Psychology* (n=11, 17,7%), seguido do *Journal of Educational Psychology* (n=7, 11,3%) e do *Developmental Psychology* (n=5, 8,1%).

Gráfico 2 – Frequência de artigos por ano de publicação

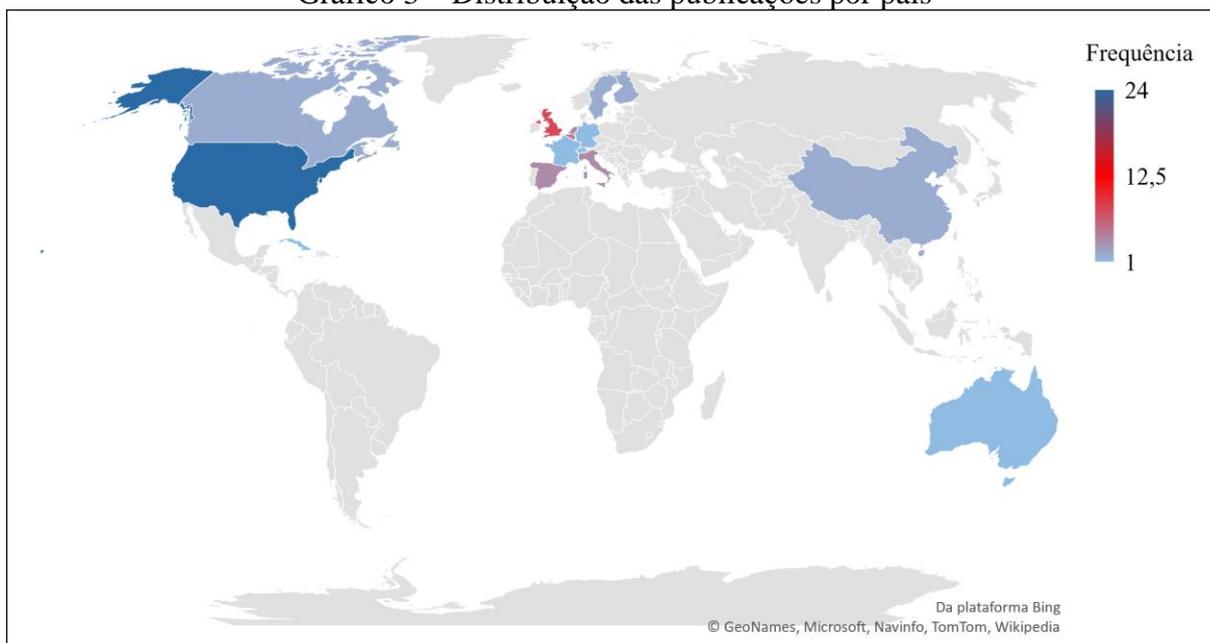


Fonte: Elaborado pela autora

Os dados foram coletados em 15 países, prevalecendo estudos conduzidos nos Estados Unidos ($n=24$, 38,7%), logo depois Reino Unido ($n=8$, 12,9%), Bélgica ($n=5$, 8,1%), Espanha, Holanda e Itália com quatro estudos realizados em cada um, seguidos por Canadá, China, Finlândia e Suécia com dois estudos em cada um deles, e, por fim, Alemanha, Austrália, Cuba, França e Suíça com apenas um estudo derivado de cada um desses países (Gráfico 3). A média do tamanho das amostras foi de 363,2 participantes, porém isso foi devido a alguns estudos derivarem de pesquisas de coortes, especificamente um que teve tamanho amostral de 12099 estudantes. Por isso, vale dizer que a mediana dos tamanhos amostrais foi de 148 alunos, sendo 17 a menor quantidade de participantes encontrada nos estudos e a segunda maior de 781 alunos, desconsiderando a maior delas que foi do estudo de coorte indicado anteriormente, de 12099 alunos. A média das idades dos participantes, considerando o momento de início das coletas de dados de todos os estudos, foi de 6,11 anos. As diferentes médias de idade apresentadas nos estudos abrangeram o intervalo de 3,8 a 10,3 anos.

Na maioria dos estudos prevaleceu a avaliação de crianças da Educação Infantil ($n=38$, 61,3%). O mais comum nesta revisão foram estudos longitudinais ($n=32$, 51,6%), com a testagem do desempenho matemático realizada um ano após a avaliação das habilidades predictoras, e 30 estudos (48,4%) em que o desfecho foi medido durante o mesmo ano letivo em que as demais habilidades cognitivas. O nível de escolarização desses estudantes variou da Educação Infantil como momento inicial, em que foram avaliadas as habilidades predictoras, até o 5º ano, para avaliação da variável desfecho.

Gráfico 3 – Distribuição das publicações por país



Fonte: Elaborado pela autora

Dos estudos analisados, 41 (66,1%) utilizaram como medida de desempenho matemático somente testes padronizados, 12 (19,35%) empregaram somente tarefas informais de pesquisa e 8 (12,9%) mediram o desempenho matemático a partir de uma combinação entre testes padronizados e tarefas informais. Também se constatou que apenas 15 artigos (24,2%) do total analisado avaliaram somente o desempenho aritmético, os demais 47 artigos (75,8%) mediram o desempenho matemático geral dos estudantes, que incluiu conhecimentos numérico, aritmético, resolução de problemas, e em alguns até noções de geometria, por exemplo. Na Tabela 1, apresenta-se a uma síntese da descrição dos estudos selecionados, na qual podem ser verificados mais detalhes de cada um.

Também pode-se verificar que a maioria ($n=48$, 77,4%) dos artigos avaliou tanto medidas de domínio específico quanto de domínio geral, sendo que 5 (8,1%) avaliaram apenas habilidades de domínio específico e 9 (14,5%) apenas de domínio geral. A partir dessa síntese dos estudos, também pode-se perceber que as habilidades de domínio específico preditoras mais frequentes no desempenho matemático são: habilidades numéricas iniciais – seriação, identificação e nomeação de números, sequência numérica, discriminação de quantidades; contagem – cardinalidade, estratégias de contagem; e comparação de quantidades simbólicas. Da mesma forma, as habilidades de domínio geral são: memória de trabalho, quociente de inteligência (verbal e não-verbal); funções executivas e consciência fonológica.

Outro fator interessante de ser destacado são as diferenças e semelhanças encontradas nas variáveis preditoras do desempenho aritmético. Vale ressaltar que, do total de artigos

incluídos, 28 (45,2%) avaliaram a memória de trabalho e desses, 21 (75%) a encontraram como preditora. Já a segunda habilidade com mais frequência de avaliação foi o nível intelectual dos estudantes, em que 28 artigos (45,2%) consideraram essa habilidade e 14 (50%) a identificaram como preditora do desempenho matemático. Ao verificar as habilidades de domínio específico, dos 26 estudos (41,9%) que consideraram habilidades numéricas iniciais em suas avaliações, 25 (96,15%) relataram que essas medidas foram explicativas para o desempenho matemático posterior. Apenas um estudo (FUHS; HORNBURG; MCNEIL, 2016) avaliou as habilidades iniciais, mas não as encontrou com valor significativo de predição. Isso ocorreu provavelmente porque no modelo de análise de regressão essas variáveis foram inseridas conjuntamente com o desempenho matemático geral, o qual foi medido também no primeiro momento de avaliação, e esse desempenho avaliado na Educação Infantil foi responsável por explicar boa parte do desempenho matemático posterior, avaliado no 2º ano (tamanho de efeito $\beta=0,48$). Na sequência das análises desse estudo, os próprios autores mostram os efeitos indiretos das habilidades numéricas iniciais, as quais foram responsáveis por mediar a relação direta entre os desempenhos matemáticos anterior (Educação Infantil) e posterior (2º ano).

Sobre a contagem, a segunda habilidade específica com mais recorrência nos estudos, apareceu como preditora em 12 (70,6%) estudos dos 17 (27,4%) que as incluíram em suas análises. Aqui cabe mencionar, também, que alguns estudos consideraram a contagem como parte das habilidades iniciais, não a separando em suas análises (p. ex. JORDAN *et al.*, 2009), assim como estudos que a consideraram como parte do senso numérico e que também não a separaram em suas análises (p. ex. JORDAN *et al.*, 2007).

A partir das análises, pode-se dizer que nos primeiros anos escolares, da Educação Infantil até o 2º ano, habilidades mais básicas são essenciais, como o sistema numérico aproximado (ANS), reconhecimento e leitura de números e identificação de quantidades (p. ex. CIRINO, 2011; GIMBERT *et al.*, 2019; MAZZOCCO; FEIGENSON; HALBERDA, 2011; VAN MARLE *et al.*, 2014). Conforme o avanço nos anos escolares, a aprendizagem matemática vai dependendo de habilidades um pouco mais complexas, como conhecimentos aritméticos, que incluem operações numéricas (adição e subtração), fatos aritméticos, resolução de cálculos a partir de algoritmos ou estratégias de cálculo mental (CASEY *et al.*, 2017; GILMORE *et al.*, 2018).

Entretanto, algumas habilidades são importantes predictoras ao longo de todo esse período de escolarização e são compartilhadas entre todos esses níveis de conhecimento matemático, que são a contagem, a estimativa numérica e as habilidades numéricas iniciais – que incluem reconhecimento de números (compreensão do sistema numérico), comparação de

quantidades simbólicas, senso numérico, o qual foi identificado como preditor do desempenho matemático até o 3º ano, e o *subitizing*, verificado no desempenho de alunos de 4º e 5º anos. Algumas diferenças entre os valores de explicação e o nível de significância das habilidades avaliadas também aparecem de acordo com os instrumentos utilizados, bem como pelas definições teóricas seguidas pelos autores sobre cada habilidade cognitiva.

Em relação às habilidades de domínio geral, percebe-se que a maioria das escolhidas para avaliação são demandadas ao longo das primeiras etapas de escolarização, ou seja, desde a Educação Infantil até o 5º ano, variando apenas de acordo com as escolhas de instrumentos que foram utilizados ou pelo foco do estudo dar preferência à avaliação de determinada habilidade ou de certo conjunto de habilidades. Por isso, não foi possível identificar nenhuma tendência de habilidades preditoras mais recorrentes em cada ano escolar, pois as habilidades foram importantes e explicativas do desempenho matemático dos estudantes ao longo de todos esses anos de escolarização. Foram elas: memória de trabalho, consciência fonológica (com exceção do 2º ano), nível intelectual (QI), algum tipo de habilidade espacial, seja a nível de memória, orientação ou atenção, e velocidade de processamento.

Da mesma forma, essas habilidades também variam seu nível de explicação dependendo do que for avaliado como desempenho matemático, ou seja, quando se faz distinção entre desempenho somente aritmético, que inclui cálculos, algoritmos, fluência, e desempenho matemático geral, que considera, além da habilidade em resolver cálculos, resolução de problemas, medidas, geometria, álgebra e outros. Tanto memória de trabalho quanto habilidades numéricas iniciais foram as habilidades cognitivas relatadas com mais frequência como preditoras de ambos os tipos de desempenho; seguidas por comparação simbólica e não simbólica e habilidades de linguagem (escrita, leitura de palavras, fluência verbal, vocabulário) para o desempenho aritmético; e contagem e QI para o desempenho matemático geral.

É interessante salientar que os modelos de regressão considerados foram todos aqueles em que os pesquisadores inseriram todas as variáveis ao mesmo tempo no modelo. Porém, isso serve apenas como relato informativo, considerando a impossibilidade de comparação desses modelos e valores explicativos encontrados, pois isso se deverá muito às habilidades escolhidas, bem como aos instrumentos utilizados e à amostra avaliada. Entretanto, é importante destacar que alguns resultados, independentemente desses fatores diversos, permanecem similares, inclusive em países e culturas diferentes. Isso permite levantar como hipótese a possibilidade de algumas habilidades cognitivas poderem ser consideradas como universais para o desenvolvimento do conhecimento matemático.

A seguir, apresenta-se a Tabela 1 com a síntese de todos os estudos analisados nesta revisão organizados por ordem cronológica. Também foi calculado o fator de impacto (FI) de cada artigo incluído nesta revisão, isto é, os estudos com maior quantidade de citações. Para tal, foi considerado o número total de citações de cada artigo dividido pelo tempo (em meses), desde a sua publicação até a data da realização da etapa de busca desta revisão. A quantidade de citações foi adquirida a partir da busca pelo título de cada artigo no site *Google Acadêmico*, o qual é um serviço de buscas bastante amplo e capaz de identificar a quantidade de trabalhos em que cada artigo foi referenciado. Entretanto, sabe-se que alguns fatores como idioma do artigo e o tempo recente de publicação, já que alguns foram publicados em 2020, mesmo ano de elaboração desta revisão sistemática, podem interferir nesse valor calculado. Assim, os estudos com maior fator de impacto foram: Bull *et al.*, 2008 (FI=12,22); Jordan *et al.*, 2009 (FI=6,97); e Geary, 2011 (FI=6,68). A partir disso, entende-se que esses foram os artigos mais referenciados até o momento dentre os incluídos nesta revisão, portanto possuem maior impacto na área acadêmica e são mais consultados para a realização de pesquisas sobre o mesmo assunto.

Tabela 1 – Descrição resumida de cada um dos estudos selecionados para a revisão sistemática

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Hecht <i>et al.</i> , 2001 (FI = 2,84)	201	7,7 anos	Do 2º ao 5º ano		Leitura, memória fonológica, consciência fonológica, velocidade de nomeação, QI	Habilidades em cálculo: (quatro operações, frações, álgebra - WJ-III); aritmética simples (cálculo mental)	2º para 3º ano e 2º para 5º ano: memória fonológica (0,05 e 0,03), taxa de acesso (0,12 e 0,07), e consciência fonológica (0,06 e 0,11) 3º para 4º ano: consciência fonológica (0,06) 4º para 5º ano: consciência fonológica (0,02)
Aunola <i>et al.</i> , 2004 (FI = 4,88)	194	6,25 anos	Pré-escola, 1º ano e 2º ano	Capacidade de contagem	Atenção visual, conhecimento metacognitivo, compreensão auditiva	Desempenho matemático: <i>Diagnostic Test for Basic Mathematical Concepts</i> - Teste padronizado. Considerou: conhecimento de números ordinais e cardinais, conceitos matemáticos básicos, identificação de números, problema simples, aritmética básica	Capacidade de contagem (0,62); conhecimento metacognitivo (0,17); compreensão auditiva (0,16)
Fuchs <i>et al.</i> , 2006 (FI = 3,82)	312	Não informado	3º ano	Resolução de problemas não verbais	Linguagem; formação de conceitos; velocidade de processamento; memória de longo prazo; memória de trabalho; comportamento de atenção; decodificação fonológica e leitura	Aritmética (fluência em cálculos de adição e subtração); cálculos com números de dois dígitos; problemas aritméticos com números até 9	Aritmética: atenção (0,24); velocidade de processamento (0,33); e decodificação fonológica (0,16) Cálculos com números de dois dígitos: atenção (0,37) Problemas aritméticos: resolução de problemas não-verbais (0,16), formação de conceito (0,20), leitura (0,11), linguagem (0,18) e atenção (0,19)
Nunes <i>et al.</i> , 2007 (FI = 1,03)	53	6 anos	1º ano (após, 2º ano)	Competência lógica (conhecimento de leitura e escrita de números, compreensão das relações e operações entre os números)	BAS II – habilidades cognitivas gerais (habilidade quantitativa; similaridades verbais; habilidades numéricas e matrizes); Memória de trabalho (memória de contagem e memória de dígitos em ordem inversa)	<i>SATs-Maths</i> (teste padronizado): conhecimento numérico, operações básicas	Competência lógica (0,45); memória de contagem (0,12); inteligência - BAS II (0,39)
Passolunghi; Vercelloni; Schadee, 2007 (FI = 2,65)	170	6,3 anos	1º ano	Competência numérica (escrita e leitura de números, comparação de magnitudes, habilidade de contagem)	Memória de trabalho; memória de curto prazo; habilidade fonológica; QI	Teste padronizado para 1º ano (lógica, aritmética e geometria)	Memória de trabalho (0,38), especificamente o executivo central, e contagem verbal (-0,54)
Jordan <i>et al.</i> , 2007 (FI = 4,51)	277	5,58 anos	Educação Infantil e 1º ano	Senso numérico (contagem, conhecimento numérico, cálculo não-verbal, problemas de aritmética, combinações de números)	Leitura (fluência de nomeação de letras, fluência de segmentação de fonemas e fluência de palavras sem sentido)	Desempenho matemático: <i>WJ - III</i> (teste padronizado) - cálculo e problemas matemáticos	Senso numérico (0,72)
Andersson, 2008 (FI = 1,42)	141	10,3 anos	3º e 4º anos		Leitura e compreensão; Memória de trabalho (executivo central, componente fonológico e componente visuoespacial)	Aritmética (adição, subtração e multiplicação) e recuperação de fatos aritméticos	Aritmética: span de contagem (0,24); fluência verbal (0,14); criação de trilhas (-0,19); span de dígitos (0,17); idade (0,15); QI (0,18) e leitura (0,30) Recuperação de fatos aritméticos: leitura (0,34); fluência verbal (0,19) e criação de trilhas (-0,17)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Bull; Espy; Wiebe, 2008 (FI = 12,22)	104	4,5 anos	Educação Infantil (após, 1º e 3º anos)		Tarefas de executivo central, memória de curto prazo e memória de trabalho	<i>Performance Indicators in Primary School (PIPS)</i> – avalia o conhecimento número básico, fonética e habilidades de leitura	No início do 1º ano: Memória visuoespacial de curto prazo ($r^2=8,3\%$), memória verbal de curto prazo ($r^2=2,9\%$), memória de trabalho verbal ($r^2=7,1\%$), controle inibitório ($r^2=3,3\%$) e planejamento e monitoramento ($r^2=5\%$) No final do 1º ano: Memória visuoespacial de curto prazo ($r^2=2,7\%$) Ao final do 3º ano: Memória de trabalho visuoespacial ($r^2=5,5\%$)
Locuniak; Jordan, 2008 (FI = 2,53)	198	5,5 anos	Educação Infantil e 2º ano	Senso numérico (contagem, conhecimento numérico, cálculo não-verbal, problemas aritméticos, e combinações numéricas)	Leitura (fluência de nomeação de letras, fluência em segmentação de fonemas e fluência em palavras sem sentido) Medidas cognitivas (span da memória de dígitos e QI (WASI - vocabulário e raciocínio não-verbal))	Fluência em cálculos (<i>Assessment of Math Fact Fluency</i>) - adição até 18, e subtração com minuendos até 18	$R^2=42\%$ Senso numérico - conhecimento numérico (0,17), combinações numéricas (0,28) Memória de trabalho - memória de dígitos em ordem inversa (0,14)
Simmons; Singleton; Horne, 2008 (FI = 0,89)	42	5,2 anos	Não informado (avaliação do desfecho 1 ano depois)		Funcionamento visuoespacial, consciência fonológica, vocabulário, raciocínio não-verbal	Aritmética: <i>British Ability Scales Number Skills Test (BAS Number)</i> teste padronizado que avalia a solução de problemas simples aritméticos	$R^2=41\%$ - funcionamento visuoespacial (0,32) e consciência fonológica (0,30)
De Smedt <i>et al.</i> , 2009 (FI = 3,26)	106	6,25 anos	1º e 2º ano		Memória de trabalho (executivo central, componentes fonológico e visuoespacial) e QI não-verbal	Desempenho matemático (<i>Flemish Student Monitoring System</i> - teste padronizado) – conhecimento numérico, compreensão das operações, aritmética simples, problemas e medidas	1º ano: $R^2=42\%$ - componente visuoespacial (0,34), executivo central (0,26), QI não-verbal (0,21) 2º ano: $R^2=49\%$ - componente fonológico (0,24), QI não-verbal (0,42)
De Smedt; Verschaffel; Ghesquière, 2009 (FI = 3,20)	42	6,3 anos	1º ano (após, 2º ano)	Comparação numérica, leitura de números	QI não-verbal	Desempenho matemático: <i>Flemish Student Monitoring System</i> (teste padronizado). Avalia domínio do sistema numérico até 20, conhecimento numérico, compreensão das operações, aritmética simples, problemas e medidas.	Comparação numérica (0,34)
Desoete <i>et al.</i> , 2009 (FI = 6,44)	158	Não informado	1º, 2º e 3º (após, 3º, 4º, 5º)	TEDI-MATH: seriação, classificação, contagem procedimental, contagem conceitual		Desempenho aritmético: <i>Kortrijk Arithmetic Test–Revision - KRT-R</i> (teste padronizado). Avalia aritmética mental e conhecimento numérico. Habilidade numérica: <i>Arithmetic Tempo Test (ATT)</i> , no qual a criança deve resolver a maior quantidade de fatos numéricos (4 operações) possíveis em 5 minutos.	Desempenho aritmético – 3º ano: contagem conceitual (0,45) e habilidade numérica (0,55) 4º ano: contagem conceitual (-0,22) e habilidade numérica (0,22) 5º ano: habilidade numérica (0,34) Habilidade numérica – 3º ano: contagem procedimental (0,54) 5º ano: contagem procedimental (0,30)
Jordan <i>et al.</i> , 2009 (FI = 6,97)	196	5,5 anos	Educação Infantil (após, 1º e 3º ano)	Competência numérica: contagem, reconhecimento de números, comparações numéricas, cálculos não-verbais, problemas e combinações numéricas		Desempenho matemático: WJ-III (teste padronizado). subteste cálculos (WJCalc) mede a habilidade ao resolver cálculos convencionais. Subteste de problemas aplicados (WJApp) exige resolver problemas apresentados de forma oral	Competência numérica (0,96)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Krajewski; Schneider, 2009 (FI = 3,07)	130	6,25 anos	Educação Infantil, 1º ano e 4º ano	Habilidades numéricas básicas: sequência numérica, contagem; e QNC: comparação de quantidades e seriação quantidade/palavra-número	Inteligência não-verbal, memória fonológica, velocidade de acesso a memória de longo prazo, status socioeconômico	Desempenho matemático: velocidade de recuperação de fatos aritméticos e dois testes (1º e 4º anos) padronizados na Alemanha (estimativa numérica, adição, subtração, multiplicação, divisão, matemática prática e geometria)	Recuperação de fatos aritméticos no 1º ano: QNC (0,35) e velocidade de nomeação de números (0,30). Desempenho matemático no 1º ano: recuperação de fatos (0,33), habilidades numéricas básicas (0,42). Desempenho matemático no 4º ano: velocidade de nomeação de números (0,26), status socioeconômico (0,36), habilidades numéricas básicas (0,49)
Aunio; Niemivirta, 2010 (FI = 3,19)	212	6 anos	Educação infantil (após, 1º ano)	Habilidades numéricas iniciais: relacionais - comparação, classificação, correspondência um-a-um, seriação; e contagem - palavras-número, contagem, conhecimento geral de números		Habilidades aritméticas básicas e aplicadas: <i>Mathematics school test</i> (teste padronizado) - adição e subtração de até 2 dígitos Competência matemática: avaliação feita pelos professores de acordo com o currículo escolar e conteúdo visto até o momento	Habilidades aritméticas básicas: habilidades relacionais (0,30) e habilidades de contagem (0,24). Habilidades aritméticas aplicadas: habilidades relacionais (0,25) e habilidades de contagem (0,26). Competência matemática: habilidades relacionais (0,24) e habilidades de contagem (0,47).
Gilmore; McCarthy; Spelke, 2010 (FI = 2,81)	83	5,8 anos	Educação Infantil	Adição aproximada não simbólica, conhecimento verbal de número e conhecimento arábico de número.	Inteligência verbal e teste de nível de alfabetização	Desempenho matemático: contagem, conhecimento simbólico dos números e algumas habilidades de geometria	Inteligência verbal ($R^2=22,7\%$), alfabetização ($R^2=32,3\%$) e conhecimento simbólico de número ($R^2=11,1\%$)
Jordan; Glutting; Ramineni, 2010 (FI = 4,29)	175	5,5 anos	1º ano (após, 3º ano)	Senso numérico: <i>Number sense brief screen</i> - contagem e princípios, reconhecimento de números, comparações numéricas, cálculos não-verbais, problemas, combinações numéricas	Nível intelectual (WASI) - vocabulário e raciocínio espacial. Memória de curto prazo e memória de trabalho (span de dígitos)	Desempenho matemático: WJ-III - cálculo e problemas aplicados	1º ano - QI: vocabulário (0,14), raciocínio espacial (0,17); memória de trabalho (0,11); senso numérico (0,48). 3º ano - QI: raciocínio espacial (0,25); senso numérico (0,46).
LeFevre <i>et al.</i> , 2010 (FI = 4,96)	122	Não informado	Educação Infantil (após, 2º ano)	Conhecimento quantitativo: avaliar e discriminar quantidades, reconhecimento de quantidades (subtizing) Habilidades numéricas iniciais: nomeação numérica e aritmética não-verbal	Habilidades linguísticas: consciência fonológica, vocabulário, raciocínio verbal, compreensão auditiva Atenção espacial: memória de trabalho visuoespacial e executivo central	Conhecimento matemático: <i>KeyMath Test-Revised</i> (teste padronizado) - enumeração, geometria e medidas. E o teste de cálculo do (WJ-R). Também foram aplicadas estimativa na reta numérica, comparação de magnitudes simbólicas e leitura de palavras	Teste padronizado - Enumeração: atenção espacial (0,14), habilidades linguísticas (0,54), habilidades quantitativas (0,19). Cálculo: atenção espacial (0,27), habilidades linguísticas (0,39), habilidades quantitativas (0,20). Geometria: atenção espacial (0,23), habilidades linguísticas (0,41). Medidas: atenção espacial (0,24), habilidades linguísticas (0,32). Estimativa na reta numérica (precisão): gênero (0,21), atenção espacial (0,24), habilidades linguísticas (0,47), habilidades quantitativas (0,24). Comparação de magnitudes: habilidades linguísticas (0,24) e habilidades quantitativas (0,30).

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Cirino, 2011 (FI = 1,42)	286	6,13 anos	Educação Infantil	Comparação simbólica e não simbólica, nomear números, contagem (sequência numérica), conhecimento de contagem (contar objetos)	Memória de trabalho visuoespacial, consciência fonológica, nomeação rápida e automatizada (RAN)	Adição (somas pequenas)	Comparação simbólica (0,04), nomear números (0,49), Contagem - sequência numérica (0,04) e conhecimento de contagem - contar objetos (-0,30)
Geary, 2011 (FI = 6,68)	177	6,16 anos	Educação Infantil (após, 1º ano)	Conhecimento de contagem; escolha de estratégias de contagem; conjuntos numéricos (formar conjuntos com quantidade determinada); estimativa na reta numérica	Inteligência (QI): WASI; leitura de palavras do WIAT; Memória de trabalho (executivo central, componente fonológico e visuoespacial e velocidade de processamento	Operações numéricas do WASI (<i>Wechsler Individual Achievement Test-II-Abbreviated</i>)	Inteligência (0,24), velocidade de processamento (0,26), executivo central (-0,29), componente visuoespacial (0,26), conjuntos numéricos, estratégias de contagem, estimativa numérica (0,14)
Libertus; Feigenson; Halberda, 2011 (FI = 4,67)	174	4,2 anos	Educação Infantil	Sistema numérico aproximado (ANS) — comparação numérica não-simbólica	Habilidade verbal - vocabulário	Habilidade matemática: <i>Test of Early Mathematics Ability</i> (TEMA-3) - Avalia habilidades numéricas (contagem, comparação numérica, leitura de números, compreensão de fatos numéricos, cálculos de adição e subtração, conceitos numéricos)	ANS ($R^2=19\%$)
Mazzocco; Feigenson; Halberda, 2011 (FI = 3,97)	17	De 3 a 6 anos	Educação Infantil (após, alguns ainda na EI, outros no 1º e no 2º)	ANS	Inteligência - Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI) e Rapid Automatized Naming (RAN)	Desempenho matemático: Test of Early Mathematics Ability (TEMA-3)	ANS ($R^2=28\%$)
Passolunghi; Lanfranchi, 2012 (FI = 2,25)	70	5,2 anos	Educação infantil (após, 1º ano)	Contagem verbal, competência numérica (comparação, classificação, correspondência um-a-um, seriação, contagem, uso de palavras-número, compreensão geral de número)	QI, memória de trabalho, memória de curto prazo verbal e visuoespacial, habilidade fonológica e velocidade de processamento	Desempenho matemático: teste padronizado para 1º ano que avalia lógica, aritmética e geometria	Competência numérica, avaliada ao final da educação infantil: velocidade de processamento (0,46) e memória de trabalho (0,38). Desempenho matemático, avaliado ao final do 1º ano: velocidade de processamento (0,23), competência numérica (0,24) e QI verbal (0,29)
Sasanguie; Van Den Bussche; Reynvoet, 2012 (FI = 1,10)	72	El: 5,6 anos 1º: 6,7 anos 2º: 7,6 anos	Educação Infantil, 1º e 2º anos	Identificação de números (<i>number priming</i>), comparação numérica, e estimativa na reta numérica com estimulação simbólica e não-simbólica	Escrita: <i>Flemish Student Monitoring System</i> (teste padronizado), avalia ditado de letras, palavras e frases	Desempenho matemático: <i>Flemish Student Monitoring System</i> (teste padronizado). Avalia conhecimento numérico, compreensão das operações, aritmética simples, resolução de problemas, medidas e geometria	Ano escolar (0,44), escrita (0,35), comparação numérica simbólica (0,61), estimativa numérica não simbólica (0,38)
Nyroos; Wiklund- Hornqvist, 2012 (FI = 0,31)	40	De 8 a 9 anos	3º ano		Memória de trabalho: executivo central, componente fonológico e componente visuoespacial	Desempenho matemático: teste nacional padronizado (cálculos aritméticos, aritmética mental, tempo, compreensão de número, frações, área e volume	Componente visuoespacial (0,35) e componente fonológico (0,43)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Van der Ven <i>et al.</i> , 2012 (FI = 3,04)	211	6,5 anos	1º ano (após, 2º ano)		Funções executivas: controle inibitório, alternância e atualização	Desempenho matemático: teste padronizado aplicado pelas escolas (números e relações, adição e subtração simples, multiplicação e divisão simples, aplicações da matemática e medidas)	Atualização (0,84)
Libertus; Feigenson; Halberda, 2013 (FI = 2,65)	204	4,8 anos	Educação Infantil	Sistema Numérico Aproximado (ANS): comparação não-simbólica	Vocabulário expressivo; atenção; velocidade de resposta; <i>span</i> da memória (dígitos e letras)	Habilidade matemática: <i>Test of Early Mathematics Ability</i> (TEMA-3). Avalia habilidades numéricas (contagem, comparação numérica, leitura de números, compreensão de fatos numéricos, cálculos de adição e subtração, conceitos numéricos)	ANS ($R^2=7\%$), habilidades numéricas avaliadas no início do período letivo ($R^2=45\%$), Tempo de resposta ($R^2=6\%$)
Reigosa-Crespo <i>et al.</i> , 2013 (FI = 0,39)	49	9,3 anos	3º e 4º anos (após, 4º e 5º anos)	Habilidades numéricas básicas: enumeração de pontos, comparação simbólica, tempo de resposta); efeito da contagem e efeito do <i>subitizing</i>	QI não-verbal, leitura de palavras e pseudopalavras, fluência na leitura e compreensão leitora	Fluência matemática, desempenho matemático curricular	Fluência matemática: idade (0,36), raciocínio não-verbal (0,32), <i>subitizing</i> (0,29) Desempenho matemático baseado no currículo: raciocínio não-verbal (0,68), <i>subitizing</i> (-0,33)
Sasanguie <i>et al.</i> , 2013 (FI = 3,25)	71	1º: 6,6 anos. 2º: 7,7 anos. 3º: 8,6 anos	1º, 2º e 3º anos (após, 2º, 3º e 4º anos)	Comparação simbólica e não-simbólica, estimativa na reta numérica simbólica e não-simbólica	Escrita: <i>Flemish Student Monitoring System</i> (teste padronizado), avalia ditado de letras, palavras e frases	Fluência na aritmética e desempenho geral em matemática – <i>Flemish Student Monitoring System</i> (teste padronizado). Avalia conhecimento numérico, compreensão das operações, aritmética simples, resolução de problemas, medidas e geometria	Fluência aritmética: comparação simbólica (-0,36) e escrita (0,38) Desempenho matemático geral: comparação simbólica (-0,30), estimativa numérica simbólica (-0,27) e escrita (0,33)
Bartelet <i>et al.</i> , 2014 (FI = 1,36)	209	6 anos	Educação Infantil (após, 1º ano)	Comparação simbólica e não simbólica, enumeração de pontos; estimativa de quantidades	Tempo de resposta; raciocínio não-verbal	Desempenho aritmético: teste padronizado (TTA). Avalia o nível de automatização de fatos aritméticos (foram utilizados: adição, subtração)	Comparação simbólica (0,28), estimativa numérica (0,30), gênero (-0,12), escola (-0,35)
Fuchs <i>et al.</i> , 2014 (FI = 0,64)	394	6,5 anos	1º ano (após, 2º e 3º anos)	Competência numéricas fundamentais: conjuntos numéricos (número, mapeamento numeral e relação parte-todo) e estimativa na reta numérica	Raciocínio não-verbal; Compreensão auditiva; Memória de trabalho e comportamento atencional	Compreensão numérica: <i>KeyMath – Numeration</i> (identificar quantidade de objetos, leitura de números, identificar números ordinais, sucessor e antecessor, ordenar sequências de números, identificar números a partir da representação de base 10, identificar números faltantes em retas numéricas). Habilidade de cálculo: <i>Wide Range Achievement Test – Arithmetic</i> . Avalia a habilidade de resolver cálculos aritméticos	Raciocínio não-verbal (0,09), compreensão auditiva (0,09), memória de trabalho (0,13), comportamento atencional (0,08) e conjuntos numéricos (0,15)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Martin <i>et al.</i> , 2014 (FI = 0,89)	193	6,16 anos	Educação Infantil (após, 1º ano)	Contagem (procedural e conceitual), números simbólicos (identificação e comparação)	Memória de trabalho espacial, executivo central, consciência fonológica, comportamento atencional	Fluência em cálculo (adição e subtração simples), cálculos (WJ-III - adição e subtração com um e multidígitos), problemas aplicados (WJ-III) e resolução de problemas matemáticos	Fluência: Memória de trabalho verbal (0,04), identificação de números (0,11), comparação simbólica (0,02) Cálculo: Idade (-0,15), consciência fonológica (0,04), identificação de números (0,1) e comparação simbólica (0,02) Problemas aplicados: memória de trabalho verbal (0,57), consciência fonológica (1,28), comparação simbólica (0,23) Resolução de problemas: memória de trabalho espacial (0,26), consciência fonológica (0,33), identificação de números (0,24), comparação simbólica (0,09)
Szucs <i>et al.</i> , 2014 (FI = 1,58)	98	8,9 anos	3º e 4º anos	Senso numérico (comparação simbólica e não simbólica, <i>subitizing</i>); enumeração de pontos (de 4 a 6)	Memória de curto prazo: verbal e visual; memória de trabalho; decodificação fonológica; QI verbal e não-verbal; funcionamento executivo; <i>switching</i> ; atenção; controle inibitório; tempo de resposta; habilidade de orientação espacial; conhecimento espacial de simetria; rotação mental; reconhecimento dos dedos; leitura	Desempenho matemático: <i>Mathematics Assessment for Learning and Teaching</i> (MaLT - teste padronizado) e habilidades matemáticas - <i>Wechsler Individual Achievement Test</i> (WIAT-II) operações numéricas	Inteligência verbal (0,21), decodificação fonológica (0,27), memória de curto prazo visual (0,17), memória de trabalho (0,25), orientação espacial (0,24) e funcionamento executivo e <i>switching</i> (<i>trail-making</i>) (-0,16)
Van Marle <i>et al.</i> , 2014 (FI = 1,99)	138	3,8 anos	Educação Infantil	Identificação de quantidades (ANS), contagem, reconhecimento de números (1-15), cardinalidade	QI, controle executivo, pré-alfabetização (reconhecimento de letras), nível de instrução parental	Desempenho matemático: <i>Test of Early Mathematical Ability-3</i> (TEMA-3)	ANS (0,28), contagem (es = 0,20), reconhecimento de números (es = 0,81), comparação numérica (es = 0,04) e cardinalidade (es = 1,93)
Chu; VanMarle; Geary, 2015 (FI = 1,57)	191	3,8 anos	Educação Infantil	ANS e cardinalidade	(QI), funções executivas, pré-alfabetização (habilidade de leitura)	Desempenho matemático: TEMA-3 - representar quantidades com os dedos, contagem, comparações numéricas, aritmética informal	Consciência fonológica (0,32), QI (0,19), cardinalidade (0,34)
Foster <i>et al.</i> , 2015 (FI = 0,30)	208	5,6 anos	Educação Infantil		Inteligência fluída (QI não-verbal), vocabulário, consciência fonológica, RAN (nomeação rápida e automatizada), memória de curto prazo fonológica	Conhecimento numérico (numerácia): <i>Research-based Early Math Assessment</i> (REMA) - contagem verbal, contagem de objetos, reconhecimento de números e <i>subitizing</i> , comparação de números, sequência numérica, reconhecimento de números, composição e decomposição de números, adição e subtração. Problemas aplicados (WJ-III): problemas simples de aritmética	Conhecimento numérico: QI (0,88), consciência fonológica (1,09) Problemas aplicados: QI (0,63), consciência fonológica (0,68), memória de curto prazo (0,59)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Geary; Van Marle, 2016 (FI = 0,98)	197	3,8 anos	Educação Infantil	Competências simbólicas: enumeração, contagem verbal, cardinalidade, reconhecimento numérico, diferenciar quantidades. Competências não-simbólicas: comparação ordinal (conjuntos discretos), diferenciar quantidades discretas (ANS), discriminar quantidades contínuas (AMS), rastrear pequenas quantidades, cálculo não-verbal (conhecimento implícito de adição e subtração)	Inteligência (QI), funções executivas, pré-alfabetização (reconhecimento do alfabeto), nível de instrução escolar dos pais	Desempenho matemático: <i>Test of Early Mathematical Ability-3</i> (TEMA-3) - produzir padrões de dedos para representar diferentes quantidades, contar, fazer comparações numéricas, aritmética simples e reta numérica	QI não-verbal (0,15), reconhecimento de número (0,30), contagem verbal (0,20), comparação ordinal (0,11)
Fuhs; Hornburg; McNeil, 2016 (FI = 0,50)	141	6,2 anos	Educação Infantil (após, 2º ano)	Habilidades numéricas iniciais: discriminação de quantidades, estimativa na reta numérica, identificação de conjuntos numéricos, contagem rápida, compreensão palavra-número	Funções executivas: controle inibitório e flexibilidade cognitiva; QI	Desempenho matemático: <i>Woodcock-Johnson III</i> (WJ-III) - problemas aplicados (requer raciocínio quantitativo, resolução de problemas e conhecimento matemático)	QI (0,24), funções executivas (0,25) e desempenho matemático (WJ-III) também medido na educação infantil (0,48)
Nguyen <i>et al.</i> , 2016 (FI = 3,29)	781	4,3 anos	Educação Infantil (após, 5º ano)	Competências matemáticas pré-escolares — <i>Research-based Early Mathematics Assessment (REMA)</i> - contagem, reconhecimento de números, adição e subtração, padrões, medidas, competências geométricas e espaciais		Desempenho matemático no 5º ano: <i>Tools for Elementary Assessment in Math 3-5 (TEAM 3-5)</i> . Avalia conhecimentos matemático, incluindo frações, geometria, multiplicação, divisão e interpretação de dados	Contagem e cardinalidade (0,42), geometria (0,13) e padrões (0,10)
Purpura; Logan, 2015 (FI = 0,97)	114	4,2 anos	Educação Infantil	Linguagem matemática: <i>Mathematical language subtest</i> (avalia linguagem comparativa - mais, menos, retirar, colocar; e linguagem espacial - longe, perto, antes, depois); ANS	Vocabulário: <i>Test of Preschool Early Literacy Skills</i> (TOPEL) - vocabulário falado de palavra única e sua capacidade de formular definições para palavras; Funções executivas: controle inibitório, atenção, <i>shifting</i> , e memória de trabalho verbal	Habilidades numéricas iniciais: <i>Preschool Early Numeracy Skills Test - Brief Version</i> (PENS-B) - avalia comparação de conjuntos, comparação numérica, correspondência um-a-um, ordenação numérica, identificação de números, ordinalidade, combinações numéricas	Linguagem matemática (0,48)
Tobia; Bonifacci; Marzocchi, 2016 (FI = 0,42)	Estudo 1: 102 Estudo 2: 43	De 3 a 6 anos	Educação Infantil (estudo 1 transversal, estudo 2 longitudinal com intervalo de 1 ano)	Senso numérico: (SNUP) - comparação de quantidades, contagem, reta numérica, seriação por tamanho, conhecimento semântico de dígitos, memória visuoespacial	Bateria de testes: <i>Learning Difficulties Indexes (IDA)</i> . Avalia habilidades linguísticas em pré-escolares (articulação, vocabulário, consciência fonológica, compreensão morfosintática, memória fonológica, história sequencial, e conhecimento de letras	Cálculo: adição e subtração apresentados de forma verbal e não-verbal	Estudo 1 (transversal): $R^2=63\%$ - Vocabulário (0,11), seriação por tamanho (0,13), memória visuoespacial (0,1). Estudo 2 (longitudinal): $R^2=61,5\%$ - 0,09), seriação por tamanho (0,12)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Casey <i>et al.</i> , 2017 (FI = 0,69)	138	6,7 anos	1º ano (após, 5º ano)	Habilidade verbais, aritmética (precisão), aritmética (estratégias)	Habilidades espaciais	Raciocínio matemático analítico, fluência aritmética, habilidades espaciais	Raciocínio matemático analítico: habilidades espaciais 1º ano (0,52), aritmética estratégias - decomposição (0,27), aritmética precisão (0,23), fluência aritmética 5º ano (0,34) Fluência aritmética: estratégia decomposição (0,46)
Ching; Nunes, 2017 (FI = 0,42)	115	6,36 anos	1º ano (após, 2º ano)	Contagem e raciocínio aditivo	Memória de trabalho (executivo central, componente fonológico e componente visuoespacial); QI não-verbal	Desempenho matemático: cálculo e resolução de problemas - baseados no currículo chinês	Cálculo ($R^2=28,8\%$; 58,9%; 58,9%), respectivamente: contagem (R^2 único=4,1%), raciocínio aditivo (R^2 único=30%) e memória de trabalho (R^2 único=11%). Problemas matemáticos: ($R^2= 58,1\%$): raciocínio aditivo (R^2 único=38,6%), memória de trabalho (R^2 único=6,6%)
Gilligan; Flouri; Farran, 2017 (FI = 1,39)	12099	De 5 a 7 anos	Não informado		Habilidades cognitivas e espaciais: BAS II (teste padronizado) - construção de padrões (copiar um padrão utilizando um conjunto de blocos, por rotação e organização espacial dos blocos), vocabulário, leitura de palavras e matemática	Desempenho matemático: <i>National Foundation for Educational Research Progress in Maths (NER PiM)</i> , teste padronizado - avalia conhecimento de números, formas, medidas e interpretação de dados	$R^2= 42,5\%$ Construção de padrões aos 5 anos de idade (0,13), construção de padrões aos 7 anos de idade (0,25), leitura de palavras (0,35), vocabulário (0,12)
Orrantia <i>et al.</i> , 2017 (FI = 0,06)	104	4,7 anos	Educação Infantil	Comparação de magnitudes numéricas não-simbólicas, comparação de magnitudes simbólicas (1-9), enumeração de pontos	Inteligência (QI não verbal), velocidade de processamento, amplitude da memória verbal, memória espacial, controle inibitório	Desempenho matemático: Teste de Competência Matemática Básica (TEMA-3) - avalia conceitos e habilidades formais e informais da aritmética	$R^2=65,5\%$ Memória espacial (0,21), Inteligência (0,22), comparação simbólica (0,24), enumeração (0,23) e intervalo de subitizing (0,24)
Sánchez; Marilla; Orrantia, 2017 (FI = 0,00)	96	5,7 anos	Educação Infantil (após, 1º ano)	Comparação de magnitudes pequenas simbólicas (1-9), nomeação rápida e automatizada de números	Memória visuoespacial, memória fonológica, QI não-verbal, velocidade de processamento, consciência fonológica (segmentação de fonemas)	Adições (fluência), cálculos (adição e subtração), problemas numérico-verbais	$R^2=59,6\%$ Memória espacial (0,25), comparação simbólica (0,19), nomeação de números (-0,26) e consciência fonológica (0,26)
Wong; Ho, 2017 (FI = 0,33)	153	6,1 anos	Educação Infantil (após, 1º e 2º ano)	Processamento numérico simbólico e não simbólico; processamento de magnitudes simbólicas e não simbólicas	Memória de trabalho (componente fonológico, componente visuoespacial, executivo central); raciocínio não-verbal; leitura de palavras	Problemas de aritmética, cálculos e desempenho matemático (<i>Learning and Achievement Measurement Kit 2.0 Second Grade Mathematics (LAMK 2.0 Mb)</i>) - avalia assunto do currículo, aritmética, forma e espaço, medidas e estatística simples	Problemas aritméticos: raciocínio não-verbal (0,27) e componente fonológico (0,21) Cálculos: processamento de magnitudes (simbólica e não simbólica - 0,21), raciocínio não-verbal (0,17), leitura de palavras (0,23) Desempenho matemático: cálculos (0,24) problemas aritméticos (0,30), raciocínio não-verbal (0,22)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Fanari; Meloni; Massidda, 2018 (FI = 0,00)	43	6,5 anos	1º ano	Habilidades numéricas iniciais: léxica (conhecimento dos símbolos numéricos), semântica (comparação simbólica e não simbólica), contagem, e pré-sintática (correspondência número-quantidade)	Memória de trabalho visuoespacial	Desempenho matemático: AC-MT 6-11 - <i>Test for the evaluation of calculating and problem-solving abilities</i> . Avalia operações (adição e subtração), compreensão de quantidades, da estrutura sintática dos números (dezenas e unidades), e a representação semântica (organizar em ordem do menor ao maior)	Habilidades numéricas iniciais (0,50)
Gilmore <i>et al.</i> , 2018 (FI = 0,25)	77	9,5 anos	Não informado	Contagem, conhecimento de fatos numéricos, uso de estratégias aritméticas, reconhecimento de dígitos, estimativa na reta numérica, comparação simbólica e não simbólica	Memória de trabalho, controle inibitório, <i>shifting</i> , habilidades visuoespaciais, QI não-verbal	Compreensão conceitual: composição aditiva; Desempenho matemático: operações numéricas de teste padronizado (WIAT-II)	Compreensão conceitual: R ² =60,6% - estimativa numérica (-0,46); Compreensão procedimental: R ² =84,8% - contagem (0,25), conhecimento de fatos numéricos (0,33), memória de trabalho (0,24)
Orrantia <i>et al.</i> , 2018 (FI = 0,00)	52	6,2 anos	1º ano	Comparação de magnitudes não-simbólicas pequenas (1-9) e grandes (6-60); comparação de magnitudes simbólicas pequenas (1-9) e grandes (31-79)	Habilidade intelectual geral, velocidade de processamento	Desempenho matemático: <i>Bateria de Aptitudes Diferenciales y Generales (BADyG)</i> - cálculo e problemas numérico-verbais; e uma tarefa de resolução de problemas aritméticos por meio de cálculo mental	Desempenho matemático: R ² =52% - comparação de magnitudes grandes simbólicas (0,26) Cálculo mental: R ² =54% - comparação de magnitudes grandes simbólicas (0,26)
Xenidou-Dervou <i>et al.</i> , 2018 (FI = 0,42)	334	5,6 anos	Educação Infantil (após, 2º ano)	Contagem, processamento de magnitudes (adição aproximada simbólica e não-simbólica, comparação aproximada simbólica e não-simbólica, adição exata simbólica)	QI (não-verbal), memória de trabalho (componente visuoespacial, componente fonológico e executivo central)	Desempenho geral matemático: teste padronizado (Cito), administrado pelas escolas. Avalia resolução de problemas que envolvem medidas, proporções, números, números e relações, aritmética e aplicações complexas (mais de uma operação no mesmo problema)	Desempenho inicial (1º ano): QI não-verbal (0,15), componente visuoespacial (0,12), executivo central (0,12), componente fonológico (0,13), comparação aproximada não-simbólica (0,12), comparação aproximada simbólica (0,13), adição simbólica aproximada (0,10), contagem (0,23) Desempenho de crescimento (do 1º para o 2º ano): adição aproximada simbólica (0,26)
Aragón <i>et al.</i> , 2019 (FI = 0,17)	109	4,9 anos	Educação Infantil	Comparação simbólica e não simbólica, e estimativa na reta numérica	Memória de trabalho verbal, velocidade de processamento e vocabulário	Pensamento matemático informal: avaliado pelo TEMA-3 (contagem, comparação de quantidades, cálculo informal e conceitos básicos informais)	R ² =48,5% - Memória de trabalho (0,45), velocidade de processamento (0,24), vocabulário (0,18) e estimativa numérica (0,29)
Gashaj <i>et al.</i> , 2019 (FI = 0,25)	136	6,4 anos	Educação Infantil (após, 2º ano)	Habilidades numéricas básicas: comparação de magnitudes e estimativa na reta numérica	Funções executivas: inibição, <i>switching</i> , <i>updating</i> ; e motricidade fina	Desempenho matemático: teste padronizado baseado no currículo nacional, avalia equações, sequências, adição e subtração	Habilidades numéricas básicas (0,70), <i>updating</i> (0,27)

Tabela 1 (Continuação)

Estudo (FI)	N	Idade (média)	Anos escolares avaliados	Habilidades de domínio específico	Habilidades de domínio geral	Variável Desfecho	Preditores significativos e tamanho do efeito (β)
Gimbert <i>et al.</i> , 2019 (FI = 0,25)	148	5,7 anos e 7,7 anos	Educação Infantil e 2º ano	Comparação não simbólica (ANS), estimativa na reta numérica	Memória de trabalho, vocabulário	Desempenho matemático: adição exata simbólica, subtração exata simbólica, problemas numéricos verbais	Aos 5 anos de idade (educação infantil): $R^2=46\%$ - idade (0,22), comparação não-simbólica (0,19) e estimativa numérica (-0,51). Aos 7 anos de idade (2º ano): $R^2=46\%$ - memória de trabalho (0,44) e estimativa numérica (-0,38)
Kiss; Christ, 2019 (FI = 0,00)	167	Não informado	Educação Infantil e 1º ano	Habilidades matemáticas iniciais: (<i>Earlymath</i>) avalia três domínios - números, relações e operações	Habilidades iniciais de leitura: (<i>EarlyReading</i>), avalia elementos da pré-alfabetização (princípio alfabético, decodificação e consciência fonêmica)	Desempenho matemático: <i>Group Math Assessment and Diagnostic Evaluation (GMADE)</i> . Teste padronizado baseado no currículo escolar que avalia compreensão da linguagem e vocabulário da matemática, capacidade de identificar representações apropriadas, de aplicar conceitos matemáticos e usar o raciocínio de operações para resolver problemas e calcular adição e subtração de números inteiros.	Educação Infantil: $R^2=37\%$ - habilidades matemáticas iniciais (0,49) 1º ano: $R^2=61\%$ - habilidades matemáticas iniciais (0,65) e habilidades iniciais de leitura (0,20)
Kiss; Nelson; Christ, 2019 (FI = 0,17)	175	Não informado	1º ano (após, 3º ano)	Habilidades matemáticas iniciais: decomposição, sequência numérica, identificação de números (0-120), valor-lugar, adição e subtração verbal (problemas orais de um dígito), problemas matemáticos e cálculos (adição e subtração)		Desempenho matemático: <i>Minnesota Comprehensive Assessment-Series III (MCA-III)</i> , teste padronizado que avalia números e operações, álgebra, geometria e medidas, probabilidade e interpretação de dados	Números e operações: $R^2=41\%$ - decomposição (0,06), sequência numérica (0,10), subtração verbal (0,11) Álgebra: $R^2=33\%$ - sequência numérica (0,10) e cálculos (0,03) Interpretação de dados: $R^2=25\%$ - sequência numérica (0,08) Geometria e medidas: $R^2=43\%$ - decomposição (0,10)
Malone; Burgoyne; Hulme, 2019 (FI = 0,17)	519	5,3 anos	Educação Infantil (após, 1º ano)	Conhecimento numérico (identificação e escrita dos números), contagem, discriminação de quantidades não-simbólicas	Gnosia dos dedos, funções executivas (memória visuoespacial e verbal, controle inibitório e atenção seletiva), linguagem e raciocínio não-verbal	Aritmética: Foi avaliada somente adição na educação infantil, depois foram avaliadas adição e subtração no 1º ano	Adição avaliada na educação infantil (0,45), conhecimento numérico (0,29) e discriminação de numerosidades (0,22)
Carr <i>et al.</i> , 2020 (FI = 0,00)	304	7,6 anos	2º ano (após, 3º e 4º anos)	Senso numérico: valor-lugar, decomposição, problemas não convencionais e resolução de problemas cognitivos (cálculo mental)	Memória de trabalho verbal; habilidade espacial (rotação mental)	Competência matemática: <i>Criterion Referenced Competency Test (CRCT)</i> - teste padronizado que avalia habilidade em cálculos, padrões e estatística, resolução de problemas e geometria	Status socioeconômico (0,11 e 0,16), memória de trabalho verbal (0,13 e 0,09) e habilidade espacial (0,18 e 0,15) - valores para alunos com baixo e alto desempenho, respectivamente
Habermann <i>et al.</i> , 2020 (FI = 0,00)	71	4,2 anos	Educação Infantil (após, 1º ano)	Identificação de números, escrita de números, leitura de números, contagem, comparação simbólica, comparação não-simbólica	QI não-verbal, habilidade gramatical, vocabulário	Aritmética: adição simples (teste informal, avaliado ao final do ano letivo da educação infantil). E avaliados no 1º ano: subteste operações numéricas do <i>Wechsler Individual Achievement Test-Second Edition (WIAT-II)</i> - teste padronizado, e fluência aritmética	Conhecimento numérico arábico (identificação, leitura e escrita de números) (0,64 - na aritmética avaliada na EI e 0,70 - no 1º ano)

2.4 DISCUSSÃO

O objetivo desta revisão sistemática foi identificar as habilidades cognitivas de domínio geral e específico indicadas na literatura como preditoras do desempenho matemático em estudantes dos anos iniciais do Ensino Fundamental. Mesmo que a busca tenha sido feita apenas com limite superior de tempo, ou seja, podendo incluir estudos de qualquer ano de publicação até a data determinada, a maioria dos estudos incluídos (69,35%) foi publicada na última década, entre 2011 e 2020, e boa parte conduzida nos Estados Unidos. Esse aumento recente na literatura relacionada a essa temática pode ser devido ao surgimento de mais projetos de pesquisa vinculados à educação matemática e à cognição numérica nos últimos anos e com foco especial no desenvolvimento do conhecimento numérico, principalmente nos primeiros anos da escolaridade. A partir da síntese dos estudos investigados, percebeu-se que grande parte consistiu em pesquisas longitudinais, cujas avaliações iniciais foram realizadas com estudantes da Educação Infantil, ou seja, antes mesmo do ensino sistematizado da matemática. Além disso, também se verificou que houve preocupação em avaliar habilidades de domínio geral e específico nesses estudos, o que tornou possível identificar similaridades e algumas inconsistências nos achados.

Dessa forma, a partir dos resultados, pode-se destacar que a habilidade cognitiva de domínio geral mais frequentemente indicada como preditora do desempenho matemático foi a memória de trabalho, independentemente do ano escolar ou tarefa matemática avaliada como desfecho. Entretanto, cabe salientar que alguns estudos que mediram a memória de trabalho não a encontraram como variável significativa para a explicação do desempenho matemático. Na tentativa de explicar esse dado, pode-se levar em consideração fatores como instrumentos utilizados para avaliação e demais habilidades de domínio específico inseridas junto no modelo de regressão, visto que habilidades numéricas tendem a sobrepor-se nessa relação direta entre memória de trabalho e desempenho matemático. Quando essa sobreposição ocorre, a memória de trabalho aparece como habilidade mediadora, ou seja, exercendo um efeito indireto, na relação entre habilidades numéricas e desempenho matemático (GIMBERT *et al.*, 2019; PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012).

Sobre as habilidades de domínio específico, aquelas com mais recorrência nos resultados dos estudos como explicativas do desempenho matemático posterior foram as habilidades numéricas iniciais, que envolvem reconhecimento e leitura de números, discriminação de quantidades, conhecimento da sequência numérica, e aqui pode-se incluir alguns estudos que também compreenderam como habilidade inicial o conhecimento de

contagem e a comparação de magnitudes. Faz-se importante mencionar que, com exceção de apenas um estudo, todos os demais que consideraram habilidades numéricas iniciais em suas análises, encontraram resultados significativos na sua explicação para o desempenho matemático posterior.

Outro fator importante a ser destacado é que essas habilidades podem apresentar maior ou menor valor de explicação dependendo do ano escolar em que a criança está e do que é considerado como desempenho matemático. A partir dos resultados desta revisão sistemática, percebe-se que as habilidades como o sistema numérico aproximado (ANS), o reconhecimento e a leitura de números e a identificação de quantidades são mais explicativas no desempenho de crianças no início da escolarização, isto é, Educação Infantil, 1º e 2º ano. Ao final dos primeiros anos do Ensino Fundamental, ou seja, nos 3º, 4º e 5º anos, aparecem com valor de predição outras habilidades mais complexas, as quais envolvem conhecimentos aritméticos, como cálculos com as operações matemáticas e fatos aritméticos.

Quando considerado o tipo de desempenho matemático avaliado, pode-se destacar que tanto o desempenho voltado para aritmética quanto o desempenho matemático geral dependem da memória de trabalho e das habilidades numéricas iniciais para que os estudantes tenham um melhor desenvolvimento matemático. Os resultados também indicaram algumas especificidades, como a comparação de magnitudes e as habilidades de leitura e escrita explicativas do desempenho aritmético, e a contagem e o nível intelectual preditoras do desempenho matemático geral. Contudo, algumas habilidades são recorrentes independentemente do ano escolar ou tarefa matemática avaliada, como é o caso do quociente de inteligência, da memória de trabalho, da contagem, da estimativa numérica e das habilidades numéricas iniciais, que incluem reconhecimento de números (compreensão do sistema numérico), comparação de quantidades simbólicas e senso numérico.

Além disso, outro aspecto não considerado nas análises e que se levanta como fator de reflexão é a diversidade dessas amostras. Mesmo controlando idade, nível de inteligência e fatores socioeconômicos, esses estudos foram conduzidos em diferentes países ou em regiões diferentes dentro do mesmo país, e aspectos sociais, culturais e inclusive da língua falada também estão envolvidos no processo de ensino e de aprendizagem, podendo ser subjacentes ao desempenho matemático. Mesmo assim, algumas habilidades cognitivas mostraram-se como preditoras significativas independentemente desses fatores, o que permite pensar na possibilidade de existência de habilidades cognitivas universais para o desenvolvimento do conhecimento numérico inicial. Sendo assim, tais habilidades poderiam ser inseridas no

contexto escolar como tarefas de estímulo para auxiliar no desenvolvimento do conhecimento matemático e prevenir possíveis dificuldades matemáticas futuras.

Entretanto, algumas limitações desta revisão sistemática da literatura devem ser levadas em consideração. Primeiramente, não foram incluídos estudos comparativos entre diferentes países, os quais podem controlar diferenças culturais e de idioma. Isso impossibilitou a análise direta de verificar se em diferentes culturas as habilidades predictoras permanecem as mesmas, limitando, assim, a generalização dos resultados. Em segundo lugar, a maioria dos estudos incluídos nesta síntese focou na avaliação de estudantes da Educação Infantil, o que restringe a generalização dos achados e a base de conhecimento sobre as habilidades cognitivas ao longo dos anos escolares. Além disso, como mais estudos se concentraram na avaliação das habilidades cognitivas nos primeiros anos da escolarização, isto é, Educação Infantil e 1º ano, foram relatados nesta revisão mais preditores relacionados a habilidades numéricas iniciais, justamente pelo nível escolar e idade das participantes dos estudos não permitir avaliação de habilidades mais complexas. Em terceiro e último lugar, as diferenças teóricas e de definição sobre o que os autores consideram como habilidades numéricas iniciais, inclusive as diferenças nas conduções das análises estatísticas, possibilitam diferentes resultados e interpretações, o que também limita um entendimento generalizado mais consistente acerca das habilidades que explicam o desempenho matemático.

Outro fator importante de ser destacado, é o fato da dificuldade de articulação entre as pesquisas em psicologia cognitiva e as teorias educacionais, mais do que isso com a prática educacional. Mesmo que pesquisas na área da cognição numérica estejam em crescimento nos últimos anos, como evidenciado nesta revisão sistemática, o desafio está na transferência dos resultados dessas pesquisas para a prática docente em sala de aula (Simplicio et al., 2020). Os estudos em psicologia cognitiva, geralmente por seguirem métodos consistentes de pesquisa, acabam desconsiderando variáveis ambientais e as exigências de ensino. Por isso, os resultados encontrados podem não ser suficientes para derivar sugestões eficazes e diretas para a prática educacional (SIMPLICIO *et al.*, 2020). Entretanto, as pesquisas nessa área fornecem novas perspectivas de ensino e aprendizagem, além de indicativos mais coerentes com as necessidades de aprendizagem dos estudantes e novas ferramentas para um ensino mais eficaz. Porém, para que esses resultados de pesquisa tenham uma aplicabilidade real na escola, mais estudos inspirados no uso interdisciplinar são necessários para orientar essa transferência e possibilitar essa aproximação entre teoria e prática (SIMPLICIO *et al.*, 2020).

Além disso, de acordo com os resultados e limitações do presente estudo, uma possibilidade para pesquisas futuras é considerar o desenvolvimento do conhecimento

matemático ao longo do tempo, isto é, que as habilidades cognitivas preditoras sejam avaliadas em outros anos de escolarização, além da Educação Infantil. Assim, mais evidências poderão ser agregadas na área, inclusive de habilidades matemáticas mais complexas. Além disso, sugere-se incluir participantes de outras populações culturais e regionais, como uma forma de replicar e estender os resultados das pesquisas atuais.

Ademais, os achados desta revisão sistemática fornecem base tanto para a comunidade científica da área quanto para a prática pedagógica e demais profissionais relacionados, pois contribui para a compreensão e possibilidade de avaliação das habilidades cognitivas fundamentais que apoiam a aprendizagem da matemática a longo prazo. Mais do que isso, os resultados reúnem evidências de que o desempenho das crianças em habilidades numéricas iniciais e memória de trabalho é determinante para aprender matemática. Tais habilidades podem ser facilmente avaliadas por professores e, além do mais, são passíveis de estimulação mesmo antes do ensino formal e podem perdurar como possibilidade de trabalho em sala de aula ao longo das primeiras etapas de escolarização. O incentivo escolar no desenvolvimento dessas habilidades acarretará não somente em um aprimoramento no desempenho matemático dos estudantes, mas também atuará como recurso de atenuação das dificuldades já existentes e de prevenção das futuras dificuldades matemáticas.

2.5 CONCLUSÃO

Foram revisados estudos que avaliaram habilidades cognitivas como precursoras do desempenho matemático posterior com a intenção de verificar aquelas habilidades mais comumente medidas e com maior frequência de identificação. Em todos os níveis de escolaridade e considerando todos os tipos de desempenho matemático avaliado, as habilidades numéricas iniciais e a memória de trabalho foram as habilidades cognitivas que mais apareceram com valor de explicação significativo para o desempenho matemático futuro. Além disso, destaca-se que independentemente de aspectos qualitativos da amostra, como país de origem, idioma principal, diferenças culturais e sociais, essas mesmas habilidades aparecem como preditoras significativas do desempenho matemático. Nesse sentido, levanta-se a hipótese de tais habilidades cognitivas serem universais para o desenvolvimento do conhecimento matemático de estudantes das etapas iniciais da escola. Por isso, faz-se necessário dar mais ênfase no ensino a tarefas que estimulem essas habilidades, na intenção de prevenir e remediar dificuldades matemáticas. Mais do que isso, os resultados apontam caminhos para pesquisas futuras, indicando a importância do acompanhamento longitudinal do desempenho matemático

dos estudantes ao longo dos anos escolares, inclusive em séries mais avançadas, e de considerar a inclusão de participantes de diferentes países e culturas para estender os resultados das pesquisas atuais.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, U. Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 78, n. 2, p. 181–203, 2008. doi.org/10.1348/000709907X209854.
- ARAGÓN, E. *et al.* Individual differences in general and specific cognitive precursors in early mathematical learning. **Psicothema**, Astúrias, Espanha, v. 31, n. 2, p. 156–162, 2019. https://doi.org/10.7334/psicothema2018.306.
- AUNIO, P.; NIEMIVIRTA, M. Predicting Children’s Mathematical Performance in Grade One by Early Numeracy. **Learning and Individual Differences**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 20, n. 5, p. 427-435, 2010. doi:10.1016/j.lindif.2010.06.003.
- AUNOLA, K. *et al.* Developmental dynamics of math performance from preschool to grade 2. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 96, n. 4, p. 699–713, 2004. https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699.
- BARTELET, D. *et al.* What basic number processing measures in kindergarten explain unique variability in first-grade arithmetic proficiency? **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 117, n. 1, p. 12–28, 2014. doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.010.
- BRASIL. **Base Nacional Comum (BNCC)**. Ministério da Educação (MEC), Brasília, 600 p., 2018. doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.
- BULL, R.; ESPY, K. A.; WIEBE, S. A. Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. **Developmental Neuropsychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 33, n. 3, p. 205–228, 2008. doi.org/10.1080/87565640801982312.
- BUTTERWORTH, B. The development of arithmetical abilities. **Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 3–18, 2005. doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x.
- CARR, M. *et al.* A longitudinal study of spatial skills and number sense development in elementary school children. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 112, n. 1, p. 53–69, 2020. doi.org/10.1037/edu0000363
- CASEY, B. M. *et al.* Girls’ Spatial Skills and Arithmetic Strategies in First Grade as Predictors of Fifth-Grade Analytical Math Reasoning. **Journal of Cognition and Development**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 18, n. 5, p. 530–555, 2017. doi.org/10.1080/15248372.2017.1363044

CHING, B. H.-H.; NUNES, T. The Importance of Additive Reasoning in Children's Mathematical Achievement: A Longitudinal Study. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 109, n. 4, p. 477-508, 2017. [dx.doi.org/10.1037/edu0000154](https://doi.org/10.1037/edu0000154).

CHU, F. W.; VANMARLE, K.; GEARY, D. C. Early numerical foundations of young children's mathematical development. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 132, p. 205–212, 2015. doi.org/10.1016/j.jecp.2015.01.006.

CIRINO, P. T. The interrelationships of mathematical precursors in kindergarten. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 108, n. 4, p. 713–733, 2011. doi.org/10.1016/j.jecp.2010.11.004.

DE SMEDT, B. *et al.* Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study from first grade to second grade. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 103, n. 2, p. 186–201, 2009. doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.004.

DE SMEDT, B.; VERSCHAFFEL, L.; GHESQUIÈRE, P. The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 103, n. 4, p. 469–479, 2009. doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.010.

DESOETE, A. *et al.* Classification, Seriation, and Counting in Grades 1, 2, and 3 as Two-Year Longitudinal Predictors for Low Achieving in Numerical Facility and Arithmetical Achievement? **Journal of Psychoeducational Assessment**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 27, n. 3, p. 252–264, 2009. doi.org/10.1177/0734282908330588.

FANARI, R.; MELONI, C.; MASSIDDA, D. Visuospatial working memory and early math skills in first grade children. *In: International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA 2018)*, n. 15, 2018, Budapeste, Hungria. **Anais [...]**. p. 127–133.

FOSTER, M. E. *et al.* Processes in the development of mathematics in kindergarten children from Title 1 schools. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 140, p. 56–73, 2015. doi.org/10.1016/j.jecp.2015.07.004.

FUCHS, L. S. *et al.* The cognitive correlates of third-grade skill in arithmetic, algorithmic computation, and arithmetic word problems. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 98, n. 1, p. 29–43, 2006. doi.org/10.1037/0022-0663.98.1.29.

FUCHS, L. S. *et al.* Sources of Individual Differences in Emerging Competence with Numeration Understanding versus Multidigit Calculation Skill. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 106, n. 2, p. 482-498, 2014. [doi.10.1037/a0034444](https://doi.org/10.1037/a0034444).

FUHS, M. W.; HORNBERG, C. B.; MCNEIL, N. M. Specific early number skills mediate the association between executive functioning skills and mathematics achievement. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 52, n. 8, p. 1217–1235, 2016. doi.org/10.1037/dev0000145.

GASHAJ, V. *et al.* The Relation Between Executive Functions, Fine Motor Skills, and Basic Numerical Skills and Their Relevance for Later Mathematics Achievement. **Early Education and Development**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 30, n. 7, p. 913–926,

2019. doi.org/10.1080/10409289.2018.1539556.

GEARY, D. C. Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 47, n. 6, p. 1539–1552, 2011. doi.org/10.1037/a0025510.

GEARY, D. C.; VAN MARLE, K. Young children's core symbolic and nonsymbolic quantitative knowledge in the prediction of later mathematics achievement. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 52, n. 12, p. 2130–2144, 2016. doi.org/10.1037/dev0000214.

GILLIGAN, K. A.; FLOURI, E.; FARRAN, E. K. The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 163, p. 107–125, 2017. doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.016.

GILMORE, C. *et al.* Understanding arithmetic concepts: The role of domain-specific and domain-general skills. **PLoS ONE**, PLOS: São Francisco, EUA, v. 13, n. 9, p. 1–20, 2018. doi.org/10.1371/journal.pone.0201724.

GILMORE, C. K.; MCCARTHY, S. E.; SPELKE, E. S. Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. **Cognition**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 115, n. 3, p. 394–406, 2010. doi.org/10.1016/j.cognition.2010.02.002.

GIMBERT, F. *et al.* What predicts mathematics achievement? Developmental change in 5- and 7-year-old children. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 178, p. 104–120, 2019. doi.org/10.1016/j.jecp.2018.09.013.

HABERMANN, S. *et al.* The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 193, p. 1-15, 2020. doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104794.

HAWES, Z. *et al.* Relations between numerical, spatial, and executive function skills and mathematics achievement: A latent-variable approach. **Cognitive Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 109, n. December 2018, p. 68–90, 2019. doi.org/10.1016/j.cogpsych.2018.12.002.

HECHT, S. A. *et al.* The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 79, n. 2, p. 192–227, 2001. doi.org/10.1006/jecp.2000.2586.

JORDAN, N. C. *et al.* Predicting First-Grade Math Achievement from Developmental Number Sense Trajectories. **Learning Disabilities Research & Practice**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 22, n. 1, p. 36–46, 2007. doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x.

JORDAN, N. C. *et al.* Early Math Matters: Kindergarten Number Competence and Later Mathematics Outcomes. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 45, n. 3, p. 850–867, 2009. doi.org/10.1038/jid.2014.371.

JORDAN, N. C.; GLUTTING, J.; RAMINENI, C. The Importance of Number Sense to Mathematics Achievement in First and Third Grades. **Learning and Individual Differences**,

Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 20, n. 2, p. 82-88, 2010. doi:10.1016/j.lindif.2009.07.004.

KISS, A. J.; CHRIST, T. J. Screening for Math in Early Grades: Is Reading Enough? **Assessment for Effective Intervention**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 45, n. 1, p. 38–50, 2019. doi.org/10.1177/1534508418766410.

KISS, A. J.; NELSON, G.; CHRIST, T. J. Predicting Third-Grade Mathematics Achievement: A Longitudinal Investigation of the Role of Early Numeracy Skills. **Learning Disability Quarterly**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 42, n. 3, p. 161–174, 2019. doi.org/10.1177/0731948718823083.

KRAJEWSKI, K.; SCHNEIDER, W. Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. **Learning and Instruction**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 19, n. 6, p. 513–526, 2009. doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002.

LEFEVRE, J.-A. *et al.* Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. **Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 6, p. 1753-1767, 2010. doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01508.x.

LIBERTUS, M. E.; FEIGENSON, L.; HALBERDA, J. Preschool Acuity of the Approximate Number System Correlates with School Math Ability. **Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 14, n. 6, p. 1292–1300, 2011. doi.org/10.1038/jid.2014.371.

LIBERTUS, M. E.; FEIGENSON, L.; HALBERDA, J. Is approximate number precision a stable predictor of math ability? **Learning and Individual Differences**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 25, p. 126–133, 2013. doi.org/10.1016/j.lindif.2013.02.001.

LOCUNIAK, M. N.; JORDAN, N. C. Using Kindergarten Number Sense to Predict Calculation Fluency in Second Grade. **Journal of Learning Analytics**, [*S. l.*], v. 41, n. 5, p. 451–459, 2008. doi.org/10.1177/0022219408321126.

MALONE, S. A.; BURGOYNE, K.; HULME, C. Number knowledge and the approximate number system are two critical foundations for early arithmetic development. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, 2019. doi.org/10.1037/edu0000426.

MARTIN, R. B. *et al.* Number and counting skills in kindergarten as predictors of grade 1 mathematical skills. **Learning and Individual Differences**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 34, p. 12–23, 2014. doi.org/10.1016/j.lindif.2014.05.006.

MAZZOCCO, M. M. M.; FEIGENSON, L.; HALBERDA, J. Preschoolers' Precision of the Approximate Number System Predicts Later School Mathematics Performance. **PLoS ONE**, PLOS: São Francisco, EUA, v. 6, n. 9, 2011. doi.org/10.1371/journal.pone.0023749.

MOHER, D. *et al.* Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PLoS Med**, PLOS: São Francisco, EUA, v. 6, n. 7: e1000097, 2009. doi.org/10.1371/journal.pmed1000097.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic Reviews**, BioMed Centra: Londres, Reino Unido, v. 20, n. 2, p. 148–160, 2015. doi.org/10.1186/2046-4053-4-1.

NGUYEN, T. *et al.* Which Preschool Mathematics Competencies Are Most Predictive of Fifth Grade Achievement? **Early Childhood Research Quarterly**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 36, n. 2016, p. 550–560, 2016. doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.02.003.

NUNES, T. *et al.* The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. **British Journal of Developmental Psychology**, Wiley: Hoboken, EUA, v. 25, n. 1, p. 147–166, 2007. doi.org/10.1348/026151006X153127.

NUNES, T.; BRYANT, P. **Crianças fazendo matemática**. Artmed: Porto Alegre, 1997.

NYROOS, M.; WIKLUND-HORNQVIST, C. The Association between Working Memory and Educational Attainment as Measured in Different Mathematical Subtopics in the Swedish National Assessment: Primary Education. **Educational Psychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 32, n. 2, p. 239–256, 2012. dx.doi.org/10.1080/01443410.2011.643578.

ORRANTIA, J. *et al.* Marcadores nucleares de la competencia aritmética en preescolares. **Psychology, Society, & Education**, Universidad de Almería: Espanha, v. 9, n. 1, p. 121–124, 2017.

ORRANTIA, J. *et al.* Procesamiento de magnitudes numéricas y ejecución matemática. **Revista de Educación**, Ministerio de Educación y Formación Profesional: Espanha, n. 381, p. 133–154, 2018. doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-383.

PASSOLUNGHI, M. C.; LANFRANCHI, S. Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: A longitudinal study from kindergarten to first grade. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 42–63, 2012. doi.org/10.1111/j.2044-8279.2011.02039.x.

PASSOLUNGHI, M. C.; VERCELLONI, B.; SCHADEE, H. The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. **Cognitive Development**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 22, n. 2, p. 165–184, 2007. doi.org/10.1016/j.cogdev.2006.09.001.

PURPURA, D. J.; LOGAN, J. A. R. The Nonlinear Relations of the Approximate Number System and Mathematical Language to Early Mathematics Development. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 51, n. 12, p. 1717–1724, 2015. dx.doi.org/10.1037/dev0000055

REIGOSA-CRESPO, V. *et al.* Numerical capacities as domain-specific predictors beyond early mathematics learning: A longitudinal study. **PLoS ONE**, PLOS: São Francisco, EUA, v. 8, n. 11, p. 1–11, 2013. doi.org/10.1371/journal.pone.0079711.

SÁNCHEZ, R.; MATILLA, L.; ORRANTIA, J. Relaciones entre procesamiento fonológico y diferencias individuales en ejecución matemática: un estudio longitudinal. Resumen. *In*: II Congreso Internacional Virtual sobre La Educación en el Siglo XXI, n. 2, 2017/[S. l.]. **Anais [...]**, p. 432–442.

SASANGUIE, D. *et al.* Approximate number sense, symbolic number processing, or number-space mappings: What underlies mathematics achievement? **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 114, n. 3, p. 418–431, 2013. doi.org/10.1016/j.jecp.2012.10.012

SASANGUIE, D.; VAN DEN BUSSCHE, E.; REYNVOET, B. Predictors for Mathematics Achievement? Evidence from a Longitudinal Study. **Mind, Brain, and Education**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 6, n. 3, p. 119-128, 2012.

SIMMONS, F.; SINGLETON, C.; HORNE, J. Brief report - Phonological awareness and visual-spatial sketchpad functioning predict early arithmetic attainment: Evidence from a longitudinal study. **European Journal of Cognitive Psychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 20, n. 4, p. 711–722, 2008. doi.org/10.1080/09541440701614922.

SIMPLICIO, H. *et al.* Cognitive Research and Mathematics Education — How Can Basic Research Reach the Classroom? **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 11, n. (April), p. 1–5, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00773>

SZUCS, D. *et al.* Cognitive Components of a Mathematical Processing Network in 9-Year-Old Children. **Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 17, n. 4, p. 506-524, 2014. doi: 10.1111/desc.12144.

TOBIA, V.; BONIFACCI, P.; MARZOCCHI, G. M. Concurrent and Longitudinal Predictors of Calculation Skills in Preschoolers. **European Journal of Psychology Education**, Springer: Berlim, Alemanha, v. 31, n. 2, p. 155-174, 2016. doi: 10.1007/s10212-015-0260-y.

TOLL, S. W. M.; KROESBERGEN, E. H.; VAN LUIT, J. E. H. Visual working memory and number sense: Testing the double deficit hypothesis in mathematics. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 86, n. 3, p. 429–445, 2016. doi.org/10.1111/bjep.12116.

VAN DER VEN, S. H. G. *et al.* The development of executive functions and early mathematics: A dynamic relationship. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 100–119, 2012. doi.org/10.1111/j.2044-8279.2011.02035.x.

VAN MARLE, K. *et al.* Acuity of the Approximate Number System and Preschoolers' Quantitative Development. **Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 17, n. 4, p. 492-505, 2014. doi: 10.1111/desc.12143.

WONG, T. T.-Y.; HO, C. S.-H. Component Processes in Arithmetic Word-Problem Solving and Their Correlates. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washinton, EUA, v. 109, n. 4, p. 520-531, 2017.

XENIDOU-DERVOU, I. *et al.* Cognitive predictors of children's development in mathematics achievement: A latent growth modeling approach. **Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 21, n. 6, p. 1–14, 2018. doi.org/10.1111/desc.12671.

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

International Journal of Educational Research Open

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijedro

Systematic review on the precursors of initial mathematical performance

Camila Peres Nogueas*, Beatriz Vargas Dorneles

Faculty of Education, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil



ARTICLE INFO

Keywords:

Mathematical achievement
Cognitive skills
Predictors

ABSTRACT

This study carried out a systematic review to identify which cognitive skills of general and specific domain are most frequently indicated as predictors of mathematical achievement of primary school students. For that, 62 studies were included from the EMBASE, American Psychological Association, PubMed/MEDLINE, and Educational Resources Information Center/ERIC databases. Results indicated that working memory and early numerical skills are the cognitive abilities most often reported as predictors of later mathematical achievement, regardless of the school grade and the type of mathematical performance considered. The findings gather evidence that contributes to the understanding of which cognitive skills are fundamental for long-term mathematics learning and that such skills can be inserted in school education as a resource to prevent later mathematical difficulties.

1. Introduction

Learning Mathematics requires a series of base cognitive abilities, general and specific, that determine if this process will be easy and quick to students. Therefore, it is necessary to identify which cognitive abilities are involved in mathematics learning, to help teachers' work and, consequently, students' learning, thus minimizing future problems. The development of interventions and teaching strategies that can effectively improve students' mathematical learning depend on the identification of abilities of early quantitative knowledge that influence later development (Geary, 2011).

In this sense, longitudinal studies have identified the relation of early numerical abilities and general cognitive abilities with later mathematical achievement (e.g. Carr et al., 2020; Gashaj et al., 2019; Geary, 2011; LeFevre et al., 2010; Xenidou-Dervou et al., 2018). An American longitudinal study (Geary, 2011) evaluated general and specific abilities and their effects on the mathematical achievement of 177 children from the 1st to the 5th grade. From the results, it can be identified that processing speed, working memory, recognition of quantities, counting, and number estimation were abilities that contributed to the development of mathematical knowledge during these school grades. The findings of this study indicated that these abilities were also identified as having an explanatory value of mathematical performance, that is, when evaluated early in the school life, they predict later mathematical achievement. From these evidences, the study concluded that mathematical performance and its development through time are boosted by a combination of general domain abilities, which affect several learning areas, with abilities from a specific domain, which influence only mathematical learning (Geary, 2011).

These findings are corroborated by other studies which focused on the evaluation of first-grade students that also highlight working memory and early numerical abilities as predictors of later mathematical performance (e.g. Aragón et al., 2019; Nunes et al., 2007; Passolunghi, Vercelloni, & Schadee, 2007; Xenidou-Dervou et al., 2018). However, a British study which evaluated 77 students from 7.8 to 10.8 years old, has also considered abilities from general and specific domains (Gilmore et al., 2018). It shows, among the evaluated abilities, only number line estimation as a predictor of mathematical performance, having no meaningful results to any of the general domain abilities, working memory among them. This study meets other works that have also investigated the abilities of both domains and indicated different results (e.g. Cirino, 2011; Fanari et al., 2018; Hawes et al., 2019; Orrantia et al., 2018).

It is worth noting that, in studies such as the one by Jordan and colleagues (2010), in which the performance of the same students was evaluated in more than one school grade, the authors found different results on the predictor abilities in each grade. This study, also from the U.S., aimed to longitudinally evaluate the unique and predictive contribution of number sense and general abilities, such as working memory and spatial reasoning, in 175 students in 1st grade, who were later evaluated in 3rd grade. From the results, they identified that number sense and spatial reasoning were predictors in both grades, however working memory was explicative of mathematical achievement only on 3rd graders. Thereby, we can raise the hypothesis that the abilities that influence mathematical achievement depend on the school grade evaluated, as well as the type of mathematical performance considered, if arithmetical or problem solving, for example (Kiss et al., 2019; LeFevre et al., 2010; Toll et al., 2016).

* Corresponding author.

E-mail addresses: camilapnogueas@gmail.com (C.P. Nogueas), beatriz.dorneles@ufrgs.br (B.V. Dorneles).

Thus, considering the divergences and convergences among the findings of the researches in the same themes, we highlight the importance of gathering and analyzing the existing studies to check the abilities more frequently related as precursors of mathematical performance. Therefore, this defines the proposal of this study which aims to do a systematic review of the literature on cognitive abilities identified as predictors of mathematical performance, especially arithmetical performance, of elementary students. The intention of this systematic review is the possibility of mapping the literature presented until now about the precursors of mathematical performance, i.e., which abilities, from general and specific domains, that are considered as explanatory for this performance. It is relevant to mention that this systematic review was conducted considering the perspective of cognitive psychology, specifically numerical cognition. Thus, all articles included for analysis are on the same theoretical foundation and consider methods for assessing student performance that are in accordance with the perspective mentioned.

The focus on elementary students was determined from the understanding of how mathematical learning takes place, which requires that the basic abilities are well consolidated to have an adequate development in this area of school knowledge (Butterworth, 2005; Nunes & Bryant, 1997). Besides this, we highlight the relevance to look for re-researches that present regression analysis and that describe the results from the point of view of predicting mathematical achievement. However, we should note that mathematical performance is broad and involves several areas, such as arithmetic, algebra, problem solving, and geometry, among other. Therefore, as the age range chosen for this systematic review comprises students from Preschool until the 5th grade, we opted to select studies that included arithmetic as the main area to evaluate mathematical achievement, as it is the central axis of the mathematical curriculum in this schooling phase (Brasil, 2018), dealing with the study of numbers, operations, and their relations. Thus, we intend to gather evidence of cognitive abilities that can help students' early mathematical development.

In this sense, knowing the different studies that investigate the precursors of mathematical performance is a key to identify what we already know on the theme and what types of knowledge can be broadened by future researches that contribute to the identification of important abilities for mathematical performance. This allows the evaluation of those abilities in children with and without mathematical difficulties and plan interventions that help the development of those abilities and, consequently, of mathematical knowledge.

2. Method

This study of systematic review of literature was conducted and reported according to the recommendations of *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* – PRISMA (Moher et al., 2015), which contains a set of necessary items to be followed by the authors, helping them to conduct a standard method to elaborate a systematic review. PRISMA is widely used on researches in the health area, therefore, some items do not apply to a review of education studies, even so, due to the lack of methods devised for the educational area, we opted to adopt these existing recommendations, adapting when necessary. Thus, we followed the phases of identification, screening, eligibility, inclusion, and data extraction from the included studies. All phases were done by the researcher rigorously following the pre-established criteria. We did not register the protocol of this systematic review, as the researched topic is not on the scope of the registry platform.

1.1. Search strategy

The data bases EMBASE, *American Psychological Association* (APA), *PubMed/MEDLINE*, and *Educational Resources Information Center* (ERIC) were chosen as they were relevant to the subject area we intended to study and academically relevant. We also included articles selected from

the references of a manual research. The search comprised articles published until March 3rd, 2020, without establishing an initial limit, as we intended to encompass the highest number of studies on the subject. The search strategies were the same in all bases, considering the key words: *(predictors) OR (precursors) AND (mathematics) AND (achievement)*. The key word *mathematics* was considered because most authors used this term to also designate arithmetic performance, the focus of this systematic review. According to previously established criteria, we selected only complete articles published in peer-reviewed journals, in English, Spanish or Portuguese, that aimed to investigate cognitive abilities that could predict mathematical performance in Elementary education.

1.2. Criteria for eligibility

At the first phase, screening, the articles were selected through reading the titles and abstracts, including the studies that were in agreement with the topic to be studied and excluding those that were repeated or had no relevance to the theme. After, we did a list of eligible articles, which were partially read, considering mainly the method, the sample, evaluated precursor abilities, and the outcome variables considered. In this eligibility phase, we followed the ensuing criteria for inclusion: a) sample of students from Preschool and early grades of Elementary school; b) sample with typical performance; c) evaluation of cognitive abilities of general or specific domains of learning; d) conduct an analysis of prediction (regression analysis); and e) mathematical performance, related to arithmetic performance, as outcome variable. The exclusion criteria were: a) sample smaller than 15 participants; b) evaluation exclusively of social, psychological, or emotional measures; c) evaluation of other abilities (for example: mental activity, physical activities, fine motor skills, spontaneous focus on numbers); d) evaluation of a teaching method or teacher training; e) evaluation based on parental level of education or school incentive at home; f) sample composed by students with learning difficulties, disorders, or syndromes; and g) outcomes different from those of arithmetic performance or which included reading or problem solving.

1.3. Criteria for inclusion and data selection

After that, in the inclusion phase, we read the complete studies selected to extract the data. The data of interest were organized in a spreadsheet, considering the following information: a) publication year; b) country in which the study was held; c) the main objective of the study; d) characteristics of the sample (age and schooling level); e) evaluation moments; f) evaluated cognitive abilities; g) outcome variable considered; h) main results.

To analyze this data, we considered: the frequency of countries in which the studies originated, the average, the median, and the interval of the sample size; the school grades evaluated; the most and least frequent cognitive abilities evaluated; the outcome variables considered; and, according to the main results, the most frequent predictors to arithmetic performance.

3. Results

Initially, from the search in the database, we identified 1991 articles and included another 28 from a manual search, in a total of 2019 articles (Fig. 1). After the triage, we read the titles and abstracts, excluding the repeated ones and those with no relation to the proposed theme, such as those whose outcome variable was other than arithmetic performance, those that did not evaluate cognitive abilities, and those which did not focus on the prediction analysis, or whose sample was for advanced school years, or with children with learning difficulties. This left us with 217 studies to be read in more details. In the eligibility phase, we excluded 155 articles, according to the exclusion criteria previously mentioned. Thus, we had 62 studies left to read in full and synthesize in a qualitative analysis.

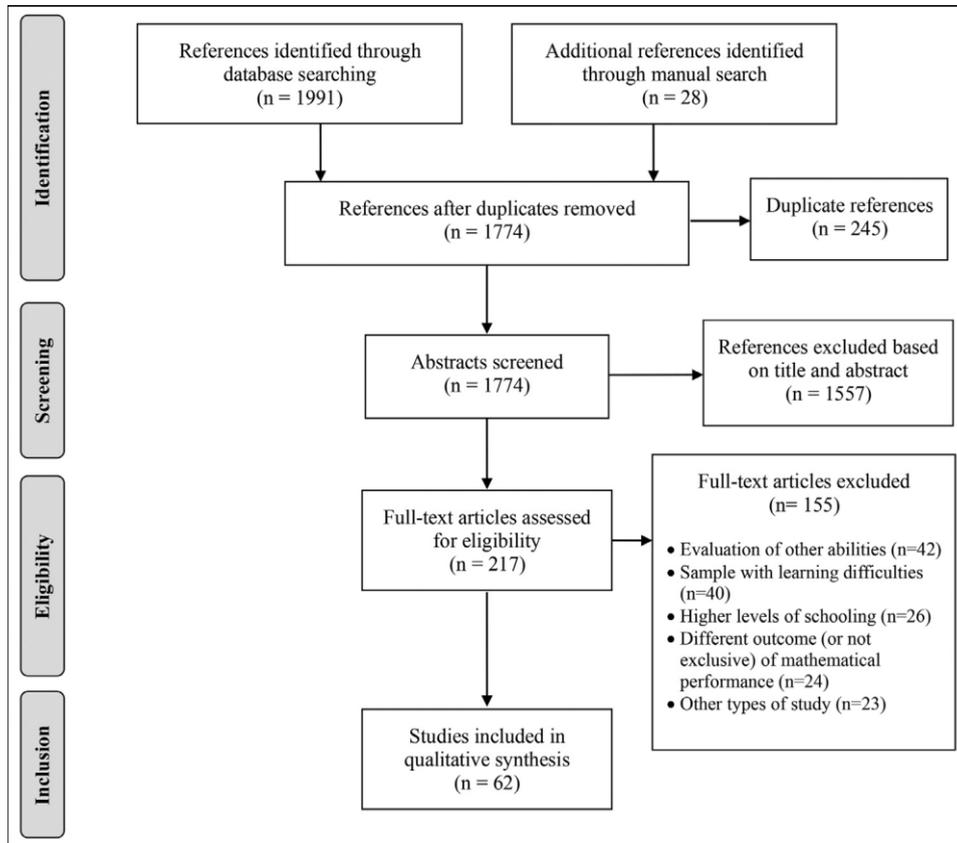
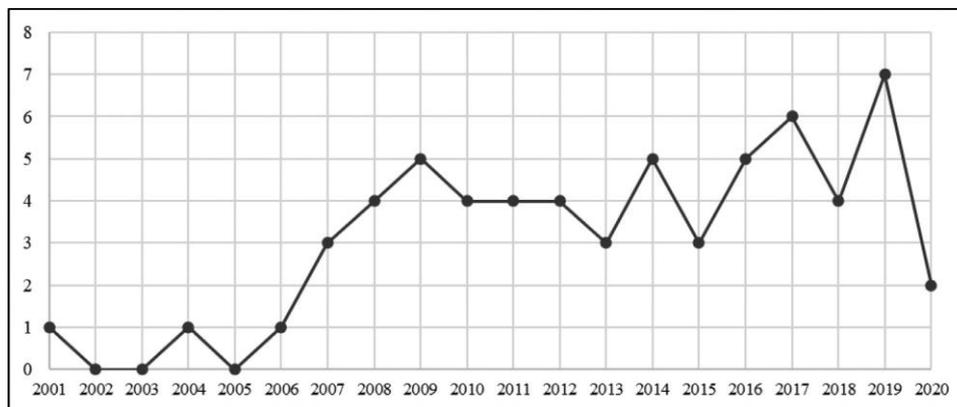


Fig. 1. PRISMA flow diagram of systematic review.

Source: Adapted from PRISMA (Moher et al., 2009).



Graph 1. Frequency of articles per publication year.

Source: Created by the author.

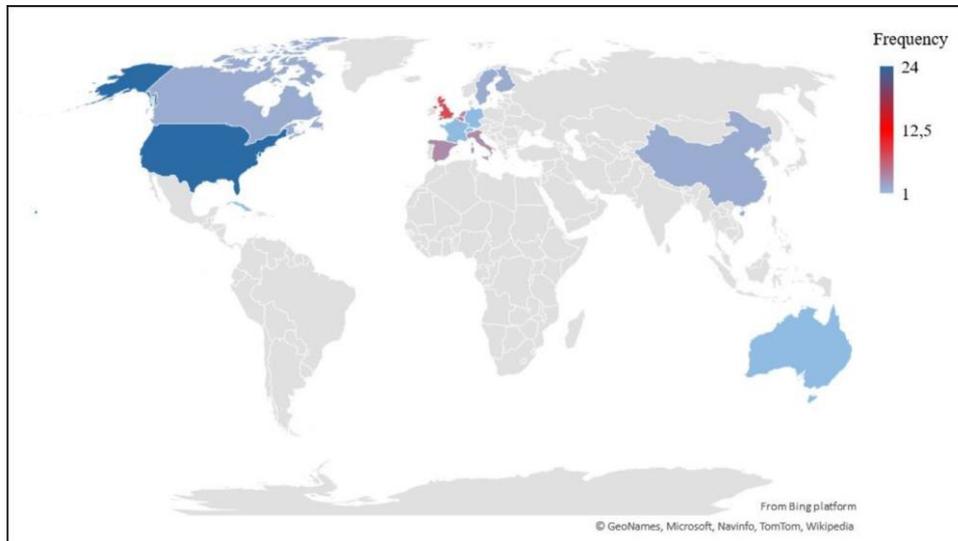
From this selection of 62 articles included in this systematic review, it was possible to identify that the period of publication of these studies was between 2001 and 2020, most of them in the year 2019 ($n=7$, 11.3%), as can be seen in **Graph 1**. Regarding the journals, the selected articles were distributed through 31 journals, the ones with the highest number of studies published were *Journal of Experimental Child Psychology* ($n=11$, 17.7%), followed by *Journal of Educational Psychology* ($n=7$, 11.3%), and *Developmental Psychology* ($n=5$, 8.1%).

The data was collected in 15 countries, most studies were held in the United States ($n=24$, 38.7%), followed by the United Kingdom ($n=8$, 12.9%), Belgium ($n=5$, 8.1%), Spain, Netherlands, and Italy each with 4 studies, followed by Canada, China, Finland, and Sweden with two studies each, and, finally, Germany, Australia, Cuba, France, and Switzerland with one study per country (**Graph 2**). The average sample was 363.2 participants; however, this was due to some cohort studies, one specially had a sample size of 12,099 students. Therefore, it is worth

saying that the median of sample sizes was 148 students, 17 the smaller sample and the second larger 781 students, not considering the biggest of all which was the cohort study previously mentioned. The average age of participants, considering the start of data collection in all studies, was 6.11 years old. The different age averages presented in the studies encompassed the interval from 3.8 to 10.3 years old.

Most studies focused on the evaluation of children in Preschool ($n=38$, 61.3%). Longitudinal studies were the most common in this review ($n=32$, 51.6%), with the evaluation of mathematical performance done after a year of predictor abilities, and 30 studies (48.4%) in which the outcome was measured during the same school year as the other cognitive abilities. Students' school level varied from Preschool as the starting point, in which the predictor abilities were evaluated, until the 5th grade, to evaluate the outcome variable.

Out of the analyzed studies, 41 (66.1%) used only standardized tests as measure of mathematical performance, 12 (19.35%) used only in-



Graph 2. Distribution of publications percountry.
Source: Created by the author.

formal tasks of research, and 8 (12.9%) measured mathematical performance from a combination of standardized tests and informal tasks. We also saw that only 15 articles (24.2%) analyzed only arithmetic performance, the other 47 (75.8%) measured students' general mathematical performance, including number knowledge, arithmetic, problem solving and, in some even notion of geometry, for example. [Table 1](#) presents a descriptive synthesis of the selected studies, in which more details can be seen.

We also found that most ($n=48$, 77.4%) articles evaluated measures of specific and general domain, 5 (8.1%) evaluated only abilities of the specific domain, and 9 (14.5%) only the general domain. From this synthesis of studies, we could see that the specific domain abilities that more frequently predict mathematical performance are: early numerical abilities – serialization, identification and naming numbers, numeric sequence, discrimination of quantities; counting – cardinality, counting strategies; and comparison of symbolic quantities. Similarly, the abilities of general domain are: working memory, intelligence (verbal and non-verbal); executive functions, and phonological awareness.

Another interesting factor to be highlighted are the differences and similarities found in the predictor variables of arithmetic performance. Out of all articles included, 28 (45.2%) evaluate working memory and out of those, 21 (75%) found that it was a predictor. The second ability most frequently evaluated was students' intelligence, 28 articles (45.2%) considered this ability and 14 (50%) identified it as a predictor of mathematical achievement. When checking the specific domain abilities, out of the 26 studies (41.9%) which considered early numerical abilities in their evaluation, 25 (96.15%) reported that these measures explained later mathematical achievement. Only one study ([Fuhs et al., 2016](#)) which evaluated early abilities did not find a significant predicting value. This probably happened because in the regression model analysis these variables were inserted together with the general mathematical performance, which was also measured in the first evaluation moment and this evaluated performance in Preschool was responsible for explaining a large part of the later mathematical achievement, evaluated in the 2nd grade (effect size $\beta=0,48$). In the sequence of analysis of this study, the authors show the indirect effects of early numerical abilities, which were responsible for mediating the direct relation between previous mathematical performance (Preschool) and later performance (2nd grade).

About counting, the second most frequent specific ability in the studies, it was a predictor in 12 (70.6%) studies out of the 17 (27.4%) which included it in their analysis. Here it is worth to mention that some studies considered counting as part of the early abilities, not separating it on their analysis (e.g. [Jordan et al., 2009](#)), as well as studies which con-

sidered it as part of the number sense that also did not separated it on their analysis (e.g. [Jordan et al., 2007](#)).

From the analysis, we can say that in the first grades of schooling, from Preschool until the 2nd grade, more basic abilities are essential, as approximate number system (ANS), recognition and reading of numbers, and identification of quantities (e.g. [Cirino, 2011](#); [Gimbert et al., 2019](#); [Mazzocco et al., 2011](#); [vanMarle, Chu, Li, & Geary, 2014](#)). As students advance the school grades, mathematical learning will depend of more complex abilities, such as arithmetic knowledge, which include numerical operations (addition and subtraction), arithmetic facts, calculation from algorithms or mental strategies ([Casey et al., 2017](#); [Gilmore et al., 2018](#)).

However, some abilities are important predictors during the whole schooling period and are shared among all levels of mathematical knowledge, which are: counting, number estimation, and early numerical abilities. This last one includes number recognition (understanding of the number system), comparison of symbolic amounts, number sense, which was identified as a predictor of mathematical performance up the 3rd grade, and subitizing, seen in the performance of 4th and 5th grade students. Some differences between explanation values and the level of significance of the evaluated abilities also appeared according to the tasks used, as well as the theoretical definitions followed by the authors on each cognitive ability.

Regarding general domain abilities, we can see that most of the ones chosen to be evaluated are demanded through the first stages of schooling, that is, since Preschool until the 5th grade, varying only on the choice of tasks used or the study focus which preferred to evaluate a certain ability of a set of abilities. Hence, it was not possible to identify any tendency of predicting abilities that are more recurrent in each school grade, as the abilities were important and explanatory of students' mathematical performance through all schooling years. The abilities were: working memory, phonological awareness (except 2nd grade), intelligence quotient (IQ), some type of spatial ability, be it on memory, orientation or attention, and processing speed.

Similarly, these abilities also vary their explanatory level depending of what is evaluated as mathematical performance, i.e., when there is a distinction between only arithmetic performance, which includes calculations, algorithms, fluency, and the general mathematical performance, which considers, besides the ability to solve calculation, problem solving, measurements, geometry, algebra, among others. Working memory and early numerical abilities were the cognitive abilities more frequently related as predictors in both types of performance; followed by symbolic and non-symbolic comparison, and language abilities (writing, reading words, verbal fluency, vocabulary) for the

Table 1

Summarized description of each study selected for the systematic review.

Study (IF)	N	Age (average)	Evaluated school grade	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Significant predictors and effect size (β)
Hecht et al., 2001 (IF = 2.84)	201	7.7 years old	From the 2 nd to the 5 th grade		Reading, phonological memory, phonological awareness, naming speed, IQ	Calculation abilities: (four operations, fraction, algebra - WJ-III); simple arithmetic (mental calculation)	2nd to 3rd grade and 2nd to 5th grade: phonological memory (0.05 and 0.03), rate of access (0.12 and 0.07), and phonological awareness (0.06 and 0.11). 3rd to 4th grade: phonological awareness (0.06). 4th to 5th grade: phonological awareness (0.02).
Aunola et al., 2004 (IF = 4.88)	194	6.25 years old	Preschool, 1 st , and 2 nd grades	Counting ability	Visual attention, metacognitive knowledge, listening comprehension	Mathematical performance: Diagnostic Test for Basic Mathematical Concepts – Standardized test. Considered: knowledge of ordinal and cardinal numbers, basic mathematical concepts, identification of numbers, simple problems, basic arithmetic	Counting ability (0.62); metacognitive knowledge (0.17); listening comprehension (0.16).
Fuchs et al., 2006 (IF = 3.82)	312	Not informed	3 rd grade	Non-verbal problem solving	Language; concept formation, processing speed; long-term memory; working memory; attentive behavior; phonological decoding and reading	Arithmetic (fluency in calculations of addition and subtraction); calculations with two-digit numbers; arithmetic problems with numbers up to 9	Arithmetic: attention (0.24); processing speed (0.33); and phonological decoding (0.16) Calculations with two-digit numbers: attention (0.37). Arithmetic problems: non-verbal problems (0.16), concept formation (0.20), reading (0.11), language (0.18) and attention (0.19).
Nunes et al., 2007 (IF = 1.03)	53	6 years old	1 st grade (later, 2 nd grade)	Logic competence (knowing how to read and write numbers, understand number relations and operations)	BAS II – general cognitive abilities (quantitative ability; verbal similarities; numerical and matrices abilities); working memory (counting recall and backward digit recall)	SATs-Maths (standardized test); numerical knowledge, basic operations	Logic competence (0.45); counting recall (0.12); intelligence - BAS II (0.39).
Passolunghi et al., 2007 (IF = 2.65)	170	6.3 years old	1 st grade	Numerical competence (writing and reading numbers, comparing magnitudes, counting ability)	Working memory; short-term memory; phonological ability; IQ	Standardized test for the 1 st year (logic, arithmetic, and geometry)	Working memory (0.38), specifically central executive, and verbal counting (-0.54).
Jordan et al., 2007 (IF = 4.51)	277	5.58 years old	Preschool and 1 st grade	Number sense (counting, numerical knowledge, non-verbal calculation, arithmetic problems, number combination)	Reading (letter naming fluency, segmentation fluency and nonsense word fluency)	Mathematical achievement: WJ – III (standardized test) – calculation and mathematical problems	Number sense (0.72).
Andersson, 2008 (IF = 1.42)	141	10.3 years old	3 rd and 4 th grades		Reading and comprehension. Working memory (central executive, phonological loop, and visuospatial sketchpad)	Arithmetic (addition, subtraction, and multiplication) and arithmetic fact retrieval	Arithmetic: counting span (0.24); verbal fluency (0.14); trial-making (-0.19); digit span (0.17); age (0.15); IQ (0.18) and reading (0.30). Recovery of arithmetic facts: reading (0.34); verbal fluency (0.19) and trail-making (-0.17).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age (average)	Evaluated school grade	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Significant predictors and effect size (β)
Bull et al., 2008 (IF = 12.22)	104	4.5 years old	Preschool (later, 1 st and 3 rd grades)		Central executive tasks, short-term working memory and working memory	Performance Indicators in Primary School (PIPS) – evaluates basic number knowledge, phonetic, and reading ability	In the beginning of 1st grade: Short-term visuospatial memory ($r^2=8.3\%$), short-term memory ($r^2=2.9\%$), verbal work memory ($r^2=7.1\%$), inhibitory control ($r^2=3.3\%$) and planning and monitoring ($r^2=5\%$). In the end of 1st grade: Short-term visuospatial memory ($r^2=2.7\%$) In the end of 3rd grade: visuospatial working memory ($r^2=5.5\%$)
Locuniak; Jordan, 2008 (IF = 2.53)	198	5.5 years old	Preschool and 2 nd grade	Number sense (counting, number knowledge, nonverbal calculation, story problems, and number combinations)	Reading (letter-naming fluency, phoneme-segmentation fluency, and nonsense-word fluency) Cognitive measurements: digit span (WISC-IV) and IQ (WASI – vocabulary and nonverbal reasoning)	Fluency in calculation (Assessment of Math Fact Fluency) – addition up to 18, and subtractions with minuends up to 18)	$R^2=42\%$. Number sense – number knowledge (0.17), number combinations (0.28) Working memory – backward digit span (0.14).
Simmons et al., 2008 (IF = 0.89)	42	5.2 years old	Not informed (outcome evaluation done after 1 year)		Visuospatial functioning, phonological awareness, vocabulary, nonverbal reasoning, reading	Arithmetic: British Ability Scales Number Skills Test (BAS Number) standardized test that evaluates the solution of simple arithmetic problems	$R^2=41\%$ - visuospatial functioning (0.32) and phonological awareness (0.30).
De Smedt et al., 2009 (IF = 3.26)	106	6.25 years old	1 st and 2 nd grades		Working memory (central executive, phonological loop, and visuospatial sketchpad) and nonverbal IQ	Mathematical performance (Flemish Student Monitoring System – standardized test) – number knowledge, comprehension of operations, simple arithmetic, and measurements	1st grade: $R^2=42\%$ - visuospatial sketchpad (0.34), central executive (0.26), nonverbal IQ (0.21). 2nd grade: $R^2=49\%$ - phonological loop (0.24), nonverbal IQ (0.42) Number comparison (0.34).
De Smedt et al., 2009 (IF = 3.20)	42	6.3 years old	1 st grade (later, 2 nd grade)	Numerical comparison, reading numbers	Nonverbal IQ	Mathematical performance: Flemish Student Monitoring System (standardized test). Evaluates the mastery of numerical system up to 20, numerical knowledge, understanding of operations, simple arithmetic, problems, and measurements	
Desoete et al., 2009 (IF = 6.44)	158	Not informed	1 st , 2 nd and 3 rd grades (later, 3 rd , 4 th , 5 th grades)	TEDI-MATH: seriation, classification, procedural counting knowledge, conceptual counting knowledge		Arithmetic performance: Kortrijk Arithmetic Test–Revision - KRT-R (standardized test). Evaluates mental arithmetic and numerical knowledge. Numerical ability: Arithmetic Tempo Test (ATT), in which the child has to solve the highest number of numerical facts (4 operations) possible in 5 minutes.	Arithmetic performance – 3rd grade: conceptual counting (0.45) and numerical ability (0.55), 4th grade: conceptual counting (-0.22) and numerical ability (0.22), 5th grade: numerical ability (0.34). Numerical ability – 3rd grade: procedural counting (0.54) 5th grade: procedural counting (0.30) Number competence (0.96)
Jordan et al., 2009 (IF = 6.97)	196	5.5 years old	Preschool (later, 1 st and 3 rd grades)	Number competence: counting, number recognition, number comparison, nonverbal calculation, story problems, and number combinations		Mathematical performance: WJ-III (standardized test). Sub-test calculations (WJCalc) measures the ability to solve conventional calculations. Sub-test of applied problems (WJApp) which demands solving problems presented orally	

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age (average)	Evaluated school grade	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Significant predictors and effect size (β)
Krajewski; Schneider, 2009 (IF = 3.07)	130	6.25 years old	Preschool, 1 st . and 4 th grades	Basic numerical skills: number word sequence, counting; and QNC: quantity comparison and quantity to number-word linked seriation	Nonverbal intelligence, phonological memory, speed of access to long-term memory (number naming speed), socioeconomic status	Mathematical achievement: arithmetic fact retrieval and two tests (1 st and 4 th grades) standardized in Germany (number line, addition, subtraction, multiplication, division, practical mathematics, and geometry)	Arithmetic fact retrieval at 1st grade: QNC (0.35) and number naming speed (0.30). Mathematical performance at 1st grade: arithmetic fact retrieval (0.33), basic numerical skills (0.42). Mathematical performance at 4th grade: number naming speed (0.26), socioeconomic status (0.36), basic numerical skills (0.49).
Aunio; Niemivirta, 2010 (IF = 3.19)	212	6 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Early numeracy: relational skills – concepts of comparison, classification, one-to-one correspondence, seriation; counting skills – the use of number words, counting, and the general understanding of numbers		Basic and applied arithmetic abilities: Mathematics school test (standardized test) – addition and subtraction up to two digits Mathematical competence: evaluation done by teachers according to the school curriculum and content studied until the moment	Basic numerical abilities: relational skills (0.30) and counting skills (0.24). Applied arithmetic abilities: relational skills (0.25) and counting skills (0.26). Mathematical competence: relational skills (0.24) and counting skills (0.47).
Gilmore et al., 2010 (IF = 2.81)	83	5.8 years old	Preschool	Non-symbolic approximate addition, verbal knowledge of numbers and knowledge of Arabic numerals.	Verbal intelligence and test literacy level	Mathematical achievement: counting, symbolic knowledge of numbers and some abilities of geometry	Verbal intelligence ($R^2=22.7\%$), literacy ($R^2=32.3\%$) and symbolic knowledge of numbers ($R^2=11.1\%$).
Jordan et al., 2010 (IF = 4.29)	175	5.5 years old	1 st grade (later, 3 rd grade)	Number sense: Number sense brief screen – counting knowledge and principles, number recognition, number comparisons, nonverbal calculation, story problems, number combinations	Intellectual level (WASI – vocabulary and spatial reasoning. Short-term memory and working memory (digit span)	Mathematical achievement: Woodcock-Johnson III (WJ-III) – written calculation and applied problem solving	1st grade - IQ: vocabulary (0.14), spatial reasoning (0.17); working memory (0.11); number sense (0.48). 3rd grade - IQ: spatial reasoning (0.25); number sense (0.46).
LeFevre et al., 2010 (IF = 4.96)	122	Not informed	Preschool (later, 2 nd grade)	Quantitative knowledge: evaluate and discriminate quantities, recognize quantities (subitizing) Early numeracy skills: number naming and nonlinguistic arithmetic	Linguistic skills: phonological awareness, vocabulary, verbal reasoning, listening comprehension Spatial attention: visual-spatial working memory and central executive	Mathematical knowledge: KeyMath Test– Revised (standardized test) – enumeration, geometry, and measurement. And the calculation test (WJ–R). Also applied the number line task, symbolic magnitude comparison task and word reading	Standardized test – Enumeration: spatial attention (0.14), linguistic skills (0.54), quantitative skills (0.19). Calculation: spatial attention (0.27), linguistic skills (0.39), quantitative skills (0.20). Geometry: spatial attention (0.23), linguistic skills (0.41). Measurements: spatial attention (0.24), quantitative skills (0.32). Number line estimation (precision): gender (0.21), spatial attention (0.24), linguistic skills (0.47), quantitative skills (0.24). Comparison of magnitudes: linguistic skills (0.24) and quantitative skills (0.30).

Table 1
(continued)

Study (IF)	N	Age(average)	Evaluated school grades	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Cirino, 2011 (IF = 1.42)	286	6.13 years old	Preschool	Symbolic and nonsymbolic comparison, symbolic labeling numbers, rote counting (numerical sequence), counting knowledge (count objects)	Visuospatial working memory, phonological awareness, rapid automatized naming (RAN)	Addition (small sums)	Symbolic comparison (0.04), symbolic labeling numbers (0.49), rote counting (0.04) and counting knowledge (-0.30).
Geary, 2011 (IF = 6.68)	177	6.16 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Counting knowledge; addition strategy choices; number sets (establish sets with a determined quantity); number line estimation	Intelligence (IQ); WASI (vocabulary and matrix reasoning); working memory (central executive, phonological loop, visuospatial sketchpad), processing speed	Numerical operations of WASI (Wechsler Individual Achievement Test-II- Abbreviated)	Intelligence (0.24), processing speed (0.26), central executive (-0.29), visuospatial sketchpad (0.26), number sets, addition strategies, number line estimation (0.14).
Libertus et al., 2011 (IF = 4.67)	174	4.2 years old	Preschool	Approximate Number System (ANS) – non-symbolic numerical comparison	Verbal ability – vocabulary	Mathematical ability: Test of Early Mathematics Ability (TEMA-3) – Evaluates numerical abilities (counting, number comparison, reading numbers, comprehension of numerical facts, calculations of addition and subtraction, number concepts)	ANS ($R^2=19\%$)
Mazzocco et al., 2011 (IF = 3.97)	17	From 3 to 6 years old	Preschool (later, some still in 1 st and 2 nd grades)	ANS	Intelligence - Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI) and Rapid Automatized Naming (RAN)	Mathematical performance: Test of Early Mathematics Ability (TEMA-3)	ANS ($R^2=28\%$)
Passolunghi; Lanfranchi, 2012 (IF = 2.25)	70	5.2 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Verbal counting, number competence (comparison, classification, correspondence one-to-one, seriation, counting, use of words-numbers, general understanding of number)	IQ, working memory, verbal and visuospatial short-time memory, phonological ability and processing speed	Mathematical achievement: standardized test for 1 st grade that evaluates arithmetic and geometry	Number competence evaluated in the end of preschool: processing speed (0.46) and working memory (0.38). Mathematical achievement evaluated at the end of the 1st grade: processing speed (0.23), number competence (0.24) and verbal IQ (0.29).
Sasanguie et al., 2012 (IF = 1.10)	72	Preschool: 5.6 years old 1 st : 6.7 years old 2 nd : 7.6 years old	Preschool, 1 st and 2 nd grades	Number identification (number priming), number comparison, and symbolic and non-symbolic number line estimation	Writing: Flemish Student Monitoring System (standardized tests), evaluates the spelling of letters, words, and phrases	Mathematical performance: Flemish Student Monitoring System (standardized test). Evaluates number knowledge, understanding of operations, simple arithmetic, problem solving, measurements, and geometry	School grade (0.44), writing (0.35), symbolic number comparison (0.61), non-symbolical number line estimation (0.38).
Nyroos; Wiklund-Hornqvist, 2012 (IF = 0.31)	40	From 8 to 9 years old	3 rd grade		Working memory: central executive, phonological loop and visuospatial sketchpad	Mathematical performance: national standardized test (arithmetic calculation, mental arithmetic, time, understanding of numbers, fractions, area, and volume)	Visuospatial sketchpad (0.35) and phonological loop (0.43).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age(average)	Evaluated school grades	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Van der Ven et al., 2012 (IF = 3.04)	211	6.5 years old	1 st grade (later, 2 nd grade)		Executive functions: inhibition, shifting and updating	Mathematical performance: standardized test applied by the schools (numbers and relations, simple addition and subtraction, simple multiplication and division, math applications, and measuring)	Updating (0.84)
Libertus et al., 2013 (IF = 2.65)	204	4.8 years old	Preschool	Approximate Number System (ANS) — non-symbolic number comparison	Expressive vocabulary; attention; response time; memory span (digits and letters)	Mathematical ability: Test of Early Mathematics Ability (TEMA-3). Evaluates number abilities (counting, number comparison, reading numbers, understanding of number facts, calculations of addition and subtraction, number concepts)	ANS ($R^2=7\%$), number abilities evaluated in the beginning of the school year ($R^2=45\%$), response time ($R^2=6\%$).
Reigosa-Crespo et al., 2013 (IF = 0.39)	49	9.3 years old	3 rd and 4 th grades (later, 4 th and 5 th grades)	Basic numerical abilities: dot enumeration, symbolic comparison, simple reaction time; counting effect and subitizing effect	Non-verbal IQ, word and pseudoword reading, reading fluency and reading comprehension	Mathematical fluency, curricular mathematical performance	Mathematical fluency: age (0.36), non-verbal reasoning (0.32), subitizing (0.29). Mathematical performance based on curriculum: non-verbal reasoning (0.68), subitizing (-0.33).
Sasanguie et al., 2013 (IF = 3.25)	71	1 st : 6.6 years old, 2 nd : 7.7 years old, 3 rd : 8.6 years old	1 st , 2 nd and 3 rd grades (later, 2 nd , 3 rd and 4 th grades)	Symbolic and non-symbolic comparison, symbolic and non-symbolic number line estimation	Writing: Flemish Student Monitoring System (standardized test), evaluate spelling letters, words, and phrases	Arithmetic fluency and general performance in Mathematics – Flemish Student Monitoring System (standardized test). Evaluates numerical knowledge, understanding of operations, simple arithmetic, problem solving, measures, and geometry	Arithmetical fluency: symbolic comparison (-0.36) and writing (0.38). General mathematical performance: symbolic comparison (-0.30), symbolic number line estimation (-0.27) and writing (0.33).
Bartelet et al., 2014 (IF = 1.36)	209	6 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Symbolic and non-symbolic comparison, dot enumeration, estimation	Baseline response time; non-verbal reasoning	Arithmetic performance: standardized test (TTA). Evaluates the level of automatization of basic arithmetic facts (they used: addition, subtraction)	Symbolic comparison (0.28), estimation (0.30), gender (-0.12), school (-0.35).
Fuchs et al., 2014 (IF = 0.64)	394	6.5 years old	1 st grade (later, 2 nd and 3 rd grades)	Foundational numerical competencies: number sets (number, numerical mapping, and part-whole relation) and number line estimation	Non-verbal reasoning; listening comprehension; working memory, and attentive behavior	Numeration understanding: KeyMath – Numeration (identify amount of objects, reading numbers, identify ordinal numbers, successor and antecessor, order sequence of numbers, identify numbers from the representation of base 10, identify numbers missing in the number line). Calculation ability: Wide Range Achievement Test – Arithmetic. Evaluates the ability to solve arithmetic calculations	Non-verbal reasoning (0.09), listening comprehension (0.09), working memory (0.13), attentive behavior (0.08) and number sets (0.15).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age(average)	Evaluated school grades	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Martin et al., 2014 (IF = 0.89)	193	6.16 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Counting (procedural and conceptual), symbolic numbers (identification and comparison)	Spatial working memory, phonological/verbal working memory, central executive, phonological awareness, behavioral inattention	Fluency in calculation (simple addition and subtraction), computations (WJ-III - addition and subtraction with single and multi digits) applied problems (WJ-III) and math problem solving	Fluency: Verbal working memory (0.04), identification of numbers (0.11), symbolic comparison (0.02). Calculation: Age (-0.15), phonological awareness (0.04), identification of numbers (0.1) and symbolic comparison (0.02). Applied problems: verbal working memory (0.57), phonological awareness (1.28), symbolic comparison (0.23). Problem solving: spatial working memory (0.26), phonological awareness (0.33), identification of numbers (0.24), symbolic comparison (0.09). Verbal intelligence (0.21), phonological decoding (0.27), visual short-term memory (0.17), working memory (0.25), spatial orientation (0.24) and executive functioning, and switching (trail-making) (-0.16).
Szucs et al., 2014 (IF = 1.58)	98	8.9 years old	3 rd and 4 th grades	Number sense (symbolic and non-symbolic comparison, subitizing); dot enumeration (from 4 to 6)	Short-term memory: verbal and visual; working memory; phonological decoding; verbal and non-verbal IQ; executive functioning; switching; attention; inhibitory control; response time; spatial orientation ability; spatial knowledge of symmetry; mental rotation; finger recognition; reading	Mathematical performance: Mathematics Assessment for Learning and Teaching (MaLT – standardized test) and mathematical abilities – Wechsler Individual Achievement Test (WIAT-II) numerical operations	ANS (0.28), counting (es = 0.20), numeral recognition (es = 0.81), numeral comparison (es = 0.04) and cardinality (es = 1.93).
van Marle et al., 2014 (IF = 1.99)	138	3.8 years old	Preschool	Quantity discrimination (ANS), counting, numeral recognition (1-15), numeral comparison, cardinality	ANS and cardinality	Mathematical performance: Test of Early Mathematical Ability-3 (TEMA-3)	ANS (0.28), counting (es = 0.20), numeral recognition (es = 0.81), numeral comparison (es = 0.04) and cardinality (es = 1.93).
Chu et al., 2015 (IF = 1.57)	191	3.8 years old	Preschool	Quantity discrimination (ANS), counting, numeral recognition (1-15), numeral comparison, cardinality	(IQ), executive functions, preliteracy (reading ability)	Mathematical performance: TEMA-3 – represent quantities with fingers, counting, number comparisons, informal arithmetic	Phonological awareness (0.32), IQ (0.19), cardinality (0.34).
Foster et al., 2015 (IF = 0.30)	208	5.6 years old	Preschool	Quantity discrimination (ANS), counting, numeral recognition (1-15), numeral comparison, cardinality	Fluid intelligence (non-verbal IQ), vocabulary, phonological awareness, RAN (Rapid automatized naming), short-term phonological memory	Numerical knowledge (numeracy): Research-based Early Math Assessment (REMA) – verbal counting, counting objects, recognition of numbers, and subitizing, number comparison, number sequence, recognition of numbers, composition and decomposition of numbers, addition, and subtraction. Applied problems (WJ-III): simple arithmetic problems	Numerical knowledge: IQ (0.88), phonological awareness (1.09) Applied problems: IQ (0.63), phonological awareness (0.68), short-term memory (0.59).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age(average)	grades Evaluated school	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Geary, Van Marle, 2016 (IF = 0.98)	197	3.8 years old	Preschool	Symbolic competences: enumeration, verbal counting, cardinality, numeral recognition, differentiate quantities. Non-symbolic competences: ordinal comparison, discrete quantity discrimination (ANS), continuous quantity discrimination (AMS), tracking small quantities, nonverbal calculation (implicit knowledge of addition and subtraction)	Intelligence (IQ), executive functions, preliteracy (recognition of alphabet), parental education	Mathematical performance: Test of Early Mathematical Ability-3 (TEMA-3) – produce finger patterns to represent different quantities, count, make numerical comparisons, simple arithmetic, and number line	Non-verbal IQ (0.15), number recognition (0.30), verbal counting (0.20), ordinal comparison (0.11).
Fuhs et al., 2016 (IF = 0.50)	141	6.2 years old	Preschool (later, 2 nd grade)	Early number skills: quantity discrimination, number line estimation, number sets identification, fast counting, number word comprehension	Executive functions: inhibitory control and cognitive flexibility; IQ	Mathematical performance: Woodcock–Johnson III (WJ-III) – Applied problems (requires quantitative reasoning, problem solving, and mathematical knowledge)	IQ (0.24), executive functions (0.25) and mathematical performance (WJ-III) also measured in preschool (0.48).
Nguyen et al., 2016 (IF = 3.29)	781	4.3 years old	Preschool (later, 5 th grade)	Preschool mathematical competences — Research-based Early Mathematics Assessment (REMA) – counting, number recognition, addition and subtraction, patterns, measurements, geometric and spatial competences		Mathematical performance in the 5 th year: Tools for Elementary Assessment in Math 3–5 (TEAM 3–5). Evaluates mathematical knowledge, including fractions, geometry, multiplication, division, and data interpretation.	Counting and cardinality (0.42), geometry (0.13) and patterns (0.10).
Purpura, Logan, 2015 (IF = 0.97)	114	4.2 years old	Preschool	Mathematical language: Mathematical language subtest (assessing comparative language – more, less, take away; and spatial language – far, near, before); ANS	Vocabulary: Test of Preschool Early Literacy Skills (TOPEL) – single-word spoken vocabulary and the ability to formulate definitions for words; Executive functions: inhibitory control, attention, shifting, and verbal working memory	Early numeracy: Preschool Early Numeracy Skills Test – Brief Version (PENS-B) – set comparison, numeral comparison, one-to-one correspondence, number order, number identification, ordinality, number combinations	Mathematical language (0.48).
Tobia et al., 2016 (IF = 0.42)	Study 1: 102 Study 2: 43	From 3 to 6 years old	Preschool (study 1 transversal, study 2 longitudinal with a 1-year interval)	Number sense: (SNUP) – quantity comparison, counting, number line, size seriation, semantic knowledge of digits, visual-spatial memory	Battery of tests: Learning Difficulties Indexes (IDA). Evaluates linguistic ability in preschoolers (articulation, vocabulary, phonological awareness, morphosyntactic comprehension, sequential history, and knowledge of letters	Calculation: addition and subtraction presented verbally and non-verbally	Study 1 (transversal): R ² =63% – Vocabulary (0.11), size seriation (0.13), visual-spatial memory (0.1). Study 2 (longitudinal): R ² =61.5% – 0.09, size seriation (0.12).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age(average)	Evaluated school grades	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Casey et al., 2017 (IF = 0.69)	138	6.7 years old	1 st grade (later, 5 th grade)	Verbal ability, arithmetic (precision and strategies)	Spatial abilities	Analytical mathematical reasoning, arithmetic fluency	Analytical mathematical reasoning: spatial abilities for 1 st grade (0.52), arithmetic strategies – decomposition (0.27), arithmetic precision (0.23), arithmetic fluency 5 th grade (0.34). Arithmetic fluency: decomposition strategy (0.46). Calculation ($R^2=28.8\%$; 58.9%; 58.9%), respectively): counting (R^2 unique=4.1%), additive reasoning (R^2 unique=30%) and working memory (R^2 unique=11%). Mathematical problems: ($R^2= 58.1\%$): additive reasoning (R^2 unique=38.6%), working memory (R^2 unique=6.6%) $R^2= 42.5\%$. Building of patterns at 5 years old (0.13), Building of patterns at 7 years old (0.25), reading words (0.35), vocabulary (0.12).
Ching, Nunes, 2017 (IF = 0.42)	115	6.36 years old	1 st grade (later, 2 nd grade)	Counting and addition reasoning	Working memory (central executive, phonological loop, visuospatial sketchpad, non-verbal IQ)	Mathematical performance: calculation and problem solving – based on the Chinese curriculum	Calculation ($R^2=28.8\%$; 58.9%; 58.9%), respectively): counting (R^2 unique=4.1%), additive reasoning (R^2 unique=30%) and working memory (R^2 unique=11%). Mathematical problems: ($R^2= 58.1\%$): additive reasoning (R^2 unique=38.6%), working memory (R^2 unique=6.6%) $R^2= 42.5\%$. Building of patterns at 5 years old (0.13), Building of patterns at 7 years old (0.25), reading words (0.35), vocabulary (0.12).
Gilligan et al., 2017 (IF = 1.39)	12099	From 5 to 7 years old	Not informed		Cognitive and spatial ability: BAS II (standardized test) – construction of patterns (copy a pattern using a set of building blocks, by rotation and spatial organization of blocks), vocabulary, reading words, and mathematics	Mathematical performance: National Foundation for Educational Research Progress in Maths (NFER PiM, standardized test – evaluates knowledge on numbers, shapes, measurement, and data interpretation	Calculation ($R^2=28.8\%$; 58.9%; 58.9%), respectively): counting (R^2 unique=4.1%), additive reasoning (R^2 unique=30%) and working memory (R^2 unique=11%). Mathematical problems: ($R^2= 58.1\%$): additive reasoning (R^2 unique=38.6%), working memory (R^2 unique=6.6%) $R^2= 42.5\%$. Building of patterns at 5 years old (0.13), Building of patterns at 7 years old (0.25), reading words (0.35), vocabulary (0.12).
Orrantia et al., 2017 (IF = 0.06)	104	4.7 years old	Preschool	Comparison of non-symbolic numerical magnitudes, comparison of symbolic magnitudes (1-9), dot enumeration	Intelligence (non-verbal IQ), processing speed, array of verbal memory, spatial memory, inhibitory control	Mathematical performance: Test of Basic Mathematical Competence (TEMA-3) – evaluates formal and informal concepts and abilities of arithmetic	$R^2=65.5\%$ Spatial memory (0.21), intelligence (0.22), symbolic comparison (0.24), dot enumeration (0.23) and interval of subitizing (0.24). $R^2=59.6\%$ Spatial memory (0.25), symbolic comparison (0.19), RAN (-0.26) and phonological awareness (0.26).
Sánchez et al., 2017 (IF = 0.00)	96	5.7 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Comparison of small symbolic magnitudes (1-9), rapid automatized naming (RAN)	Visual-spatial memory, phonological memory, non-verbal IQ, processing speed, phonological awareness (segmentation of phonemes)	Additions (fluency), calculations (addition and subtraction), numerical-verbal problems	$R^2=65.5\%$ Spatial memory (0.21), intelligence (0.22), symbolic comparison (0.24), dot enumeration (0.23) and interval of subitizing (0.24). $R^2=59.6\%$ Spatial memory (0.25), symbolic comparison (0.19), RAN (-0.26) and phonological awareness (0.26).
Wong, Ho, 2017 (IF = 0.33)	153	6.1 years old	Preschool (later, 1 st and 2 nd grade)	Symbolic and non-symbolic numerical processing; symbolic-nonsymbolic mapping – magnitudes processing	Working memory (phonological loop, visuospatial sketchpad, central executive); non-verbal reasoning; reading words	Arithmetic problems, computations and mathematical performance (Learning and Achievement Measurement Kit 2.0 Second Grade Mathematics (LAMK 2.0 Mb) – evaluates curriculum topic, arithmetic, shape and space, measurements, and simple statistic	Arithmetical problems: non-verbal reasoning (0.27) and phonological loop (0.21). Calculation: magnitudes processing (symbolic and non-symbolic – 0.21), non-verbal reasoning (0.17), reading words (0.23). Mathematical performance: computations (0.24) arithmetical problems (0.30), non-verbal reasoning (0.22).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age(average)	Evaluated school grades	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Fanari et al., 2018 (IF = 0.00)	43	6.5 years old	1 st grade	Early numerical competence: lexical (knowledge of numerical symbols), semantic (symbolic and non-symbolic comparison), counting, and pre-syntactic (correspondence number-quantity)	Visuospatial working memory	Mathematical achievement: AC-MT 6-11 – Test for the evaluation of calculating and problem-solving abilities. Evaluates operations (addition and subtraction), understanding of quantities, of the synthetic structure of numbers (tens and units), and semantic representation (organize in order from the smaller to the bigger)	Early numerical competencies (0.50).
Gilmore et al., 2018 (IF = 0.25)	77	9.5 years old	Not informed	Counting, number fact knowledge, arithmetic strategy efficiency and use, digit recognition, number line estimation, symbolic and non-symbolic comparison	Working memory, inhibition, switching, visuospatial processing, non-verbal IQ	Conceptual understanding: additive composition; Mathematics achievement: numerical operations of standardized test (WIAT-II)	Conceptual understanding: R2=60.6% – number line estimation (-0.46); Procedural understanding: R2=84.8% - counting (0.25), number fact knowledge (0.33), working memory (0.24).
Orrantia et al., 2018 (IF = 0.00)	52	6.2 years old	1 st grade	Small (1-9) and large (6-60) non-symbolic magnitude comparison; one-digit symbolic magnitude comparison (1-9) and two-digit symbolic magnitude comparison (31-79)	General intellectual ability, processing speed	Mathematics achievement: Differential and General Aptitude Battery (BADyG) – calculation and numerical-verbal problems; and a task to solve arithmetic problems through mental calculation	Mathematics achievement: R2=52% – two-digit symbolic magnitude comparison (0.26). Mental calculation: R2=54% – two-digit symbolic magnitude comparison (0.26).
Xenidou-Dervou et al., 2018 (IF = 0.42)	334	5.6 years old	Preschool (later, 2 nd grade)	Counting, magnitude processing (symbolic and non-symbolic approximate addition, symbolic and non-symbolic approximate comparison, symbolic exact addition)	IQ (non-verbal), working memory (visuospatial sketchpad, phonological loop, and central executive)	General mathematical performance: standardized test (Cito), ran by schools. Evaluates problem solving involving measurements, proportions, numbers, numbers and arithmetic relations, arithmetic, and complex applications (more than one operation in the same problem)	Early performance (1st grade): non-verbal IQ (0.15), visuospatial sketchpad (0.12), central executive (0.12), phonological loop (0.13), non-symbolic approximate comparison (0.12), symbolic approximate comparison (0.13), approximate symbolic addition (0.10), counting (0.23). Development growth (from 1st to 2nd grade): approximate symbolic addition (0.26).
Aragón et al., 2019 (IF = 0.17)	109	4.9 years old	Preschool	Symbolic and non-symbolic approximate comparison, and number line estimation.	Verbal working memory, processing speed and vocabulary	Early mathematics ability – informal thinking: evaluated by TEMA-3 (counting, comparison of quantities, informal calculation and basic informal concepts)	R ² =48,5% – Working memory (0.45), processing speed (0.24), vocabulary (0.18) and number line estimation.
Gashaj et al., 2019 (IF = 0.25)	136	6.4 years old	Preschool (later, 2 nd grade)	Basic numerical skills: magnitude comparison and number line estimation	Executive functions: inhibition, switching, updating; and fine motor skills	Mathematics achievement: standardized test based on national curriculum, evaluates equations, sequences, addition, and subtraction	Basic numerical skills (0.70), updating (0.27).

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Study (IF)	N	Age(average)	Evaluated school grades	Specific domain abilities	General domain abilities	Outcome variables	Meaningful predictors and effect size (β)
Gimbert et al., 2019 (IF = 0.25)	148	5.7 years old and 7.7 years old	Preschool and 2 nd grade	Non-symbolic number comparison, number line estimation	Working memory, vocabulary	Mathematics achievement: exact symbolic addition, exact symbolic subtraction, and numerical verbal problems	At preschool: $R^2=46\%$ – age (0.22), non-symbolic number comparison (0.19) e number line estimation (-0.51). At 2nd grade: $R^2=46\%$ – working memory (0.44) and number line estimation (-0.38).
Kiss; Christ, 2019 (IF = 0.00)	167	Not informed	Preschool and 1 st grade	Early numeracy skills: (Earlymath) evaluates three domains – numbers, relations, and operations	Early Reading skills: (EarlyReading), evaluates pre-literacy elements (alphabetical principle, decoding, and phonemic awareness)	Mathematical performance: Group Math Assessment and Diagnostic Evaluation (GMADE). Standardized test based on the school curriculum that evaluated language understanding and mathematical vocabulary, ability to identify appropriate representations, to apply mathematical concepts, and use operation reasoning to solve problems and calculate addition and subtraction of whole numbers	Preschool: $R^2=37\%$ – early numeracy skills (0.49). 1st grade: $R^2=61\%$ – early numeracy skills(0.65) e early reading skills (0.20).
Kiss; Nelson; Christ, 2019 (IF = 0.17)	175	Not informed	1 st grade (later, 3 rd grade)	Early mathematics skills: decomposing, number sequence, numeral identification (0-120), place value, verbal addition, verbal subtraction (oral problems of one digit), story problems and computations (addition and subtraction)		Mathematical performance: Minnesota Comprehensive Assessment–Series III (MCA-III), standardized test that evaluates numbers and operations, algebra, geometry and measurements, probability, and data analysis	Numbers and operations: $R^2=41\%$ – decomposing (0.06), number sequence (0.10), verbal subtraction (0.11). Algebra: $R^2=33\%$ – number sequence (0.10) and computations (0.03) Data interpretation: $R^2=25\%$ – number sequence (0.08). Geometry and measurements: $R^2=43\%$ – decomposing (0.10).
Malone et al., 2019 (IF = 0.17)	519	5.3 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Number knowledge (identification and writing of numbers), counting, nonsymbolic numerosity discrimination	Finger gnosis, executive functions (visual-spatial memory, verbal working memory, inhibition and selective attention), language, and non-verbal reasoning	Arithmetic: evaluated only addition in preschool, later evaluated addition and subtraction in the 1 st grade	Addition evaluated at preschool (0.45), number knowledge (0.29) and nonsymbolic numerosity discrimination (0.22).
Carr et al., 2020 (IF = 0.00)	304	7.6 years old	2 nd grade (later, 3 rd and 4 th grades)	Number sense: place value, decomposing, non-conventional problems and solving of cognitive problems (mental calculation)	Verbal working memory; spatial ability (mental rotation)	Mathematical competence: Criterion Referenced Competency Test (CRCT) - standardized test that evaluates ability in calculations, patterns, and statistic, problem solving and geometry	Socioeconomic status (0.11 and 0.16), verbal working memory (0.13 and 0.09) and spatial abilities (0.18 and 0.15) – values for students with low and high performance, respectively.
Habermann et al., 2020 (IF = 0.00)	71	4.2 years old	Preschool (later, 1 st grade)	Number identification, writing numbers, reading numbers, counting, symbolic comparison, non-symbolic comparison	Non-verbal IQ, grammatical ability, vocabulary	Arithmetic: simple addition (informal test, evaluated in the end of preschool). Evaluated in the 1 st grade: sub-test numerical operations of Wechsler Individual Achievement Test–Second Edition (WIAT-II) – standardized test, and arithmetic fluency	Arabic numerical knowledge (identification, reading and number writing) (0.64 – in the arithmetic evaluated at preschool and 0.70 at 1 st grade).

arithmetic performance; and counting and IQ for general mathematical performance.

It is interesting to note that the regression models considered were all those in which researchers inserted all variables at the same time in the model. However, this is simply an informative report, considering the impossibility of comparing these models and the explanatory values found, as this will depend heavily on the chosen abilities, as well as the tasks used, and the sample evaluated. Nonetheless, it is important to highlight that some results, regardless of these various factors, are similar, even in different countries and cultures. This allows us to raise the hypothesis that some cognitive abilities might be considered universal to the development of mathematical knowledge.

On [Table 1](#) we present a synthesis of all the studies analyzed in this review organized by chronological order. We also calculated the impact factor (IF) of each article in this review, that is, the studies with the highest number of citations. To do so, we considered the total number of citations of each article divided by the time (in months) since its publication until the date we researched it. The number of citations was provided by searching the title of each article in the site Google Scholar, a widely used search tool that can identify the number of works in which each article was cited. However, we know that some factors can interfere in this calculation, such as the language in which the article was written and the time of publication, since some of them were published in 2020, the same year of this review. The studies with the highest impact factor were: [Bull et al., 2008](#) (IF=12.22); [Jordan et al., 2009](#) (IF=6.97); and [Geary, 2011](#) (IF=6.68). From that, we understand that these articles were the most cited ones up to the moment they were included in the review, therefore, they have more impact in the academic area and are the most consulted ones by researchers in the topic.

4. Discussion

The aim of this systematic review was to identify the cognitive abilities of general and specific domain indicated in the literature as predictors of mathematical performance in students from primary school. Though the search was done only with an upper limit for the publication date, i.e., it could include works done in any year until the time of the search, most included studies (69.35%) were published in the last decade, between 2011 and 2020, and most of them in the United States. This recent increase in the literature related to this theme can be due to the emergence of more research projects connected to mathematical education and numerical cognition in the last years, focusing especially on the development of numerical knowledge, mainly in the first years of school. From this synthesis of investigated studies, we could see that most part consisted of longitudinal researches, whose initial evaluations were done with children from Preschool, that is, even before the systematized teaching of mathematics. Besides this, we also found that there was a concern in evaluating abilities from general and specific domains in these studies, what made it possible to identify similarities and some inconsistencies in the findings.

Therefore, from the results, we can highlight that the cognitive ability from the general domain most frequently pointed as predictor of mathematical performance was working memory, regardless the school grade or mathematical task evaluated as outcome. However, it is worth highlighting that some studies that measured working memory did not find that it was a significant variable to explain mathematical performance. In the attempt to explain this data, we can take into consideration some factors, such as the instruments used for the evaluation and other abilities of the specific domain that were inserted in the regression model, considering that numerical abilities tend to overlap themselves in this direct relation between working memory and mathematical performance. When this overlapping takes place, working memory appears as a mediating ability, i.e., having an indirect effect in the relation between numerical abilities and mathematical performance ([Gimbert et al., 2019](#); [Passolunghi & Lanfranchi, 2012](#)).

On the abilities of specific domain, those which appear more frequent in the results as explanatory of later mathematical development were early mathematical abilities, that involved recognition and reading of numbers, discrimination of quantities, knowledge of numerical sequence, and here we can include some studies that also understood as early abilities the knowledge of counting and magnitudes comparison. It is important to mention that, except for one study, all studies which considered early mathematical abilities in their analysis found significant results in their explanations for later mathematical performance.

Other important factor to be highlighted is that these abilities can have a higher or lower value of explanation depending on the school grade the child is and what is considered as mathematical performance. From the results of this systematic review, we can perceive that abilities such as the approximate number system (ANS), the recognition and reading of numbers, and the identification of quantities are more explicative of the performance in children starting schooling, that is, Preschool, 1st, and 2nd grade. At the end of the Primary school, i.e., 3rd, 4th, and 5th grades, other more complex abilities appear as prediction values, which involve arithmetic knowledges, such as calculations with mathematical operations and arithmetic facts.

Considering the type of mathematical achievement evaluated, we can highlight that the performances focused on arithmetic and on general mathematics depend on working memory and early numerical abilities so that students can have a better mathematical development. The results also indicate some specificities, as the comparison of magnitudes and the abilities of reading and writing as explicative of arithmetic performance, counting, and intelligence as predictors of general mathematical achievement. However, some abilities are recurrent regardless of school grade or mathematical task evaluated, as is the case of intelligence, working memory, counting, number estimation, and early numerical abilities, that include number recognition (understanding of number system), comparison of symbolic quantities and number sense.

In addition, another aspect that is not considered in the analyzes and that arises as important to be discussed is the diversity of these samples. Even controlling for age, intelligence and socioeconomic factors, these studies were conducted in different countries or in different regions within the same country, and social, cultural and even spoken language aspects are also involved in the teaching and learning process, which can be underlying mathematical performance. Even so, some cognitive skills proved to be significant predictors regardless of these factors, which allows us to think about the possibility of universal cognitive skills for the development of early numerical knowledge. Therefore, such skills could be inserted in the school context as tasks to stimulate the development of mathematical knowledge and prevent possible later mathematical difficulties.

Besides this, some limitations of this literature systematic review should be taken into consideration. First, we did not include comparative studies between different countries, which could control cultural differences and language. This allowed the direct analysis of checking if, in different cultures, the predictor abilities are the same, thus limiting the generalization of the results. Secondly, most studies included in this synthesis focused on the evaluation of Preschool students, restricting the generalization of the findings and the knowledge base on cognitive abilities through the school grades. Besides this, as more studies focus on the evaluation of cognitive abilities in the first years of schooling, i.e., Preschool and 1st grade, there were more predictors related to early numerical abilities because participants' schooling level and age do not allow the evaluation of more complex abilities. Third and last, the differences of theories and definitions on what the authors consider as early numerical abilities, including the differences on the statistical analysis, allow different results and interpretations, what also limits a more consistent generalized understanding on the abilities that explain mathematical performance.

Another important aspect to be highlighted is the difficulty to articulate research in cognitive psychology and educational theories, more than that with educational practice. Even though research in the field of

numerical cognition has been on the rise in recent years, as evidenced in this systematic review, the challenge lies in transferring the results of this research to teaching practice (Simplicio et al., 2020). Studies in cognitive psychology, generally because they follow consistent research methods, end up disregarding environmental variables and teaching requirements. Therefore, the results found may not be enough to derive effective and direct suggestions for educational practice (Simplicio et al., 2020). However, research in this area provides new perspectives on teaching and learning, and some indications that are consistent with students' learning needs and new tools for more effective teaching. Nevertheless, in order for these research results to have concrete applicability at school, more studies inspired by interdisciplinary use are needed to guide this transfer and enable this approximation between theory and practice (Simplicio et al., 2020).

Besides that, according to the results and limitations of the present study, a possibility for future research is to consider the development of mathematical knowledge through time, i.e., that evaluates the predictor cognitive abilities in other grades of schooling, in addition to Primary Education. Thus, more evidence can be added in the area, including more complex mathematical abilities. Besides this, we suggest the inclusion of participants from other cultures and regions as a way to replicate and extend the results of current research.

Furthermore, the findings of this systematic review provide a base for the scientific community in the area as well as for the pedagogical practice and related professionals, since it contributes to understand and evaluate key cognitive abilities that support long-term mathematical learning. More than that, the results gather evidence that children's performance in early numerical abilities and working memory is determinant to learn mathematics. Such abilities can be easily evaluated by teachers and, moreover, are liable to be stimulated even before formal schooling and can last as a work possibility in the classroom through the first years of schooling. School incentive in the development of these abilities will entail not only an improvement on students' mathematical development, but also act as a resource to attenuate the already-existing difficulties and prevent later mathematical difficulties.

5. Conclusion

We revised studies that evaluated cognitive abilities as precursors of later mathematical performance intending to verify the abilities that are more commonly measured and the frequency of identification. In all schooling levels and considering all types of mathematical performance evaluated, early numerical abilities and working memory were the cognitive abilities that appeared more frequently as having a significant explanation value for later mathematical performance. Besides this, we highlight that regardless the qualitative aspects of the sample, as country of origin, main language, social and cultural differences, these same abilities appear as significant predictors of mathematical performance. In this sense, we raise the hypothesis that such cognitive abilities might be universal to the development of mathematical knowledge in students in Primary school. Therefore, there is the need to emphasize in school the tasks that stimulate those abilities, to prevent and remediate mathematical difficulties. More than this, the results point ways to future researches, indicating the importance of a longitudinal follow-up of students' mathematical performance through schooling years, even in more advanced grades, and consider the inclusion of participants of different countries and cultures to extend the results of current researches.

Declarations of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

This study was financed in part by the **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance code 001.**

References

- Andersson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. *British Journal of Educational Psychology*, 78(2), 181–203. [10.1348/000709907X209854](https://doi.org/10.1348/000709907X209854).
- Aragón, E., Cerda, G., Delgado, C., Aguilar, M., & Navarro, J. I. (2019). Individual differences in general and specific cognitive precursors in early mathematical learning. *Psicothema*, 31(2), 156–162. [10.7334/psicothema2018.306](https://doi.org/10.7334/psicothema2018.306).
- Aunio, P., & Niemivirta, M. (2010). Predicting children's mathematical performance in grade one by early numeracy. *Learning and Individual Differences*, 20(5), 427–435.
- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M. K., & Nurmi, J. E. (2004). Developmental dynamics of math performance from preschool to grade 2. *Journal of Educational Psychology*, 96(4), 699–713. [10.1037/0022-0663.96.4.699](https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699).
- Bartelet, D., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). What basic number processing measures in kindergarten explain unique variability in first-grade arithmetic proficiency? *Journal of Experimental Child Psychology*, 117(1), 12–28. [10.1016/j.jecp.2013.08.010](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.010).
- Brasil. (2018). Base Nacional comum (BNCC). *Mec*, 600. [10.1017/CBO9781107415324.004](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004).
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205–228. [10.1080/87565640801982312](https://doi.org/10.1080/87565640801982312).
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 46(1), 3–18. [10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x).
- Carr, M., Horan, E., Alexeev, N., Bamed, N., Wang, L., & Otumfuor, B. (2020). A longitudinal study of spatial skills and number sense development in elementary school children. *Journal of Educational Psychology*, 112(1), 53–69. [10.1037/edu0000363](https://doi.org/10.1037/edu0000363).
- Casey, B. M., Lombardi, C. M. P., Pollock, A., Fineman, B., & Pezaris, E. (2017). Girls' spatial skills and arithmetic strategies in first grade as predictors of fifth-grade analytical math reasoning. *Journal of Cognition and Development*, 18(5), 530–555. [10.1080/15248372.2017.1363044](https://doi.org/10.1080/15248372.2017.1363044).
- Ching, B. H.-H., & Nunes, T. (2017). The importance of additive reasoning in children's mathematical achievement: A longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 109(4), 477–508. [10.1016/j.jecp.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.01.006).
- Chu, F. W., vanMarle, K., & Geary, D. C. (2015). Early numerical foundations of young children's mathematical development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 132, 205–212. [10.1016/j.jecp.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.01.006).
- Cirino, P. T. (2011). The interrelationships of mathematical precursors in kindergarten. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(4), 713–733. [10.1016/j.jecp.2010.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.11.004).
- De Smedt, B., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 186–201. [10.1016/j.jecp.2009.01.004](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.004).
- De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(4), 469–479. [10.1016/j.jecp.2009.01.010](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.010).
- Desoete, A., Stock, P., Schepens, A., Baeyens, D., & Roeyers, H. (2009). Classification, seriation, and counting in grades 1, 2, and 3 as two-year longitudinal predictors for low achieving in numerical facility and arithmetic achievement? *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 252–264. [10.1177/0734282908330588](https://doi.org/10.1177/0734282908330588).
- Fanari, R., Meloni, C., & Massidda, D. (2018). Visuospatial working memory and early math skills in first grade children. In *Proceedings of the 15th international conference on cognition and exploratory learning in the digital age, CELDA 2018, Celda* (pp. 127–133).
- Foster, M. E., Anthony, J. L., Clements, D. H., & Sarama, J. H. (2015). Processes in the development of mathematics in kindergarten children from Title 1 schools. *Journal of Experimental Child Psychology*, 140, 56–73. [10.1016/j.jecp.2015.07.004](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.07.004).
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Compton, D. L., Powell, S. R., Seethaler, P. M., Capizzi, A. M., Schatschneider, C., & Fletcher, J. M. (2006). The cognitive correlates of third-grade skill in arithmetic, algorithmic computation, and arithmetic word problems. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 29–43. [10.1037/0022-0663.98.1.29](https://doi.org/10.1037/0022-0663.98.1.29).
- Fuchs, L. S., Geary, D. C., Fuchs, D., Compton, D. L., & Hamlett, C. L. (2014). Sources of individual differences in emerging competence with numeration understanding versus multidigit calculation skill. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 482–498. [10.1037/dev0000145](https://doi.org/10.1037/dev0000145).
- Fuhs, M. W., Hornburg, C. B., & McNeil, N. M. (2016). Specific early number skills mediate the association between executive functioning skills and mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 52(8), 1217–1235. [10.1037/dev0000145](https://doi.org/10.1037/dev0000145).
- Gashaj, V., Oberer, N., Mast, F. W., & Roehrs, C. M. (2019). The relation between executive functions, fine motor skills, and basic numerical skills and their relevance for later mathematics achievement. *Early Education and Development*, 30(7), 913–926. [10.1080/10409289.2018.1539556](https://doi.org/10.1080/10409289.2018.1539556).
- Geary, D. C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 47(6), 1539–1552. [10.1037/a0025510](https://doi.org/10.1037/a0025510).
- Geary, D. C., & van Marle, K. (2016). Young children's core symbolic and nonsymbolic quantitative knowledge in the prediction of later mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 52(12), 2130–2144. [10.1037/dev0000214](https://doi.org/10.1037/dev0000214).

- Gilligan, K. A., Flouri, E., & Farran, E. K. (2017). The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 163, 107–125. [10.1016/j.jecp.2017.04.016](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.016).
- Gilmore, C., Clayton, S., Cragg, L., McKeaveney, C., Simms, V., & Johnson, S. (2018). Understanding arithmetic concepts: The role of domain-specific and domain-general skills. *PLoS ONE*, 13(9), 1–20. [10.1371/journal.pone.0201724](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201724).
- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, 115(3), 394–406. [10.1016/j.cognition.2010.02.002](https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.02.002).
- Gimbert, F., Camos, V., Gentaz, E., & Mazens, K. (2019). What predicts mathematics achievement? Developmental change in 5- and 7-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 178, 104–120. [10.1016/j.jecp.2018.09.013](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.09.013).
- Habermann, S., Donlan, C., Göbel, S. M., & Hulme, C. (2020). The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 193(2020), Article 104794. [10.1016/j.jecp.2019.104794](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104794).
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Seo, J., & Ansari, D. (2019). Relations between numerical, spatial, and executive function skills and mathematics achievement: A latent-variable approach. *Cognitive Psychology*, 109(December 2018), 68–90. [10.1016/j.cogpsych.2018.12.002](https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2018.12.002).
- Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(2), 192–227. [10.1006/jecp.2000.2586](https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2586).
- Jordan, N. C., Glutting, J., & Ramineni, C. (2010). The importance of number sense to mathematics achievement in first and third grades. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 82–88.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice*, 22(1), 36–46. [10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x).
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters: kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 850–867. [10.1038/jid.2014.371](https://doi.org/10.1038/jid.2014.371).
- Kiss, A. J., & Christ, T. J. (2019). Screening for math in early grades: Is reading enough? *Assessment for Effective Intervention*, 45(1), 38–50. [10.1177/1534508418766410](https://doi.org/10.1177/1534508418766410).
- Kiss, A. J., Nelson, G., & Christ, T. J. (2019). Predicting third-grade mathematics achievement: A longitudinal investigation of the role of early numeracy skills. *Learning Disability Quarterly*, 42(3), 161–174. [10.1177/0731948718823083](https://doi.org/10.1177/0731948718823083).
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction*, 19(6), 513–526. [10.1016/j.learninstruc.2008.10.002](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.10.002).
- LeFevre, J.-A., Fast, L., Skwarchuk, S.-L., Smith-Chant, B. L., Bisanz, J., Kamawar, D., & Penner-Wilger, M. (2010). Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. *Child Development*, 81(6), 1753–1767. [10.1111/j.1467-8624.2010.01508.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01508.x).
- Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science*, 14(6), 1292–1300. [10.1038/jid.2014.371](https://doi.org/10.1038/jid.2014.371).
- Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013). Is approximate number precision a stable predictor of math ability? *Learning and Individual Differences*, 25, 126–133. [10.1016/j.lindif.2013.02.001](https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.02.001).
- Locuniak, M. N., & Jordan, N. C. (2008). Using kindergarten number sense to predict calculation fluency in second grade. *Journal of Learning Analytics*, 41(5), 451–459. [10.1177/0022219408321126](https://doi.org/10.1177/0022219408321126).
- Malone, S. A., Burgoyne, K., & Hulme, C. (2019). Number knowledge and the approximate number system are two critical foundations for early arithmetic development. *Journal of Educational Psychology*. [10.1037/edu0000426](https://doi.org/10.1037/edu0000426).
- Martin, R. B., Cirino, P. T., Sharp, C., & Barnes, M. (2014). Number and counting skills in kindergarten as predictors of grade 1 mathematical skills. *Learning and Individual Differences*, 34, 12–23. [10.1016/j.lindif.2014.05.006](https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.05.006).
- Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *PLoS ONE*, 6(9), 1–7. [10.1371/journal.pone.0023749](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023749).
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med*, 6(7), Article E1000097. [10.1371/journal.pmed1000097](https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097).
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., et al. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*, 4(1), [10.1186/2046-4053-4-1](https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1).
- Nguyen, T., Watts, T. W., Duncan, G. J., Clements, D. H., Sarama, J. S., Wolfe, C., & Spitzer, M. E. (2016). Which preschool mathematics competencies are most predictive of fifth grade achievement? *Early Childhood Research Quarterly*, 36(2016), 550–560. [10.1016/j.ecresq.2016.02.003](https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.02.003).
- Nunes, T., & Bryant, P. (1997). *Crianças fazendo matemática* Artmed.
- Nunes, T., Bryant, P., Evans, D., Bell, D., Gardner, S., Gardner, A., & Carraher, J. (2007). The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(1), 147–166. [10.1348/026151006X153127](https://doi.org/10.1348/026151006X153127).
- Nyros, M., & Wiklund-Hornqvist, C. (2012). The association between working memory and educational attainment as measured in different mathematical subtopics in the Swedish national assessment: Primary education. *Educational Psychology*, 32(2), 239–256.
- Orrantia, J., San Romualdo, S., Matilla, L., Sánchez, R., Muñoz, D., & Verschaffel, L. (2017). Marcadores nucleares de la competencia aritmética en preescolares. *Psychology, Society, & Education*, 9(1), 121–124.
- Orrantia, J., San Romualdo, S., Sánchez, R., Matilla, L., Muñoz, D., & Verschaffel, L. (2018). Procesamiento de magnitudes numéricas y ejecución matemática. *Revista de Educación*, 381, 133–154. [10.4438/1988-592X-RE-2017-381-383](https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-383).
- Passolunghi, M. C., Vercelloni, B., & Schadee, H. (2007). The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. *Cognitive Development*, 22(2), 165–184. [10.1016/j.cogdev.2006.09.001](https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2006.09.001).
- Passolunghi, M. C., & Lanfranchi, S. (2012). Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: A longitudinal study from kindergarten to first grade. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 42–63. [10.1111/j.2044-8279.2011.02039.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2011.02039.x).
- Purpura, D. J., & Logan, J. A. R. (2015). The nonlinear relations of the approximate number system and mathematical language to early mathematics development. *Developmental Psychology*, 51(12), 1717–1724.
- Reigosa-Crespo, V., González-Alemañy, E., León, T., Torres, R., Mosquera, R., & Valdés-Sosa, M. (2013). Numerical capacities as domain-specific predictors beyond early mathematics learning: A longitudinal study. *PLoS ONE*, 8(11), 1–11. [10.1371/journal.pone.0079711](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079711).
- Sánchez, R., Matilla, L., & Orrantia, J. (2017). Relaciones entre procesamiento fonológico y diferencias individuales en ejecución matemática: Un estudio longitudinal. *II Congreso Internacional Virtual Sobre La Educación En El Siglo XXI*, marzo, 432–442.
- Sasanguie, D., Göbel, S. M., Moll, K., Smets, K., & Reynvoet, B. (2013). Approximate number sense, symbolic number processing, or number-space mappings: What underlies mathematics achievement? *Journal of Experimental Child Psychology*, 114(3), 418–431. [10.1016/j.jecp.2012.10.012](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.10.012).
- Sasanguie, D., Van den Bussche, E., & Reynvoet, B. (2012). Predictors for mathematics achievement? Evidence from a longitudinal study. *Mind, Brain, and Education*, 6(3), 119–128.
- Simmons, F., Singleton, C., & Horne, J. (2008). Brief report - Phonological awareness and visual-spatial sketchpad functioning predict early arithmetic attainment: Evidence from a longitudinal study. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(4), 711–722. [10.1080/09541440701614922](https://doi.org/10.1080/09541440701614922).
- Simplicio, H., Gasteiger, H., Dorneles, B. V., Grimes, K. R., Haase, V. G., Ruiz, C., Liedtke, F. V., & Moeller, K. (2020). Cognitive research and mathematics education—how can basic research reach the classroom? *Frontiers in Psychology*, 11(April), 1–5. [10.3389/fpsyg.2020.00773](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00773).
- Szucs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2014). Cognitive components of a mathematical processing network in 9-year-old children. *Developmental Science*, 17(4), 506–524.
- Tobia, V., Bonifacci, P., & Marzocchi, G. M. (2016). Concurrent and longitudinal predictors of calculation skills in preschoolers. *European Journal of Psychology of Education*, 31(2), 155–174.
- Toll, S. W. M., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2016). Visual working memory and number sense: Testing the double deficit hypothesis in mathematics. *British Journal of Educational Psychology*, 86(3), 429–445. [10.1111/bjep.12116](https://doi.org/10.1111/bjep.12116).
- Van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J., & Leseman, P. P. M. (2012). The development of executive functions and early mathematics: A dynamic relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 100–119. [10.1111/j.2044-8279.2011.02035.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2011.02035.x).
- vanMarle, K., Chu, F. W., Li, Y., & Geary, D. C. (2014). Acuity of the approximate number system and preschoolers' quantitative development. *Developmental Science*, 17(4), 492–505.
- Wong, T. T.-Y., & Ho, C. S.-H. (2017). Component processes in arithmetic word-problem solving and their correlates. *Journal of Educational Psychology*, 109(4), 520–531.
- Xenidou-Dervou, I., Van Luit, J. E. H., Kroesbergen, E. H., Friso-van den Bos, I., Jonkman, L. M., van der Schoot, M., & van Lieshout, E. C. D. M. (2018). Cognitive predictors of children's development in mathematics achievement: A latent growth modeling approach. *Developmental Science*, 21(6), 1–14. [10.1111/desc.12671](https://doi.org/10.1111/desc.12671).

3 HABILIDADES COGNITIVAS PREDITORAS DO DESEMPENHO ARITMÉTICO DE CRIANÇAS DE 3º E 4º ANOS DO ENSINO FUNDAMENTAL

Resumo

Este estudo se propõe a investigar a relação das habilidades de domínio geral e específico como predictoras do desempenho aritmético de 127 estudantes de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. Os participantes foram avaliados nas habilidades de memória de trabalho, consciência fonêmica, compreensão leitora, transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo. Essas habilidades cognitivas foram avaliadas em dois momentos, no início e no final do ano letivo, sendo nesse segundo momento também avaliado o desempenho aritmético dos estudantes. Os resultados indicaram uma influência direta especificamente da transcodificação numérica, do raciocínio quantitativo e da consciência fonêmica no desempenho aritmético. Além disso, os achados mostraram que a transcodificação numérica é uma habilidade mediadora da relação das habilidades de raciocínio quantitativo e consciência fonêmica com a habilidade aritmética. Com isso, ressalta-se a importância de habilidades de domínio geral e específico para o desempenho aritmético dos estudantes. Destaca-se também a priorização do ensino pautado na compreensão do sistema numérico e das relações entre quantidades (raciocínio quantitativo) para a aprendizagem aritmética, bem como para a prevenção de dificuldades matemáticas futuras.

Palavras-chave: habilidades predictoras; desempenho aritmético; transcodificação numérica; raciocínio quantitativo; consciência fonêmica

Abstract

This study aims to investigate the relations of general and specific domain skills as predictors of arithmetic achievement. For this, 127 students in 3rd and 4th grades were evaluated on the following skills: working memory, phonemic awareness, reading comprehension, number transcoding, number line estimation and quantitative reasoning. These cognitive skills were assessed in two moments, at the beginning and at the end of the school year, and in this second moment the students' arithmetic achievement was also assessed. Results indicated a direct influence specifically of number transcoding, quantitative reasoning, and phonemic awareness on arithmetic performance. In addition, findings showed that number transcoding is a mediator in the relation between quantitative reasoning and phonemic awareness with arithmetic performance. With this, we emphasize the importance of general and specific skills for students' arithmetic performance. Also, we highlight the prioritization of teaching based on the understanding of the number system and the relations between quantities (quantitative reasoning) for arithmetic learning, as well as for the prevention of future mathematical difficulties.

Keywords: predictive skills; arithmetic achievement; number transcoding; quantitative reasoning; phonemic awareness

3.1 INTRODUÇÃO

Na última década, houve um crescente interesse das pesquisas na área da cognição numérica em identificar habilidades cognitivas que são subjacentes ao desempenho matemático (NOGUES; DORNELES, 2021). Mais do que isso, conhecer quais são as habilidades envolvidas no desenvolvimento da compreensão matemática é um meio fundamental para pensar em intervenções adequadas e direcionadas para auxiliar a aprendizagem dessa área. Da mesma forma, esse entendimento pode dar suporte aos profissionais da educação na identificação de crianças que estão em risco de desenvolverem dificuldades de aprendizagem matemática.

Muitos fatores têm sido identificados como importantes para o desempenho matemático, os quais incluem tanto habilidades de domínio geral – que se referem às capacidades cognitivas de ordem superior e que estão relacionadas a diversas competências acadêmicas, como leitura, escrita e matemática –, quanto de domínio específico, que são consideradas como capacidades que contribuem com o desempenho em uma competência escolar específica (ARAGÓN *et al.*, 2019; PASSOLUNGHI; LANFRANCHI, 2012; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018). Além disso, também se faz importante conhecer a causalidade do desempenho matemático dos estudantes, isto é, quais habilidades cognitivas são explicativas desse desempenho e podem exercer influência para determinar um baixo ou alto desempenho nessa área.

Nesse sentido, algumas pesquisas já sugerem quais habilidades cognitivas podem ser explicativas do desempenho matemático posterior (p. ex. GEARY, 2011; GILMORE *et al.*, 2018; HABERMANN *et al.*, 2020; NUNES *et al.*, 2007). Dentre as habilidades de domínio geral, as evidências destacam memória de trabalho (p. ex. ARAGÓN *et al.*, 2019; GEARY, 2011; PASSOLUNGHI; LANFRANCHI, 2012), habilidades espaciais (p. ex. CARR *et al.*, 2020; HAWES *et al.*, 2019), velocidade de processamento (p. ex. ARAGÓN *et al.*, 2019; GEARY, 2011; PASSOLUNGHI; LANFRANCHI, 2012) e consciência fonológica, que inclui a consciência fonêmica, (p. ex. HECHT *et al.*, 2001; SIMMONS; SINGLETON; HORNE, 2008) como importantes preditores do desempenho matemático. Em relação às habilidades de domínio específico, muitos estudos indicam como preditoras habilidades numéricas básicas como a contagem (p. ex. CHING; NUNES, 2017; DESOETE *et al.*, 2009; GEARY, 2011), o reconhecimento de números, também denominado de transcodificação numérica (p. ex. HABERMANN *et al.*, 2020; KISS; NELSON; CHRIST, 2019; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019), e a estimativa numérica (p. ex. ARAGÓN *et al.*, 2019; GILMORE *et al.*, 2018; SASANGUIE; VAN DEN BUSSCHE; REYNVOET, 2012), assim como a habilidade em cálculos de adição e subtração, a recuperação de fatos aritméticos e o raciocínio quantitativo (p.

ex. CASEY *et al.*, 2017; KISS; NELSON; CHRIST, 2019; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019; NUNES *et al.*, 2012).

Entretanto, algumas habilidades ainda carecem de evidências sobre sua relação com a aritmética, cita-se aqui como exemplo as habilidades de leitura de palavras e compreensão leitora. Estudos sugerem que a leitura de palavras isoladas é preditora do desempenho aritmético (FUCHS *et al.*, 2006; WONG; HO, 2017), indicando que a decodificação e o reconhecimento de palavras estão diretamente relacionados à capacidade de resolver cálculos aritméticos. Da mesma forma, a compreensão leitora parece exercer influência também para a resolução de cálculos aritméticos e para a recuperação de fatos aritméticos (ANDERSSON, 2008). Ainda assim, as evidências sobre essa influência são poucas e por isso mais estudos são necessários para elucidar a relação de leitura e compreensão leitora com a aritmética.

Na tentativa de investigar quais habilidades exercem influência no desempenho matemático posterior, pesquisas concentram esforços na avaliação de tais habilidades no início da vida escolar dos estudantes para analisar suas influências no desempenho matemático um ou dois anos depois (p. ex. HABERMANN *et al.*, 2020; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019; PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018). Entretanto, se faz importante verificar, também, como acontecem essas relações em crianças já inseridas há mais tempo no contexto escolar, inclusive em estudantes já alfabetizados, o que permitirá identificar outras habilidades mais complexas do desempenho matemático.

Portanto, o presente estudo tem como proposta investigar habilidades de domínio geral e específico que possam ser preditoras do desempenho aritmético de estudantes do 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. A partir da literatura foram selecionadas algumas habilidades cognitivas prováveis de serem preditoras do desempenho aritmético. Assim, uma bateria de testes relativa às habilidades de memória de trabalho, consciência fonêmica, compreensão leitora, transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo, foi utilizada para avaliar a capacidade dos alunos nessas medidas. Em seguida, foram investigadas as relações entre os desempenhos nessas tarefas e em uma tarefa de aritmética. Destaca-se, também, que os desempenhos matemáticos considerados como variável desfecho na literatura abrangem desde somente cálculos simples de aritmética até medidas combinadas de aritmética, resolução de problemas e geometria, por exemplo, para definir uma medida de desempenho matemático geral. No estudo que se apresenta aqui, o enfoque será dado ao desempenho aritmético, isto é, à habilidade de resolver cálculos com as quatro operações fundamentais: adição, subtração, multiplicação e divisão. Tal enfoque está de acordo com o que é mais comumente abordado na disciplina matemática oferecida nas escolas brasileiras, além de ser o

foco principal do currículo escolar brasileiro, referente a essa área do conhecimento, nessa etapa dos Anos Iniciais da escolarização (BRASIL, 2018).

Nas seções seguintes, apresenta-se o embasamento teórico para este estudo, fornecendo uma visão geral das evidências sobre o papel das habilidades cognitivas selecionadas em relação à aprendizagem matemática nos anos iniciais da escolarização.

3.1.1 Preditores de domínio geral

Muitos estudos focaram na análise dos preditores do desempenho matemático com o objetivo de elucidar quais habilidades cognitivas são subjacentes a esse desempenho e, assim, também ser possível identificar estudantes em risco de desenvolverem dificuldades de aprendizagem matemática (ARAGÓN *et al.*, 2019; GEARY, 2011; PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012). Essa identificação pode facilitar a implementação de medidas de remediação e prevenção das dificuldades matemáticas com benefícios, inclusive, a longo prazo.

Assim, uma habilidade bastante avaliada nesses estudos é a memória de trabalho, que se refere a um sistema, isto é, a um ‘espaço de trabalho’ da memória que armazena e processa informações de forma imediata ou por um curto período ao realizar tarefas cognitivas (BADDELEY, 2011; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018). O modelo teórico adotado neste estudo é o de Baddeley e Hitch (1974), o qual apresenta a memória de trabalho como um sistema composto por 3 componentes: o fonológico, que armazena temporariamente informações verbais e auditivas, o visuoespacial para o armazenamento temporário de informações visuais e espaciais, e o executivo central, responsável por coordenar e processar as informações retidas pelos outros dois componentes. Mesmo já havendo uma atualização mais recente desse modelo (BADDELEY, 2000), que considera um quarto componente, o *buffer* episódico, optou-se pelo modelo anterior pela consistência teórica e disponibilidade de tarefas para avaliação (CANÁRIO; NUNES, 2012; GATHERCOLE, 2008; NOBRE *et al.*, 2013).

Boa parte das pesquisas mostraram que a memória de trabalho está relacionada a várias habilidades matemáticas, desde a contagem até cálculos aritméticos (ARAGÓN *et al.*, 2019; GEARY, 2011; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007). Mais do que isso, estudos indicam a memória de trabalho como uma habilidade precursora da aprendizagem matemática, principalmente nos primeiros anos de escolarização (ARAGÓN *et al.*, 2019; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007; XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018),

reduzindo a sua influência conforme o amadurecimento do conhecimento pelo aluno (CHU; VANMARLE; GEARY, 2016; GEARY, 2011).

Resolver tarefas matemáticas requer o processamento de informações verbais e visuoespaciais, pois exigem procedimentos de solução com vários passos. Portanto, não é surpreendente que a memória de trabalho exerça um papel fundamental tanto na aritmética, quanto no desempenho matemático geral (XENIDOU-DERVOU *et al.*, 2018), visto que também é uma habilidade conveniente para reter informações relevantes durante um cálculo ou enquanto se interpreta o enunciado de um problema para acessar informações de longo prazo, lembrar fatos aritméticos e para representar o problema (ARAGÓN *et al.*, 2019).

A relação entre o desempenho em memória de trabalho e em testes que avaliam a competência numérica e matemática já está bem reportada e estabelecida na literatura (GEARY, 2011; GEARY; HOARD; HAMSON, 1999). Mesmo sendo avaliada simultaneamente ou anos depois, as evidências indicam que quanto maior a capacidade da memória de trabalho, melhor o desempenho em tarefas de matemática (BULL; ESPY; WIEBE, 2008; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007). Entretanto, alguns estudos mostram que os efeitos da memória de trabalho também podem aparecer indiretamente relacionados ao desempenho matemático quando competências numéricas são conjuntamente avaliadas. Assim, o efeito de predição prevalece para estas habilidades numéricas iniciais, mas sua relação é mediada por elas no desempenho matemático posterior (FUHS; HORNBURG; MCNEIL, 2016; PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012).

Quanto à habilidade de consciência fonológica, define-se como a habilidade de segmentar as palavras em unidades menores, isto é, focalizando e separando as palavras nos sons que as constituem (GILLON, 2017; SOARES, 2019). A consciência fonológica pode ser separada em três níveis principais: consciência da sílaba, consciência de rimas (intrassilábica) e consciência do fonema (consciência fonêmica) (GILLON, 2017; SOARES, 2019). Esta última é considerada o nível mais avançado da consciência fonológica, pois é o entendimento de que as palavras são compostas por sons individuais (GILLON, 2017), sendo alcançada por meio da associação entre grafema (letra) e seu respectivo fonema (som) (SOARES, 2019). Nesse sentido, por a consciência fonêmica ser o mais alto nível de consciência fonológica, optou-se por avaliá-la neste estudo como uma medida representante da consciência fonológica. Não existe consenso entre os estudos que consideraram tal habilidade como preditora do desempenho matemático. Alguns estudos que avaliaram a consciência fonológica, e mais especificamente a consciência fonêmica, encontraram relação direta com o desempenho matemático (HECHT *et al.*, 2001; LOPES-SILVA *et al.*, 2014, 2016), enquanto outros não

encontraram relação alguma (PASSOLUNGI; LANFRANCHI, 2012; PASSOLUNGI; VERCELLONI; SCHADEE, 2007). A codificação fonêmica dos numerais verbais é o primeiro passo nos procedimentos de transcodificação numérica, antes mesmo do uso das regras de algoritmos e da recuperação de fatos da memória de longo prazo (LOPES-SILVA *et al.*, 2014). Portanto, limitações na capacidade de processamento fonológico podem restringir a capacidade de transcodificação numérica, particularmente no caso de números de magnitudes maiores (LOPES-SILVA *et al.*, 2014).

As evidências que indicam a associação da consciência fonológica no desempenho matemático incluem também uma relação causal, isto é, de que a consciência fonológica exerce um papel de influência especificamente na resolução de cálculos aritméticos. Para exemplificar, ao resolver um cálculo o estudante pode primeiro converter os termos do problema, os valores e a operação em um código baseado na fala. A utilização da tradução arábica para verbal é bastante comum em criança ao resolverem tarefas aritméticas, pois elas necessitarão processar essa informação fonológica para realizar sua estratégia. Por exemplo, no cálculo “ 5×2 ” a criança irá buscar uma resposta baseada em um código fonológico da memória de longo prazo (GEARY; HOARD; HAMSON, 1999). Da mesma forma, quando recorre a uma estratégia baseada na contagem, o sistema fonológico será ativado quando os nomes dos números (códigos numéricos fonológicos) são usados para contar (HECHT *et al.*, 2001).

Em um estudo estado-unidense, 201 crianças foram acompanhadas do 2º ao 5º ano do Ensino Fundamental e avaliadas quanto a sua capacidade de processamento fonológico, o qual abrangeu as três áreas: velocidade de nomeação, memória fonológica e consciência fonológica. A partir disso, os autores verificaram a influência dessa habilidade no desempenho aritmético dos estudantes ao longo desses anos escolares. De acordo com os resultados, foi possível verificar que o processamento fonológico foi um importante preditor no crescimento de desempenho do 2º para o 3º ano e do 2º para o 5º ano, porém especificamente a consciência fonológica teve o maior valor de predição, sendo responsável por explicar sozinha 10% da variância do desempenho aritmético. Além disso, somente a consciência fonológica apresentou contribuição preditiva única no desempenho do 3º para o 4º ano e do 4º para o 5º ano (HECHT *et al.*, 2001).

A capacidade de compreender e lidar com as informações é um fator relevante para todas as habilidades descritas, bem como para o desempenho matemático. Nesse sentido, a compreensão leitora pode ser uma habilidade importante para identificar a capacidade das crianças em lidar com a informação. Um estudo estado-unidense que avaliou preditores específicos para a resolução de problemas nos anos iniciais da escola indicou a compreensão

leitora como uma habilidade significativa e capaz de prever a capacidade de resolução de problemas (DECKER; ROBERTS, 2015). Em relação ao desempenho aritmético, algumas evidências apontam para a habilidade de leitura de palavras estar relacionada com o desempenho em resolver cálculos (GILLIGAN; FLOURI; FARRAN, 2017; WONG; HO, 2017). Vale destacar que um estudo sueco, preocupado em investigar especificamente a relação de predição da memória de trabalho no desempenho em aritmética, considerou também uma medida de compreensão da leitura dentre as variáveis avaliadas. Nesse estudo, foram avaliados 141 estudantes de 3º e 4º ano e os resultados indicaram que a compreensão de leitura apareceu como uma das habilidades preditoras do desempenho em cálculos aritméticos, sendo a mais importante para a recuperação de fatos aritméticos (ANDERSSON, 2008).

Percebe-se, com isso, a associação de habilidades cognitivas de domínio geral com o desempenho matemático, sendo sua estimulação precoce muito importante para o desenvolvimento da aprendizagem numérica e para a prevenção de dificuldades nessa área. Por isso, este estudo se propôs a investigar a influência das habilidades descritas anteriormente no desempenho aritmético de estudantes brasileiros.

3.1.2 Preditores de domínio específico

Conhecer as habilidades cognitivas que formam a base do desenvolvimento matemático das crianças é fundamental tanto para a comunidade científica, quanto para a prática educacional. Existem evidências consideráveis de algumas habilidades de domínio específico envolvidas no conhecimento matemático. Especialmente, a literatura indica que habilidades numéricas iniciais, mesmo quando avaliadas em uma idade precoce, são preditores importantes para o desempenho matemático posterior, tanto de níveis iniciais quanto finais da escolarização (CHING; NUNES, 2017; HABERMANN *et al.*, 2020; KISS; NELSON; CHRIST, 2019; KRAJEWSKI; SCHNEIDER, 2009). Portanto, destaca-se que fornecer uma base consistente da competência matemática é importante para o sucesso escolar (CHING; NUNES, 2017), podendo beneficiar o desempenho dos estudantes em vários níveis da escolarização e favorecer aprendizagens de conteúdos mais avançados da matemática.

Dentre as habilidades numéricas iniciais, destacam-se, neste estudo, a transcodificação numérica e a estimativa numérica como importantes preditores para o desempenho aritmético, especificamente. A transcodificação numérica é considerada como a capacidade de notação dos símbolos numéricos a partir da conversão entre as linguagens verbal e escrita (MOURA *et al.*, 2015). As evidências sobre a relação entre a transcodificação numérica e o desempenho

aritmético ainda são escassas, mas, mesmo assim, alguns estudos encontraram associação significativa entre a leitura e escrita de números e o desempenho matemático (GEARY; HAMSON; HOARD, 2000; GEARY; HOARD; HAMSON, 1999). Inclusive, existem evidências de que, quando comparado à capacidade de memória de trabalho e a representações numéricas não-simbólicas, o conhecimento da forma de escrita do valor-posicional dos números, em crianças no final do primeiro ano escolar, é o melhor preditor do desempenho matemático dois anos depois (MOELLER *et al.*, 2011).

Um estudo australiano que avaliou 519 estudantes na Educação Infantil e, logo depois, no 1º ano, preocupado em investigar as habilidades preditoras do desempenho aritmético, indicou que o conhecimento dos números em formato arábico no início da escolarização foi importante para o desenvolvimento de habilidades aritméticas posteriores (MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019). Esses achados são corroborados por um estudo britânico que também acompanhou seus 71 participantes da Educação Infantil até o 1º ano, o qual investigou especificamente a relação entre o conhecimento numérico arábico e o desempenho aritmético. Em tal estudo verificou-se que o conhecimento numérico aos 4 anos de idade, avaliado pela habilidade de transcodificação numérica, é um preditor único da habilidade aritmética aos 6 anos de idade (HABERMANN *et al.*, 2020).

Outra habilidade cognitiva envolvida no conhecimento numérico inicial e indicada como importante para o desempenho matemático é a estimativa numérica. Para avaliar essa habilidade, comumente é utilizada uma tarefa em que os participantes devem indicar a posição de um número em uma reta numérica, que está apenas com as marcações do número inicial e final. Alguns estudos sugerem que quanto melhor a capacidade em realizar estimativas, melhor o desempenho em testes padronizados de matemática (BOOTH; SIEGLER, 2006), e que o desempenho em estimativa melhora progressivamente conforme o aumento da idade e do ano escolar (LINK; NUERK; MOELLER, 2014; SASANGUIE; VAN DEN BUSSCHE; REYNVOET, 2012). Além disso, já existem resultados indicando que quanto mais precisas as crianças são em localizar números na reta numérica, melhor será seu desempenho matemático anos depois (ARAGÓN *et al.*, 2019; GILMORE *et al.*, 2018; SASANGUIE; VAN DEN BUSSCHE; REYNVOET, 2012).

As principais evidências são de que o desempenho em estimativa numérica está relacionado com habilidades numéricas básicas, como a categorização e comparação de magnitudes numéricas, e com habilidades complexas da aritmética, como os cálculos com as quatro operações fundamentais (BOOTH; SIEGLER, 2006, 2008; LASKI; SIEGLER, 2007; LINK; NUERK; MOELLER, 2014; SIEGLER; BOOTH, 2004). Além disso, a estimativa

numérica é um recurso importante para a representação e compreensão numérica inicial, pois exige uma integração entre o conhecimento numérico conceitual, como a familiaridade com os números, o valor-posicional e a compreensão numérica, e o conhecimento numérico de procedimento, como as estratégias utilizadas e o julgamento proporcional (DACKERMANN *et al.*, 2015; GILMORE *et al.*, 2018; LASKI; SIEGLER, 2007; SIEGLER; THOMPSON; OPFER, 2009).

Partindo do conhecimento numérico inicial, que envolve a compreensão do sistema numérico, passa-se para o entendimento das quatro operações fundamentais (adição, subtração, multiplicação e divisão). Nesse sentido, a compreensão das operações matemáticas ultrapassa simplesmente o fato de o aluno ser apto a resolver um algoritmo. Compreender as operações matemáticas envolve, primeiramente, conhecer as relações entre elas e, principalmente, perceber as relações entre as quantidades envolvidas para, depois disso, ser possível operar com os números envolvidos no cálculo, com a possibilidade de seguir outras estratégias de resolução além dos algoritmos pré-estabelecidos. Essa compreensão das relações entre as quantidades, se estão aumentando ou diminuindo, sendo agrupadas ou repartidas, por exemplo, é o que se define como raciocínio quantitativo (NUNES *et al.*, 2016). Entender as relações entre as quantidades irá auxiliar na compreensão da matemática inicial, e até mesmo dos cálculos aritméticos.

O raciocínio quantitativo pode ser classificado em raciocínio aditivo e multiplicativo, de acordo com as relações estabelecidas entre as quantidades (NUNES *et al.*, 2016). Ambos são essenciais para a compreensão das quatro operações fundamentais da matemática e suas relações. A partir do momento em que a criança coordena os esquemas necessários para a solução dos problemas matemáticos, ela irá desenvolver o raciocínio operatório e obterá um melhor desempenho nas tarefas de matemática (NUNES *et al.*, 2009). Ainda existem poucas evidências de estudos longitudinais que investigaram o raciocínio quantitativo como habilidade capaz de prever o sucesso matemático em anos posteriores. Destaca-se a pesquisa de Nunes e colaboradores (2007), em que foi investigado se o raciocínio quantitativo, medido ao iniciar a vida escolar, era um preditor significativo do desempenho matemático, avaliado 16 meses depois por um teste padronizado. Para isso, foram acompanhadas 53 crianças britânicas com média de idade variando de 6 a 7,3 anos, de acordo com o momento em que foi feita a avaliação. Os resultados indicaram o raciocínio quantitativo como preditor significativo e específico do desempenho matemático, mesmo após controlar o nível de inteligência e a capacidade de memória de trabalho desses participantes (NUNES *et al.*, 2007). De maneira similar, um estudo também longitudinal investigou se as habilidades de raciocínio quantitativo e aritmética de 1680 estudantes britânicos eram preditoras de seu desempenho matemático posterior, avaliado aos

11 e aos 14 anos de idade (NUNES *et al.*, 2012). Seus achados mostraram que o raciocínio quantitativo tem uma contribuição única na predição do desempenho matemático em ambos os momentos avaliados para além dos efeitos de memória de trabalho, inteligência e habilidades aritméticas.

Mais recentemente um estudo realizado com 115 crianças chinesas avaliadas no 1º ano, e em seguida no 2º ano, também com o objetivo de investigar as contribuições do raciocínio quantitativo, especificamente o aditivo, para o desempenho matemático posterior, o indicou como medida substancialmente explicativa do desempenho matemático, tanto para habilidades de cálculo, quanto para a resolução de problemas (CHING; NUNES, 2017). Destaca-se, a partir dessas evidências, a importância do raciocínio quantitativo para a aprendizagem matemática e o quanto a compreensão das relações entre as quantidades é fundamental para o entendimento dos algoritmos formais utilizados na resolução de cálculos aritméticos, bem como para o melhor desempenho matemático em geral.

Assim, ressalta-se a influência de habilidades cognitivas de domínio específico no desenvolvimento da aprendizagem matemática. Mais do que isso, destaca-se que habilidades numéricas iniciais bem estabelecidas proporcionam uma compreensão matemática mais consistente e, conseqüentemente, o sucesso escolar nessa área.

3.1.3 O presente estudo

Neste estudo pretende-se identificar quais as habilidades, dentre as propostas, melhor predizem o desempenho aritmético de crianças de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. Em outras palavras, o objetivo é verificar a influência de preditores de domínio geral e específico na performance aritmética do mesmo grupo de estudantes avaliados no início e no final do ano letivo. Para isso, foram selecionadas seis habilidades importantes para o desempenho aritmético, são elas: memória de trabalho, consciência fonêmica, compreensão leitora, transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo. Como hipótese, espera-se encontrar influência tanto de habilidades de domínio geral quanto de domínio específico para o desempenho aritmético, isto é, que pelo menos algumas das variáveis avaliadas contribuam de forma independente para a variável desfecho, especialmente a memória de trabalho, que é bastante reportada na literatura como preditora, e o raciocínio quantitativo, vista a proximidade de procedimentos com a aritmética.

Cabe dizer que a maioria das pesquisas até o momento focou na investigação das habilidades cognitivas de alunos da Educação Infantil e do 1º ano. Assim, este estudo propõe a

avaliação das habilidades cognitivas de estudantes com mais tempo de escolarização, além de verificar a relação de medidas como a compreensão leitora e o raciocínio quantitativo, as quais são pouco exploradas como possíveis preditoras do desempenho aritmético. Desse modo, este estudo permite a identificação de habilidades precursoras do desempenho aritmético de estudantes brasileiros já inseridos há mais tempo no contexto escolar.

Assim, o desempenho dos alunos foi avaliado nas habilidades cognitivas selecionadas para identificar a contribuição única de cada uma para o desempenho aritmético posterior. A seguir são descritas a composição da amostra, os procedimentos e as tarefas selecionadas para avaliar as habilidades propostas.

3.2 MÉTODO

3.2.1 Participantes

A quantidade mínima de participantes para conduzir o estudo foi determinada a partir de um cálculo amostral, utilizando o software *Winpepi* (v11.48), para uma análise de regressão, considerando seis preditores, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,90$, com poder de 80%, nível de significância de 5% e considerando uma perda de 30% dos participantes. O que resultou na quantidade mínima necessária de 98 crianças, quantidade mínima suficiente para realizar os testes estatísticos pretendidos.

Quanto à participação da pesquisa, foi solicitada à Secretaria Municipal de Educação (SMED) de Porto Alegre uma autorização para realização da pesquisa nas escolas (Anexo A). Também foi requerido um termo de autorização de cada escola participante (Anexo B), bem como a assinatura de um termo de participação (Anexo C) à professora responsável por cada turma. Aos responsáveis dos alunos interessados em participar exigiu-se a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo D) e aos alunos participantes um Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (Anexo E).

Esta pesquisa contou com 127 crianças de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental de duas escolas municipais da cidade de Porto Alegre/RS. Inicialmente, a amostra contava com 163 alunos, os quais realizaram todas as atividades de avaliação das habilidades cognitivas descritas anteriormente (transcodificação numérica, estimativa numérica, raciocínio quantitativo, memória de trabalho, consciência fonêmica e compreensão leitora) e a avaliação do nível intelectual. Foram considerados dois critérios para inclusão dos participantes na amostra: o nível intelectual e a alfabetização. O nível intelectual foi medido a partir da avaliação do

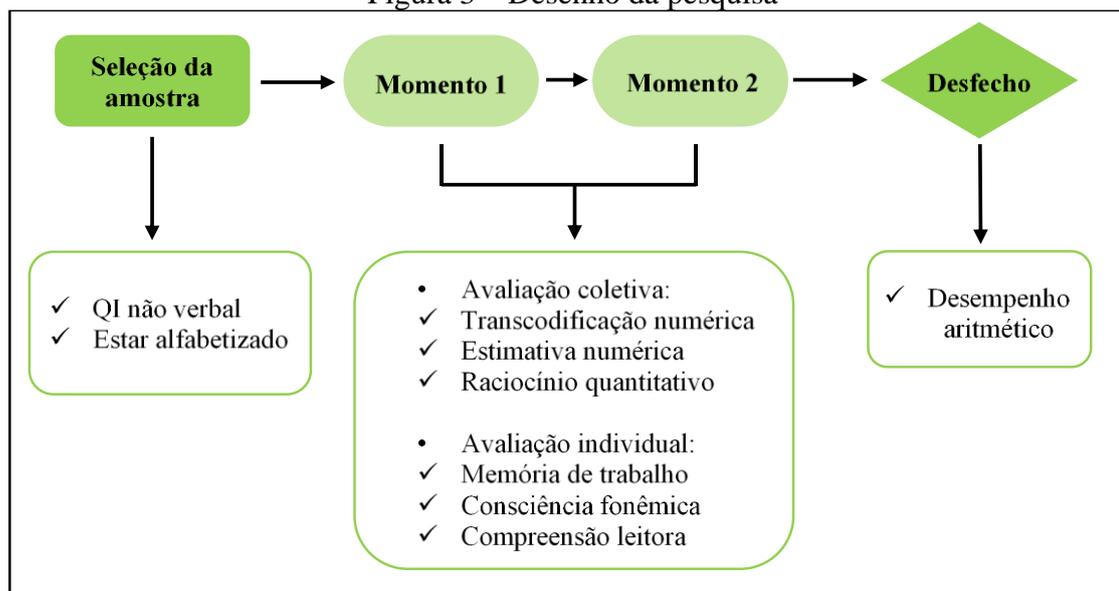
raciocínio não verbal, feita por meio do instrumento Matrizes Progressivas Coloridas de Raven – Escala Especial (ANGELINI et al., 1999). A aplicação dessa medida tem como intenção homogeneizar a amostra, isto é, desconsiderar as crianças com possibilidade de apresentarem deficiência intelectual. Com base no teste, foi considerado o ponto de corte no percentil 25, que indica o participante como sendo intelectualmente médio. Abaixo desse percentil o sujeito é classificado como abaixo da média intelectual ou com alguma deficiência intelectual (ANGELINI et al., 1999). A alfabetização foi identificada a partir da habilidade de leitura, considerando como alfabetizados apenas os participantes que conseguiram completar as tarefas de consciência fonêmica e de compreensão leitora. Assim, resultando no grupo amostral de 127 alunos.

3.2.2 Coleta de Dados

O processo de coleta de dados ocorreu no ano de 2018 e teve de iniciar e terminar ao longo do mesmo ano letivo para minimizar perdas de sujeitos da amostra. Optou-se por realizar dois momentos de avaliação, medindo-se as mesmas habilidades em ambos, com a intenção de verificar uma possível influência da escolarização no desenvolvimento dessas habilidades, bem como de caracterizar um estudo longitudinal de predição. O primeiro momento de avaliação foi realizado durante os meses de abril e maio (início do ano letivo), e o segundo momento em outubro e novembro (final do ano letivo), seguido imediatamente pela avaliação do desempenho aritmético (variável desfecho). O fluxograma abaixo (Figura 3) resume as etapas seguidas para a coleta de dados deste estudo.

A coleta de dados consistiu na aplicação de seis tarefas, uma para cada habilidade, mais a avaliação do nível intelectual dos estudantes e do desempenho aritmético. Durante a avaliação nos momentos 1 e 2, os alunos participaram de três sessões em cada momento, sendo duas sessões coletivas e uma individual. Na primeira sessão coletiva do momento 1 foi avaliado o raciocínio não-verbal dos estudantes e na segunda sessão coletiva foram avaliadas as habilidades de transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo, as quais foram aplicadas em sequência e nessa ordem. Todas as tarefas foram aplicadas em sala de aula, durante o turno escolar, com duração aproximada de uma hora para a primeira sessão e de duas horas para finalizar todas as tarefas na segunda sessão. Na terceira sessão do momento 1, que foi feita de forma individual, foram avaliadas a memória de trabalho, a consciência fonêmica e a compreensão leitora, também durante o turno escolar, porém em sala separada e com duração média de 30 minutos por participante.

Figura 3 – Desenho da pesquisa



Fonte: elaborado pela autora

No momento 2, as sessões configuraram-se da seguinte maneira: primeira sessão coletiva, avaliou a transcodificação numérica, o raciocínio quantitativo e a estimativa numérica, seguindo essa ordem de aplicação; segunda sessão individual, foram avaliadas a memória de trabalho, a consciência fonêmica e a compreensão leitora; e a terceira sessão coletiva para avaliar o desempenho aritmético. A seguir constam as descrições dos instrumentos utilizados, seguindo a mesma ordem de aplicação.

Tarefa de avaliação da transcodificação numérica

Nesta tarefa os participantes são solicitados a escrever em algarismos os números ditados a eles. A tarefa avalia a capacidade de transcodificação numérica, sendo composta por 28 números de um até quatro dígitos, que devem ser escritos com seus algarismos correspondentes. Esta tarefa já foi utilizada por estudos anteriores com amostras brasileiras (LOPES-SILVA *et al.*, 2014, 2016; MOURA *et al.*, 2013) e encontra-se publicada na íntegra em Moura e colaboradores (2013), por isso não consta nos apêndices ao final deste texto. Um ponto é atribuído para cada resposta correta e não contém critérios de interrupção. Essa tarefa foi aplicada de forma coletiva e com tempo de duração entre 10 e 15 minutos.

Tarefa de avaliação da capacidade de estimativa numérica

A tarefa de estimativa numérica utilizada foi a versão número-posição (SIEGLER; OPFER, 2003) que consiste em solicitar ao participante que marque a posição de um número em uma reta delimitada pelos números 0 (à esquerda) e 100 (à direita). Os 22 números a serem

estimados foram retirados de Laski e Siegler (2007), são eles: 2, 3, 5, 8, 12, 17, 21, 26, 34, 39, 42, 46, 54, 58, 61, 67, 73, 78, 82, 89, 92, 97. Esses números foram apresentados de forma aleatória e as crianças tiveram que marcar suas estimativas em um caderno contendo uma reta numérica e um número a ser estimado em cada página (Apêndice A). Essa tarefa foi aplicada coletivamente com toda a turma, com duração aproximada de 30 minutos para sua finalização e sem critérios de interrupção.

O desempenho em estimativa numérica foi determinado pelo cálculo da precisão com que os alunos estimam cada número solicitado, ou seja, pelo cálculo da porcentagem do erro absoluto (PEA) de cada criança. Esse cálculo é adaptado de Siegler e Booth (2004) e é feito dividindo-se a diferença, em valor absoluto, entre a estimativa feita pela criança e o número a ser estimado, pela escala da reta. Melhor explicando: se uma criança é solicitada a estimar o número 40, mas realiza uma marcação correspondente ao número 30, a porcentagem do erro absoluto será de 10%. Esse valor corresponde ao resultado de $\left| \frac{30-40}{100} \right|$. Para fins de análise, a variável estimativa numérica foi considerada como “1 – PEA”, ou seja, no exemplo acima, a precisão considerada seria de 90% ($1 - 0,10 = 0,90$). Portanto, quanto mais próximo de 1 (100%), mais precisa é a resposta dada pela criança.

Tarefa de avaliação do raciocínio quantitativo

A tarefa de raciocínio quantitativo (Apêndice B), baseada em Nunes (2009), foi aplicada com o objetivo de avaliar a habilidade de resolver problemas aritméticos simples, isto é, que envolvem apenas uma operação matemática e números até 20. As relações quantitativas envolvidas são o raciocínio aditivo, o qual inclui situações de composição de quantidades, de transformação e de comparação, e raciocínio multiplicativo, que contém situações de relação direta e inversa entre quantidades e de produto de medidas. A tarefa compreendeu 18 problemas, 9 de raciocínio aditivo (sendo 3 de composição de quantidades, 3 de transformação e 3 de comparação) e 9 de raciocínio multiplicativo (sendo 3 de relação direta, 3 de relação inversa e 3 de produto de medidas). Cada participante recebeu um caderno contendo apenas as ilustrações dos problemas, com um problema por página, e sem informações por escrito. As instruções foram dadas oralmente pela avaliadora, pois, assim, não exige a habilidade de leitura dos alunos para o entendimento do enunciado. Após os alunos preencherem o caderno com as respostas no local indicado, a pesquisadora recolheu os cadernos para posterior análise. A tarefa foi aplicada de forma coletiva, com toda a turma, com tempo de duração para finalização da tarefa de 40 minutos em média, não apresentando critérios de interrupção. Para a correção foi

levado em consideração o número de acertos sobre o total de questões e o número de acertos por tipo de problema: raciocínio aditivo e raciocínio multiplicativo.

Tarefa de avaliação da memória de trabalho

A avaliação da capacidade da memória de trabalho foi realizada por meio da Bateria de Testes de Memória de Trabalho para Crianças (PICKERING; GATHERCOLE, 2001). Desse material, foram utilizadas as tarefas Memória de Blocos e Memória de Dígitos em ordem direta e inversa, para avaliar cada um dos três componentes da memória de trabalho. Esta tarefa não consta nos apêndices no final do texto, pois possui direitos autorais de publicação.

A tarefa Memória de Blocos foi aplicada para avaliar o componente visuoespacial. Nesta tarefa são apresentados para a criança nove blocos fixados sobre uma base estável, em que as faces voltadas para a criança são lisas e as faces voltadas para o avaliador possuem um número em cada bloco, compreendidos entre 1 e 9. Para dar início à tarefa, o avaliador mostra uma sequência de blocos posicionando o dedo indicador em cada um deles, realizando uma sequência de um bloco por segundo. As sequências são separadas em nove níveis que vão aumentando progressivamente a quantidade de blocos a serem lembrados em cada um, para cada nível há seis sequências que devem ser repetidas na mesma ordem. Inicia-se com o primeiro nível, que corresponde apenas a sequências de um bloco, e segue até o último nível, que compreende sequências de nove blocos cada. O teste é interrompido caso a criança cometa três erros em um mesmo nível. O desempenho nesta tarefa é medido de acordo com o número de sequências repetidas corretamente (PICKERING; GATHERCOLE, 2001).

Para avaliar o componente fonológico e o executivo central foi utilizada a tarefa Memória de Dígitos em ordem direta e inversa, respectivamente. Esta tarefa é composta por nove níveis em ordem direta e seis em ordem inversa. Em cada nível há seis sequências de dígitos que aumentam gradualmente a quantidade de dígitos a serem repetidos, iniciando com sequências de um dígito na ordem direta e de dois na ordem inversa. As sequências em ordem direta avaliam o componente fonológico, ou seja, a capacidade de armazenamento de informação a partir da fala. Enquanto as sequências em ordem inversa avaliam o executivo central, isto é, a capacidade de manipulação da informação. O teste é interrompido quando três respostas incorretas são dadas em um mesmo nível (PICKERING; GATHERCOLE, 2001).

Tarefa de avaliação da consciência fonêmica

Esta tarefa avalia a consciência fonêmica da criança por meio da supressão de fonemas, isto é, a criança ouve uma palavra e deve dizer qual é a nova palavra formada quando excluído

um fonema especificado, por exemplo: “gavião” sem /g/ é “avião”. A tarefa é composta por 28 palavras, das quais em 8 palavras a criança deve excluir o fonema referente a uma vogal e nas outras 20 o fonema referente a uma consoante. As palavras variam de 2 a 3 sílabas e os fonemas a serem suprimidos estão em diferentes posições nas palavras, o que para as consoantes a serem suprimidas faz diferença, pois dependendo da posição onde estão podem diferir em sua pronúncia, como acontece, por exemplo, com a letra “r” nas palavras “régua” e “marca”. Essa tarefa é aceita em pesquisas, tendo sido aplicada anteriormente também em amostras brasileiras (LOPES-SILVA *et al.*, 2014, 2016). Sua correção é determinada pelo total de respostas dadas corretamente e não possui critérios de interrupção. O uso desta tarefa foi concedido pelos autores responsáveis, entretanto não foi permitida a sua publicação, por isso a tarefa não consta nos apêndices do texto.

Tarefa de avaliação da compreensão leitora

A tarefa utilizada neste estudo é a de avaliação da compreensão leitora de textos expositivos, proposta por Saraiva, Moojen e Munarski (2017), que estão de acordo com as possibilidades cognitivas dos alunos em relação a conceitos e conhecimentos sobre o assunto lido. Para cada ano escolar foi apresentado um texto diferente, respeitando as capacidades cognitivas esperadas de cada nível escolar. Foi solicitada a leitura silenciosa e oral do texto, para, em seguida, realizar seis perguntas referentes ao texto: cinco com respostas encontradas no próprio texto e uma com resposta inferencial. Essa tarefa foi aplicada de forma individual, levando em média 10 minutos de duração. A pontuação foi determinada pelo número de respostas dadas corretamente e não apresenta critérios de interrupção. Esta tarefa também não permite reprodução e publicação, por isso não está nos apêndices do texto.

Tarefa de Avaliação do Desempenho Aritmético

O desempenho aritmético foi avaliado pelo Subteste de Aritmética do Teste de Desempenho Escolar (TDE, STEIN, 1994). O TDE é um teste padronizado para a realidade brasileira e amplamente utilizado em pesquisas no Brasil para verificar o aproveitamento escolar das crianças do Ensino Fundamental. Esse teste compreende três subtestes: aritmética, leitura e escrita. Para esta pesquisa utilizaremos apenas o subteste de aritmética, o qual é composto de 3 problemas simples apresentados oralmente e 35 cálculos aritméticos apresentados de forma escrita, com nível crescente de complexidade. As crianças são solicitadas a realizar o maior número de questões que puderem, sem limite de tempo e sem critérios de interrupção. Sua pontuação é determinada pelo total de questões realizadas corretamente. Por

ser uma tarefa comercializada, não é possível a sua publicação em outros meios, portanto ela não consta nos apêndices no final deste texto.

3.2.3 Análises

Foi realizada uma análise quantitativa, utilizando-se o *software* R v.3.6.3, com o intuito de verificar, dentre as habilidades avaliadas, quais são precursoras do desempenho aritmético. Para isso, primeiramente foram realizadas as análises descritivas dos desempenhos dos participantes nas tarefas, considerando os dois momentos de avaliação: no início e no fim do ano letivo. Em seguida, foi conduzido teste de comparação de Wilcoxon para verificar a existência de diferença significativa entre os desempenhos nesses dois momentos de avaliação. Também foi calculado o coeficiente alfa (α) de Conbrach para medir a consistência interna dos instrumentos utilizados, levando-se em consideração o total de questões de cada tarefa e as respostas dos estudantes para cada item.

Logo depois, foi realizada uma análise de correlação linear de Pearson entre os desempenhos dos estudantes em cada habilidade avaliada. Após, foi feita uma análise de regressão linear múltipla para verificar o valor preditivo de cada uma das medidas no desempenho aritmético. Cabe dizer que para tais análises utilizou-se os desempenhos no primeiro momento de avaliação, no qual considera-se que os estudantes receberam menos influência do ensino escolar. Por fim, foi conduzida análise de mediação, na intenção de investigar efeitos diretos e indiretos das variáveis preditoras no desempenho aritmético.

3.3 RESULTADOS

O presente estudo teve como objetivo identificar habilidades cognitivas como preditoras do desempenho aritmético de alunos do 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. A descrição da amostra, indicando a quantidade de crianças por gênero, por ano escolar e a média das idades, pode ser verificada na Tabela 2.

Tabela 2 – Categorização da amostra

		Total (%)	Média (DP)	Mínimo	Máximo
Ano escolar	3º	55 (43,31)			
	4º	72 (56,69)			
Gênero	F	79 (62,20)			
	M	48 (37,80)			
Idade			9,3 (0,7)	8,2	11,3

Fonte: Elaborado pela autora

As análises descritivas, indicadas na Tabela 3, mostram o desempenho dos estudantes nas tarefas em ambos os momentos de avaliação, no início (momento 1) e no final (momento 2) do ano letivo. Além disso, verifica-se a confiabilidade das tarefas medida pelo alfa (α) de Cronbach, o qual indica que quanto maior o valor de α , mais confiáveis são as tarefas, ou seja, mais coerentes as tarefas são com aquilo que se propõem a medir. Assim, percebe-se que as tarefas tiveram valores aceitáveis e bons de confiabilidade, permitindo uma interpretação mais consistente dos resultados. Também foi realizado o teste de comparação de Wilcoxon para verificar se houve uma melhora significativa nos desempenhos dos estudantes entre os dois momentos de avaliação. Os resultados dessa comparação estão indicados na tabela pelo p-valor, a partir do qual confere-se que o desempenho das crianças melhorou em todas as tarefas ao final do ano letivo. O que confirma a hipótese de uma possível influência do ensino escolar no desenvolvimento dessas habilidades.

Tabela 3 – Análises descritivas das tarefas avaliadas nos momentos 1 e 2

	α^*	Momento 1		Momento 2		p-valor
		Média (DP)	Mín. – Máx.	Média (DP)	Mín. – Máx.	
MT – Fonológico	0,89	25,81 (4,97)	16 – 42	26,56 (5,29)	16 – 48	< 0,01
MT – Visuoespacial	0,79	21,40 (3,98)	13 – 29	22,32 (4,09)	8 – 31	< 0,05
MT – Executivo Central	0,84	9,26 (3,48)	1 – 21	10,22 (3,57)	5 – 22	< 0,01
Compreensão Leitora ¹	0,73 0,69	6,90 (2,63)	0 – 12	7,61 (2,58)	2 – 12	< 0,05
Consciência Fonêmica	0,90	19,53 (6,53)	1 – 28	21,27 (5,47)	5 – 28	< 0,001
Transcodificação Numérica	0,92	21,31 (5,73)	7 – 28	24,48 (4,33)	13 – 28	< 0,001
Estimativa Numérica	0,90	0,89 (0,05)	0,69 – 0,97	0,91 (0,04)	0,77 – 0,97	< 0,05
Raciocínio Quantitativo	0,72	8,24 (3,08)	0 – 16	10,28 (4,16)	0 – 18	< 0,001
Desempenho Aritmético	--	--	--	13,17 (4,02)	2 – 23	--

*Coeficiente alfa (α) de Cronbach: calculado com base no total de questões em cada tarefa, mede a confiabilidade das tarefas e a consistência interna das questões com base nas respostas dos participantes. Sendo valores entre 0,6 e 0,7 um nível questionável, entre 0,7 e 0,8 aceitável, entre 0,8 e 0,9 um nível bom e maiores do que 0,9 excelente.
¹Nota: Na tarefa de Compreensão Leitora, o coeficiente de confiabilidade foi separado por ano escolar, visto que o texto e as questões são diferentes para cada ano. Porém, as demais inferências são feitas com base na amostra total.

Fonte: Elaborado pela autora

Em seguida, para a compreensão das relações entre as variáveis cognitivas e o desempenho aritmético, foi realizada uma análise de correlação linear de Pearson entre os desempenhos dos alunos nessas medidas, considerando apenas o primeiro momento de avaliação (Tabela 4). Esse momento foi escolhido para conduzir as demais análises, visto que, por ter sido coletado no início do ano letivo, estava com menos interferência escolar do que no

segundo momento de avaliação, em que as crianças obtiveram melhores desempenhos nas tarefas avaliadas, visto que receberam o ensino escolar ao longo do ano letivo.

A partir dessa análise, observa-se que o desempenho em aritmética apresentou correlação significativa com todas as habilidades avaliadas, sendo a mais fraca delas com a capacidade do componente executivo central da memória de trabalho ($r=0,21$, $p<0,05$) e a mais forte com a transcodificação numérica ($r=0,61$, $p<0,001$). A tabela de correlações também auxilia na interpretação dos resultados da análise de regressão que será relatada posteriormente, pois, assim, é possível entender as variáveis que não foram consideradas no processo de modelagem como aquelas com baixo índice de correlação.

Tabela 4 – Correlações entre as tarefas avaliadas no momento 1 e o desempenho aritmético

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. MT – CF	-							
2. MT – VE	0,01	-						
3. MT – EC	0,29***	0,26**	-					
4. CF	0,26**	0,21*	0,39***	-				
5. CL	0,12	-0,03	0,27**	0,37***	-			
6. TN	0,35***	0,24**	0,28**	0,34***	0,24**	-		
7. EN	0,12	0,28**	0,28**	0,31***	0,26**	0,43***	-	
8. RQ	0,17	0,28**	0,33***	0,34***	0,40***	0,52***	0,36***	-
9. DA	0,23**	0,30***	0,21*	0,38***	0,23**	0,61***	0,32***	0,50***

* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Legenda: 1. MT – CF: Componente Fonológico da Memória de Trabalho; 2. MT – VE: Componente Visuoespacial da Memória de Trabalho; 3. MT – EC: Componente Executivo Central da Memória de Trabalho; 4. CF: Consciência Fonêmica; 5. CL: Compreensão Leitora; 6. TN: Transcodificação Numérica; 7. EN: Estimativa Numérica; 8. RQ: Raciocínio Quantitativo; 9. DA: Desempenho Aritmético.

Fonte: Elaborado pela autora

Logo após, uma análise de regressão linear múltipla foi conduzida. Primeiramente foram colocadas todas as variáveis ao mesmo tempo no modelo, considerando o desempenho aritmético como variável desfecho, os resultados podem ser conferidos na Tabela 5. Também cabe dizer que foi gerada a variável *Memória de Trabalho*, calculada a partir da média da pontuação total (número de tentativas corretas) em cada um dos três componentes da memória de trabalho. Essa decisão foi tomada a partir dos índices de correlação de cada um desses componentes com o desempenho aritmético, os quais indicam uma correlação significativa, mas fraca, entre as variáveis (componente fonológico: $r=0,23$, $p<0,01$; componente visuoespacial: $r=0,30$, $p<0,001$; componente executivo central: $r=0,21$, $p<0,001$). Sabe-se que a memória de trabalho costuma ser uma medida importante para o desempenho matemático, por isso foi verificado se a variável composta pelos três componentes apresenta um maior índice de correlação com o desempenho aritmético. Então, a partir disso, observou-se que o índice de

correlação aumentou para uma correlação moderada ($r=0,37$, $p<0,001$), o que poderia favorecer a inclusão dessa variável no modelo de regressão.

A partir desse primeiro modelo de regressão, o qual explicou 40,9% do desempenho aritmético ($F(7,119)=13,46$, $p<0,001$), as variáveis transcodificação numérica ($\beta=0,31$, $p<0,001$) e raciocínio quantitativo ($\beta=0,28$, $p<0,05$) foram as únicas indicadas como predictoras da variável desfecho.

Tabela 5 – Modelo 1 de Regressão Linear Múltipla

Variáveis Predictoras	Desempenho Aritmético		
	β	CI	p-valor
Raven	-0,00	-0,15 – 0,15	0,761
Memória de Trabalho	0,05	-0,18 – 0,29	0,996
Consciência Fonêmica	0,09	-0,00 – 0,19	0,062
Compreensão Leitora	-0,04	-0,27 – 0,20	0,762
Estimativa Numérica	0,18	-12,18 – 12,55	0,977
Transcodificação Numérica	0,31	0,19 – 0,43	<0,001
Raciocínio Quantitativo	0,28	0,04 – 0,51	0,021

R^2 ajustado = 0,409, $F(7,119) = 13,46$, $p<0,001$

Fonte: Elaborado pela autora

Em busca de um modelo mais adequado, foi o realizado o método *stepwise forward* de seleção de variáveis, no qual cada variável é adicionada ao modelo separadamente, uma após a outra, considerando a ordem decrescente de influência. O próprio programa de análise estatística identifica as variáveis a serem adicionadas ao modelo final conforme sua influência e interrompe a modelagem quando nenhuma outra variável acrescentada apresenta um valor significativo. Portanto, foram consideradas seis variáveis como possíveis preditores: memória de trabalho, consciência fonêmica, compreensão leitora, transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo. Dessa forma, seguindo os passos do método de regressão escolhido, no modelo resultante foram indicados três preditores para o desempenho aritmético. Primeiramente foi adicionada a variável transcodificação numérica, em seguida a variável raciocínio quantitativo e, por último, a variável consciência fonêmica, conforme é possível verificar na Tabela 6. Esse modelo explica 42,7% da variância do desempenho em aritmética ($F(3,123)=32,27$, $p<0,001$), as demais medidas não apresentaram efeito significativo para serem inseridas no modelo e auxiliar na explicação do desempenho aritmético.

Tabela 6 – Modelo 2 e final da Regressão Linear Múltipla

Variáveis Predictoras	Desempenho Aritmético				
	R^2 parcial	ΔR^2	β	CI	p-valor
Transcodificação Numérica	0,371	0,371	0,32	0,21 – 0,43	<0,001
Raciocínio Quantitativo	0,410	0,039	0,27	0,06 – 0,48	0,003
Consciência Fonêmica	0,427	0,017	0,10	0,01 – 0,19	0,034

Modelo final: R^2 ajustado = 0,427, $F(3,123)=32,27$, $p<0,001$

Fonte: Elaborado pela autora

A partir desses resultados, verificamos que somente três variáveis apareceram como preditoras do desempenho aritmético e aquela com maior valor de influência foi a transcodificação numérica ($\beta=0,32$, $p<0,001$). Também é possível observar, de acordo com o modelo resultante, que essa mesma variável explica sozinha 37,1% da variância no desempenho aritmético, enquanto o raciocínio quantitativo contribui para um adicional de 3,9% e a consciência fonêmica acrescenta 1,7% na explicação da performance aritmética dos estudantes.

Para se ter uma ideia mais completa de como essas variáveis influenciam o desempenho aritmético, foi conduzida uma análise de mediação. Esse tipo de análise nos auxilia a identificar se uma variável intermediária também está envolvida na relação entre uma das variáveis preditoras e a variável resposta. Então, para isso, foi considerada como variável mediadora aquela com o maior valor de influência (coeficiente de regressão, β) no modelo indicado na Tabela 6, que corresponde à medida de transcodificação numérica ($\beta=0,32$, $p<0,001$). Acrescenta-se a isso o fato de que a influência das medidas de raciocínio quantitativo e de consciência fonêmica aumenta quando é controlado o efeito da transcodificação numérica, conforme pode ser verificado na Tabela 7.

Tabela 7 – Modelo de Regressão sem a influência da variável transcodificação numérica no desfecho

Variáveis Preditoras	Desempenho Aritmético		
	β	CI	p-valor
Raciocínio Quantitativo	0,54	0,05 – 0,25	< 0,001
Consciência Fonêmica	0,15	0,33 – 0,75	0,003

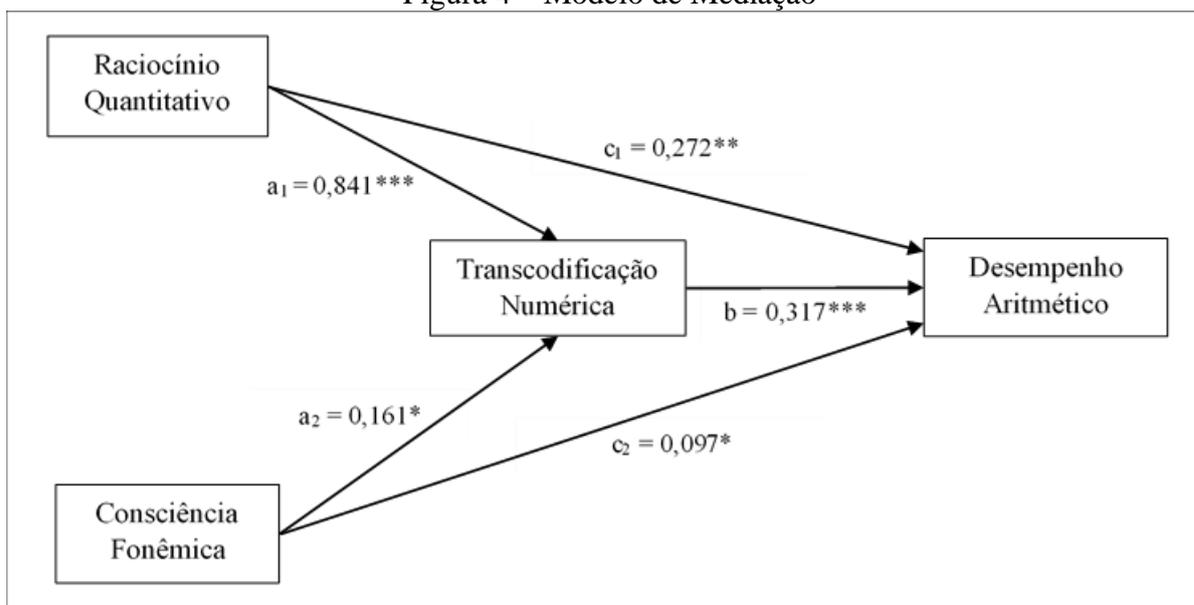
Modelo final: R^2 ajustado = 0,285, $F(2,124) = 26,13$, $p<0,001$
 Fonte: Elaborado pela autora

Na sequência, conduziu-se o modelo de análise de mediação, com o qual foram estimados os efeitos diretos (c_1 e c_2) e indiretos (a_1b e a_2b) para as variáveis preditoras raciocínio quantitativo e consciência fonêmica, respectivamente, por meio da transcodificação numérica, que foi considerada como variável intermediária. Vale dizer que os efeitos direto e indireto, respectivos de cada medida, quando somados equivalem ao efeito total de cada uma das variáveis independentes, raciocínio quantitativo e consciência fonêmica, na variável desfecho, desempenho aritmético.

Como pode ser observado na Figura 4, ao analisar, primeiramente, a relação de mediação entre raciocínio quantitativo e desempenho aritmético por meio da transcodificação numérica, verifica-se que foram encontrados efeitos significativos direto ($c_1=0,272$, $SE=0,103$, $p<0,001$) e indireto ($a_1b=0,267$, $SE=0,066$, $p<0,001$) entre raciocínio quantitativo e aritmética.

Isto indica que a transcodificação numérica é uma mediadora parcial da relação entre as outras duas medidas, já que uma parte do efeito total ($d_1=0,539$, $SE=0,103$, $p<0,01$) também é explicada pelo efeito direto entre raciocínio quantitativo e aritmética. Para melhor explicar, embora um desempenho maior em raciocínio quantitativo esteja relacionado a um escore mais alto em aritmética, o efeito dessa relação é reduzido praticamente pela metade (49,5%) quando a habilidade de transcodificação numérica também é considerada.

Figura 4 – Modelo de Mediação



* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Fonte: Elaborado pela autora

Em seguida, também foi verificado o efeito de mediação inserindo-se a variável consciência fonêmica e mantendo-se a transcodificação numérica como variável mediadora. Os resultados sugerem efeitos direto ($c_2=0,097$, $SE=0,044$, $p<0,05$) e indireto ($a_2b=0,051$, $SE=0,024$, $p<0,05$) significativos. Portanto, a transcodificação numérica também explicou uma parte do efeito total ($d_2=0,148$, $SE=0,049$, $p<0,01$) entre a relação da consciência fonêmica com a aritmética. Também cabe destacar que o efeito indireto da consciência fonêmica no desempenho aritmético é maior do que o efeito direto, ou seja, seu efeito na aritmética é mais relevante quando mediado pela transcodificação numérica.

Com isso, os resultados indicam que as variáveis raciocínio quantitativo e consciência fonêmica são explicativas do desempenho aritmético e apresentam efeitos mediados pela transcodificação numérica. Especialmente, os resultados sugerem um possível caminho para tentar elucidar a importância da consciência fonêmica para o desempenho aritmético. Assim, a análise deste estudo pode ser sintetizada em um modelo final de equações estruturais, a partir

do qual pode-se concluir que os três preditores para o desempenho aritmético tiveram efeitos indiretos e diretos significativos, o que sustenta sua relevância para o desenvolvimento do raciocínio aritmético.

3.4 DISCUSSÃO

Neste estudo, o objetivo foi investigar habilidades cognitivas associadas ao conhecimento aritmético de estudantes do 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. Mais especificamente, a intenção foi explorar os precursores do desempenho aritmético a fim de verificar a existência de uma relação causal entre habilidades cognitivas, de domínio geral e específico, e a aritmética.

A partir da literatura, algumas habilidades foram selecionadas para testar a hipótese de serem preditoras do desempenho aritmético em estudantes já alfabetizados. Das diferentes habilidades indicadas, este estudo focou nas habilidades de memória de trabalho, consciência fonêmica, compreensão leitora, transcodificação numérica, estimativa numérica e raciocínio quantitativo. Para atingir o objetivo, os estudantes foram avaliados em dois momentos ao longo do ano letivo, no início e no fim, porém apenas o momento avaliado no início do ano letivo foi considerado para evitar o efeito da aprendizagem escolar durante esse período.

Os resultados principais deste estudo mostram que os preditores significativos do desempenho em aritmética foram a consciência fonêmica como habilidade de domínio geral e a transcodificação numérica e o raciocínio quantitativo, dentre as habilidades de domínio específico. Isso está de acordo com evidências anteriores que indicam a importância da identificação de números, incluindo a leitura e a escrita dos algarismos, para a aprendizagem aritmética. Além disso, a consciência fonêmica, que faz parte do processamento fonológico, também é destacada como uma preditora do desempenho matemático geral, especialmente em cálculos aritméticos (HECHT *et al.*, 2001; SIMMONS; SINGLETON; HORNE, 2008). O modelo de regressão também confirma a hipótese de que o raciocínio quantitativo contribui significativamente para a habilidade aritmética. De fato, pode-se pensar que compreender a relação entre as quantidades e entre as operações é necessário para decidir qual procedimento seguir e aplicá-lo corretamente.

Entretanto, é válido destacar que a memória de trabalho não apareceu como preditora do desempenho aritmético de estudantes de 3º e 4º anos. Tal resultado diverge de pesquisas prévias que indicam essa habilidade como explicativa do desempenho matemático ao longo dos anos iniciais do Ensino Fundamental. Uma explicação possível para isso é de que uma maior

demanda da memória de trabalho está vinculada à complexidade da tarefa matemática avaliada. Nesse sentido, o teste utilizado neste estudo para avaliar o desempenho aritmético dos estudantes solicitava apenas a resolução de cálculos com operações, das quais vários alunos já estavam habituados a resolver em sala de aula, por isso a tarefa pode não ter demandado tanto a memória de trabalho dos estudantes. Também é importante salientar que os alunos deixaram em branco cálculos com operações ainda não aprendidas na escola. Esse fato pode ser devido à forma como a matemática é ensinada nas escolas, a qual prioriza o entendimento de uma sequência de passos a ser seguida para resolver determinado algoritmo e, muitas vezes, apenas uma forma de se chegar ao resultado. Então, quando o aluno se depara com um algoritmo do qual desconhece seu procedimento de resolução, acaba desistindo de pensar em uma estratégia para resolvê-lo, não incluindo, assim, maior demanda da memória de trabalho para organizar as informações e elaborar uma estratégia de solução. Outra explicação possível é de que conforme o amadurecimento cognitivo do aluno, isto é, o desenvolvimento do conhecimento, e o avanço nos anos escolares, menos demanda da memória de trabalho é exigida para procedimentos já aprendidos.

Coloca-se como possibilidade, também, que o fato das demais variáveis não aparecerem como preditoras do desempenho aritmético se deve à tarefa considerada para avaliação do desfecho, a qual exigiu pouca leitura e elaboração de estratégias de resolução. Mesmo assim, as habilidades de compreensão leitora e estimativa numérica apresentaram correlação com o desempenho aritmético, indicando que são habilidades importantes para essa aprendizagem, embora não exerçam influência de explicação para tal desempenho. No entanto, a proposta deste estudo foi avaliar a predição a partir de um teste padronizado, o qual mede somente a habilidade em cálculos aritméticos. Assim, outras tarefas que avaliem conhecimentos matemáticos mais abrangentes podem ser necessárias para identificar a predição dessas habilidades em alunos já alfabetizados no contexto brasileiro.

Ao analisar com mais detalhes os achados deste estudo, um ponto que merece atenção é o fato de a transcodificação numérica ter sido a medida com mais alto valor de explicação do desempenho aritmético. Percebe-se, pelas análises, que quando ela é retirada do modelo, o valor de predição das demais variáveis aumenta. Assim, observa-se que a transcodificação numérica possa estar compartilhando esse efeito explicativo. Por isso, uma análise de mediação foi conduzida, confirmando que ela é uma medida intermediária do efeito do raciocínio quantitativo e da consciência fonêmica para o desempenho em aritmética.

Esse fato também elucidava o motivo de a consciência fonêmica, ou mais abrangentemente, a consciência fonológica, estar envolvida na aritmética. Estudos indicam essa

habilidade cognitiva como importante para o desempenho em matemática (HECHT, 2001; SIMMONS, 2008; LOPES-SILVA *et al.*, 2014, 2016), mas pouco ainda é discutido sobre porque essa habilidade estabelece uma relação causal com a aritmética. Portanto, os achados deste estudo auxiliam nesse esclarecimento ao mostrar que a relação entre consciência fonêmica e aritmética é mais explicativa quando mediada pela transcodificação numérica. Isso pode ser explicado pelo fato de a consciência fonêmica envolver diferentes recursos cognitivos, mais do que apenas ser responsável pela qualidade da codificação fonológica (SIMMONS; SINGLETON; HORNE, 2008). Essa habilidade também envolve a retenção da informação fonológica na memória de curto prazo ao mesmo tempo em que essa informação é processada por meio de recursos do executivo central (HECHT *et al.*, 2001; SIMMONS; SINGLETON; HORNE, 2008). Isso, em parte, também é necessário no momento de representar números, pois a identificação de símbolos multidígitos explicitamente requer a transcodificação do número falado, na forma verbal, para o formato escrito em algarismos (HABERMANN *et al.*, 2020). Nesse sentido, as evidências aqui reportadas convergem com as de estudos anteriores que também indicam a transcodificação numérica e a consciência fonêmica como preditoras do desempenho aritmético. Mais do que isso, os resultados descritos vão além de estudos prévios indicando a transcodificação numérica como mediadora da relação causal entre consciência fonêmica e aritmética.

No entanto, algumas limitações devem ser levadas em consideração. Os dados foram coletados em um mesmo ano letivo, o que impediu investigar se essas habilidades estão relacionadas também a mudanças individuais na aprendizagem aritmética dos estudantes ao longo do tempo e se essas habilidades permanecem preditoras em anos escolares posteriores. Todavia, este foi um estudo exploratório e, portanto, esses resultados podem ser confirmados por meio de pesquisas futuras, preferencialmente longitudinais, que possam acompanhar o desempenho aritmético dos estudantes ao longo dos anos escolares e verificar as habilidades cognitivas que permanecem com influência nessa aprendizagem. Além disso, é importante levar em consideração o desempenho matemático de forma mais abrangente, avaliando o conhecimento dos estudantes em outros domínios como resolução de problemas, geometria, álgebra etc., visto que a tarefa avaliada interfere nas habilidades cognitivas que serão demandadas para sua resolução.

Assim, conclui-se que habilidades básicas de identificação de números e sua representação por meio de algarismos são fatores determinantes para a melhor aprendizagem aritmética, visto que saber escrever um número requer o conhecimento do sistema numérico. Mais do que isso, é importante compreender a relação entre as quantidades e entre as operações

para entender o procedimento a seguir em um algoritmo. Apostar no desenvolvimento dessas habilidades, desde o início da escolarização, possibilita ganhos significativos no desempenho aritmético em anos posteriores. Neste estudo, habilidades básicas como essas mostraram-se importantes também na fase final dos anos iniciais do Ensino Fundamental, o que possibilita inferir que desenvolver tais habilidades desde o primeiro ano escolar permite, também, a prevenção de dificuldades matemáticas que eventualmente possam surgir.

Quando se pensa sobre o ensino e a aprendizagem da matemática na escola, uma ideia comum entre os professores e profissionais da educação é de que primeiro os alunos precisam ser ensinados sobre como resolver formalmente cálculos aritméticos para depois lidarem com vários tipos de problemas matemáticos. Por isso, os alunos são ensinados a raciocinar sobre as relações após aprenderem a resolver algoritmos. Porém, os resultados mostraram que o raciocínio quantitativo, ou seja, a compreensão das relações entre as quantidades, é causa de um melhor desempenho em aritmética. Assim, a sugestão é evitar a predominância da aprendizagem por procedimentos, as quais muitas vezes são apresentadas sem conexão com situações do cotidiano, e encorajar as crianças a discutirem os problemas propostos e as relações envolvidas entre as quantidades. Somado a isso, propor tarefas que desenvolvam a compreensão do sistema numérico e o reconhecimento dos números nos seus formatos arábico e verbal.

Em resumo, as evidências aqui relatadas apontam para a importância de habilidades numéricas no desenvolvimento da compreensão aritmética dos estudantes brasileiros. Além disso, este estudo contribui para uma compreensão mais ampla dos processos cognitivos envolvidos na aprendizagem aritmética. Destaca-se, a partir disso, que a compreensão do sistema numérico, bem como a compreensão conceitual da aritmética são fundamentais para o desenvolvimento da aritmética procedimental.

REFERÊNCIAS

ANDERSSON, U. Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 78, n. 2, p. 181–203, 2008.

ANGELINI, A. L. *et al.* **Matrizes Progressivas Coloridas de Raven: Escala Especial**. São Paulo: CETEPP, 1999.

ARAGÓN, E. *et al.* Individual differences in general and specific cognitive precursors in early mathematical learning. **Psicothema**, Astúrias, Espanha, v. 31, n. 2, p. 156–162, 2019.

BADDELEY, A. The episodic buffer: A new component of working memory? **Trends in**

Cognitive Sciences, v. 4, n. 11, p. 417–423, 2000.

BADDELEY, A. Memória de Trabalho. *In*: BADDELEY, A.; ANDERSON, M. C.; EYSENCK, M. W. (org.). **Memória**. Artmed: Porto Alegre, 2011.

BADDELEY, A. D.; HITCH, G. Working Memory. *In*: BOWER, G. H. B. T. (org.). **The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory**. Academic Press: Nova Iorque, 1974. v. 8p. 47–89.

BOOTH, J. L.; SIEGLER, R. S. Developmental and individual differences in pure numerical estimation. **Developmental Psychology**, APA: Washinton, EUA, v. 42, n. 1, p. 189–201, 2006.

BOOTH, J. L.; SIEGLER, R. S. Numerical Magnitude Representations Influence Arithmetic Learning. **Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 79, n. 4, p. 1016–1031, 2008.

BRASIL. Base Nacional Comum (BNCC). **MEC**, Brasília, p. 600, 2018.

BULL, R.; ESPY, K. A.; WIEBE, S. A. Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. **Developmental Neuropsychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 33, n. 3, p. 205–228, 2008.

CANÁRIO, N.; NUNES, M. V. S. Buffer Episódico 10 anos depois: revisão de um conceito. **Revista Neurociências**, 20(2), 311–319, 2012.

CARR, M. *et al.* A longitudinal study of spatial skills and number sense development in elementary school children. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 112, n. 1, p. 53–69, 2020.

CASEY, B. M. *et al.* Girls' Spatial Skills and Arithmetic Strategies in First Grade as Predictors of Fifth-Grade Analytical Math Reasoning. **Journal of Cognition and Development**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 18, n. 5, p. 530–555, 2017.

CHING, B. H.-H.; NUNES, T. The Importance of Additive Reasoning in Children's Mathematical Achievement: A Longitudinal Study. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 190, n. 4, p. 477-508, 20117.

CHU, F. W.; VANMARLE, K.; GEARY, D. C. Predicting children's reading and mathematics achievement from early quantitative knowledge and domain-general cognitive abilities. **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 7, n. 775, p. 1–14, 2016.

DACKERMANN, T. *et al.* An integration of competing accounts on children's number line estimation. **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 6, n. 884, p. 1–7, 2015.

DECKER, S. L.; ROBERTS, A. M. Specific cognitive predictors of early math problem solving. **Psychology in the Schools**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 52, n. 5, p. 477–488, 2015.

DESOETE, A. *et al.* Classification, Seriation, and Counting in Grades 1, 2, and 3 as Two-Year

Longitudinal Predictors for Low Achieving in Numerical Facility and Arithmetical Achievement? **Journal of Psychoeducational Assessment**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 27, n. 3, p. 252–264, 2009.

FUHS, M. W.; HORNBERG, C. B.; MCNEIL, N. M. Specific early number skills mediate the association between executive functioning skills and mathematics achievement. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 52, n. 8, p. 1217–1235, 2016.

GATHERCOLE, S. E. Cognitive Psychology of Memory. *In*: BYRNE, J. H. *et al.* (Eds.) **Learning and Memory: A Comprehensive Reference**, 1 ed., vol. 2, Amsterdã: Elsevier, 2008, p. 33–51.

GEARY, D. C. Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 47, n. 6, p. 1539–1552, 2011.

GEARY, D. C.; HAMSON, C. O.; HOARD, M. K. Numerical and Arithmetical Cognition: A Longitudinal Study of Process and Concept Deficits in Children with Learning Disability. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 77, n. 3, p. 236–263, 2000.

GEARY, D. C.; HOARD, M. K.; HAMSON, C. O. Numerical and Arithmetical Cognition: Patterns of Functions and Deficits in Children at Risk for a Mathematical Disability. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 74, n. 3, p. 213–239, 1999.

GILLON, T. G. **Phonological Awareness: from research to practice**. 2 ed. Nova Iorque: Guilford Publications, 2017, 272 p.

GILMORE, C. *et al.* Understanding arithmetic concepts: The role of domain-specific and domain-general skills. **PLoS ONE**, PLOS: São Francisco, EUA, v. 13, n. 9, p. 1–20, 2018.

HABERMANN, S. *et al.* The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 193, n. 2020, p. 104794, 2020.

HAWES, Z. *et al.* Relations between numerical, spatial, and executive function skills and mathematics achievement: A latent-variable approach. **Cognitive Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 109, n. dez. 2018, p. 68–90, 2019.

HECHT, S. A. *et al.* The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 79, n. 2, p. 192–227, 2001.

KISS, A. J.; NELSON, G.; CHRIST, T. J. Predicting Third-Grade Mathematics Achievement: A Longitudinal Investigation of the Role of Early Numeracy Skills. **Learning Disability Quarterly**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 42, n. 3, p. 161–174, 2019.

KRAJEWSKI, K.; SCHNEIDER, W. Early development of quantity to number-word linkage

as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. **Learning and Instruction**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 19, n. 6, p. 513–526, 2009.

LASKI, E. V.; SIEGLER, R. S. Is 27 a big number? correlational and causal connections among numerical categorization, number line estimation, and numerical magnitude comparison. **Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 78, n. 6, p. 1723–1743, 2007.

LINK, T.; NUERK, H. C.; MOELLER, K. On the relation between the mental number line and arithmetic competencies. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 67, n. 8, p. 1597–1613, 2014.

LOPES-SILVA, J. B. *et al.* Phonemic awareness as a pathway to number transcoding. **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 5, n. jan., p. 1–9, 2014.

LOPES-SILVA, J. B. *et al.* What Is Specific and What Is Shared Between Numbers and Words? **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 7, n. fev., p. 1–9, 2016.

MALONE, S. A.; BURGOYNE, K.; HULME, C. Number knowledge and the approximate number system are two critical foundations for early arithmetic development. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, n. out., 2019.

MOELLER, K. *et al.* Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance—A longitudinal study on numerical development. **Research in Developmental Disabilities**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 32, n. 5, p. 1837–1851, 2011.

MOURA, R. *et al.* Transcoding abilities in typical and atypical mathematics achievers: The role of working memory and procedural and lexical competencies. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 116, n. 3, p. 707–727, 2013.

MOURA, R. *et al.* From “Five” to 5 for 5 Minutes: Arabic Number Transcoding as a Short, Specific, and Sensitive Screening Tool for Mathematics Learning Difficulties. **Archives of Clinical Neuropsychology**, Oxford University Press: Oxford, Inglaterra, v. 30, n. 1, p. 88–98, 2015.

NOBRE, A. de P. *et al.* Tasks for assessment of the episodic buffer: a systematic review. **Psychology & Neuroscience**, 6(3), 331–343, 2013.

NOGUES, C. P.; DORNELES, B. V. Systematic review on the precursors of initial mathematical performance. **International Journal of Educational Research Open**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 2, n. 2(January), p. 1–17, 2021.

NUNES, T. **Teacher notes**. Family-School Partnership to Promote Mathematics for Deaf Children. Oxford: Universidade de Oxford, Departamento de Educação, 2009.

NUNES, T. *et al.* The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. **British Journal of Developmental Psychology**, Wiley: Hoboken, EUA, v. 25, n. 1, p. 147–166, 2007.

NUNES, T. *et al.* **Educação matemática: números e operações numéricas**. Volume 1. 2 ed.

São Paulo: Cortez, 2009. 206 p.

NUNES, T. *et al.* The Relative Importance of Two Different Mathematical Abilities to Mathematical Achievement. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 136-156, 2012.

NUNES, T. *et al.* Teaching and Learning About Whole Numbers in Primary School. *In: ICME-13 Topical Surveys*. Springer: Hamburg, Alemanha, 2016.

PASSOLUNGHI, M. C.; LANFRANCHI, S. Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: A longitudinal study from kindergarten to first grade. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 42-63, 2012.

PASSOLUNGHI, M. C.; VERCELLONI, B.; SCHADEE, H. The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. **Cognitive Development**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 22, n. 2, p. 165-184, 2007.

PICKERING, S. J.; GATHERCOLE, S. E. **Working Memory Test Battery for Children (WMTB-C)**. London: Psychological Corporation, 2001.

SARAIVA, R. A.; MOOJEN, S.; MUNARSKI, R. **Avaliação da compreensão leitora de textos expositivos: para fonoaudiólogos e psicopedagogos**. 3. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2017.

SASANGUIE, D.; VAN DEN BUSSCHE, E.; REYNVOET, B. Predictors for Mathematics Achievement? Evidence from a Longitudinal Study. **Mind, Brain, and Education**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 6, n. 3, p. 119-128, 2012.

SIEGLER, R.; BOOTH, J. Development of numerical estimation in young children. **Child development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 75, n. 2, p. 428-44, 2004.

SIEGLER, R. S.; OPFER, J. The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. **Psychological Science**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 14, n. 3, p. 237-243, 2003.

SIEGLER, R. S.; THOMPSON, C. A.; OPFER, J. E. The logarithmic-to-linear shift: One learning sequence, many tasks, many time scales. **Mind, Brain, and Education**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 3, n. 3, p. 143-150, 2009.

SIMMONS, F.; SINGLETON, C.; HORNE, J. Brief report - Phonological awareness and visual-spatial sketchpad functioning predict early arithmetic attainment: Evidence from a longitudinal study. **European Journal of Cognitive Psychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 20, n. 4, p. 711-722, 2008.

SOARES, M. **Alfabetização: a questão dos métodos**. São Paulo: Contexto, 2019.

STEIN, L. **Teste de Desempenho Escolar: manual para a aplicação e interpretação**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1994.

WONG, T. T.-Y.; HO, C. S.-H. Component Processes in Arithmetic Word-Problem Solving and Their Correlates. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washinton, EUA, v. 109, n. 4, p. 520-531, 2017.

XENIDOU-DERVOU, I. *et al.* Cognitive predictors of children's development in mathematics achievement: A latent growth modeling approach. **Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 21, n. 6, p. 1–14, 2018.

4 INTERVENÇÃO EM RACIOCÍNIO QUANTITATIVO COMO POSSIBILIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO ARITMÉTICO

Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de uma intervenção em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético de estudantes de 4º e 5º anos do Ensino Fundamental. Para isso, 40 crianças foram separadas nos grupos experimental e controle. O grupo experimental participou de um programa de intervenção com foco no raciocínio quantitativo, organizado em 7 sessões, duas vezes por semana e com duração de 45 minutos cada sessão, enquanto o grupo controle participou de sessões envolvendo jogos matemáticos e práticas de *mindfulness*. Os resultados indicaram que não houve efeito significativo da intervenção quando comparados os desempenhos entre os grupos. Entretanto, foi encontrada uma melhora significativa especificamente no desempenho dos alunos de 5º ano que participaram do grupo experimental. Os achados do presente estudo contribuem para a compreensão de princípios instrucionais eficazes e destacam a importância de as práticas de ensino serem baseadas em evidências.

Palavras-chave: Intervenção em raciocínio quantitativo; Aritmética; Desempenho aritmético; Ensino Fundamental.

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of a quantitative reasoning intervention on the arithmetic performance of 4th and 5th graders. For this, 40 children were separated into experimental and control groups. The experimental group participated in an intervention program focused on quantitative reasoning, organized in 7 sessions, twice a week and lasting 45 minutes each session, while the control group participated in sessions involving mathematical games and mindfulness practices. The results indicated that there was no significant effect of the intervention when comparing the performances between groups. However, a significant improvement was found specifically in the performance of 5th grade students who participated in the experimental group. The findings of the present study contribute to the understanding of effective instructional principles and highlight the importance of evidence-based teaching practices.

Keywords: Quantitative reasoning intervention; Arithmetic; Arithmetic performance; Elementary School.

4.1 INTRODUÇÃO

Intervenções matemáticas pautadas em habilidades cognitivas subjacentes à aprendizagem são fundamentais para promover o desempenho matemático dos estudantes e, conseqüentemente, reduzir as dificuldades de aprendizagem nessa área do conhecimento. Estudos têm investigado a aprendizagem da matemática nos primeiros anos escolares e, mais do que isso, tais estudos indicam que existe um interesse em identificar as habilidades cognitivas que são preditoras do desempenho matemático dos estudantes (ARAGÓN *et al.*, 2019; CHING; NUNES, 2017; GEARY, 2011; MALONE; BURGOYNE; HULME, 2019).

Conhecer esses preditores é essencial para desenvolver programas de intervenção em habilidades específicas e que possam atuar com a intenção de prevenir as dificuldades de aprendizagem na matemática (PASSOLUNGHI; COSTA, 2016).

Nesse sentido, algumas intervenções focadas em promover habilidades cognitivas de domínio geral e/ou específico indicam efeitos positivos no desempenho matemático de estudantes dos primeiros anos escolares (FUCHS *et al.*, 2013; NUNES *et al.*, 2007; PASSOLUNGHI; COSTA, 2016; SPERAFICO *et al.*, 2019). Mais especificamente, as evidências mostram que intervenções em habilidades numéricas iniciais – que envolvem contagem, representação na reta numérica, correspondência um-a-um e comparação de quantidades – são eficazes para promover o conhecimento matemático inicial de estudantes de Educação Infantil (PASSOLUNGHI; COSTA, 2016). Somado a isso, o treinamento em senso numérico mostrou resultados significativos para melhorar o desempenho em habilidades numéricas e resolução de problemas, também em estudantes de Educação Infantil (STERNER; WOLFF; HELENIUS, 2020). Outro achado que também se mostrou interessante foi o de Fuchs e colaboradores (2013). Nesse estudo, os autores realizaram um treinamento para promover o conhecimento numérico inicial, envolvendo principalmente cálculos aritméticos, com estudantes do 1º ano do Ensino Fundamental. Os resultados principais indicaram efeitos significativos no desempenho dos alunos em aritmética, conhecimento numérico e problemas matemáticos, além de promoverem o aumento da confiança na recuperação de fatos aritméticos e a capacidade de raciocínio (FUCHS *et al.*, 2013).

A partir desses resultados, percebe-se o quanto uma intervenção em habilidades numéricas iniciais, nos primeiros anos de escolarização, pode beneficiar a aprendizagem dos alunos e melhorar o seu desempenho matemático. Entretanto, em se tratando de crianças em anos escolares mais avançados, outras habilidades também podem ser destacadas como importantes para o desenvolvimento da compreensão matemática, como o raciocínio quantitativo. Essa habilidade requer o desenvolvimento de habilidades numéricas iniciais e ainda exerce influência no desempenho matemático dos estudantes (NUNES *et al.*, 2007, 2012). O raciocínio quantitativo é uma habilidade que envolve a compreensão das relações entre as quantidades envolvidas em um cálculo, sendo necessário para o desenvolvimento do conhecimento aritmético e do sistema numérico (NUNES *et al.*, 2007, 2016). Nesse sentido, faz-se necessário que as crianças entendam as relações estabelecidas entre as quantidades para aprender como representar tanto números quanto quantidades antes de resolver um cálculo aritmético (NUNES *et al.*, 2007; NUNES; BRYANT, 2015). Além disso, estudos também já indicam valor preditivo do raciocínio quantitativo para o desempenho matemático, isto é,

indicando-o como uma habilidade explicativa do desempenho tanto em aritmética quanto na resolução de problemas (NUNES *et al.*, 2007).

Nunes e colaboradores (2007), em um estudo realizado na Inglaterra, combinaram o método longitudinal com o de intervenção. No estudo longitudinal foram avaliadas 59 crianças de 6 anos de idade e os resultados indicaram que o raciocínio quantitativo e a memória de trabalho foram preditores do desempenho matemático, mesmo quando avaliado 16 meses após a avaliação inicial das habilidades cognitivas. No estudo de intervenção foi realizado um programa com foco no raciocínio quantitativo durante 12 semanas, com sessões de 40 minutos e uma vez por semana. Os 27 estudantes de 6 anos de idade participaram das atividades em grupos de no máximo 5 crianças e foram separados em grupo experimental e controle. O programa de intervenção contemplou problemas envolvendo composição aditiva, relação inversa entre adição e subtração e correspondências um-a-um e um-para-muitos. A partir de tal intervenção, foram encontrados resultados significativos na aprendizagem das crianças em risco de desenvolverem dificuldades em matemática, indicando efeitos positivos para o desempenho matemático desses estudantes. Percebe-se, com isso, que a compreensão das relações entre as quantidades forma uma base para a aprendizagem de como representar e operar com essas quantidades, estendendo-se para a instrução escolar e o trabalho em sala de aula.

Esse mesmo programa de intervenção já foi adaptado e aplicado em estudo brasileiro realizado com estudantes com Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade – TDAH (SPERAFICO *et al.*, 2019). Nesse estudo, 46 estudantes de 3º e 4º anos com TDAH foram separados em dois grupos que receberam intervenções diferentes. O objetivo do estudo foi o de comparar os efeitos de uma intervenção combinada de memória de trabalho e raciocínio quantitativo com outra somente em memória de trabalho no desempenho aritmético desses estudantes. As intervenções foram organizadas em 22 sessões que aconteceram duas vezes por semana durante 11 semanas e com duração de uma hora cada sessão, além disso os estudantes participaram em grupos de no máximo 14 alunos. Os resultados indicaram que houve melhora significativa no desempenho dos estudantes, mostrando um efeito maior para a intervenção combinada. Assim, observa-se que esse modelo de intervenção pode beneficiar alunos com TDAH ou com dificuldades em aritmética e, mais do que isso, destaca-se os efeitos positivos de uma intervenção aplicada coletivamente e em ambiente escolar.

A partir disso, nota-se que ainda são necessários estudos que indiquem programas de intervenção com foco nas habilidades preditoras do desempenho matemático para minimizar o número de crianças em risco de desenvolverem dificuldades matemáticas. Também são necessárias pesquisas que mostrem opções para estudantes em níveis escolares mais avançados.

Visto que as dificuldades de aprendizagem podem aparecer em diferentes idades e conteúdos matemáticos, assim a intervenção pode ser necessária em diferentes momentos da vida escolar dos estudantes e relacionada a variadas habilidades matemáticas (KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003). Outrossim, os estudos variam bastante quanto à duração das intervenções, e mais, estudos de revisão da literatura e de meta-análise indicam que o tempo dedicado a esse trabalho específico com estudantes pode ser influenciado pelo conteúdo abordado. Ou seja, quanto mais amplo o domínio a ser trabalhado, mais tempo de intervenção será necessário (KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; MONONEN *et al.*, 2014). Tais estudos indicam que intervenções curtas, isto é, menores do que 12 semanas, são mais eficazes para trabalhar conteúdos específicos ou apenas um domínio. Já intervenções longas, maiores do que 12 semanas, são necessárias para abranger mais conteúdo ou domínios mais amplos (KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; MONONEN *et al.*, 2014).

Outro aspecto importante a ser levado em consideração é a forma de aplicação da intervenção, se feita de forma individual, em pequenos grupos ou com toda a turma. De forma geral, as crianças se beneficiam mais com instruções individuais ou em pequenos grupos (FUCHS; FUCHS; COMPTON, 2012; KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; MONONEN *et al.*, 2014). Entretanto, essa configuração exige maior atenção do professor, mais tempo disponível e recursos para implementação (FUCHS; FUCHS; COMPTON, 2012; KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003), o que não se torna viável em contexto escolar. Portanto, torna-se necessário, também, pensar em estratégias de ensino que possam ser aplicadas em sala de aula com toda a turma. Assim, o professor poderá intervir de forma mais eficiente e mantendo a sua rotina de sala de aula, mas possibilitando instruções gerais e adequações que permitam o acesso a todos os alunos (FUCHS; FUCHS; COMPTON, 2012). Além disso, as habilidades consideradas no pós-teste para avaliar os efeitos das intervenções também fazem diferença nos resultados, isto é, se a eficácia da intervenção é medida com base nas mesmas habilidades em que houve treinamento ou se é avaliada acrescentando-se outras habilidades (RUIZ; BALBI, 2019), podendo inclusive ser por meio de testes padronizados de desempenho geral. Todos esses fatores acarretam dificuldades de generalização e de comparação entre os estudos de intervenção.

A partir dessas evidências, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito de uma intervenção em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético de estudantes de 4º e 5º anos do Ensino Fundamental, levando-se em consideração a possibilidade de aplicação coletiva em sala de aula. Por se tratar de estudantes nos últimos anos dessa etapa da escolarização, optou-se por implementar um programa de intervenção que vise desenvolver habilidades essenciais

para esse momento de aprendizagem da matemática, no qual predominam o estudo dos números e das operações aritméticas (BRASIL, 2018). Assim, o raciocínio quantitativo foi escolhido por envolver implicitamente habilidades numéricas iniciais e por ser indicado na literatura como uma das habilidades cognitivas preditoras do desempenho aritmético. Resultado que também foi confirmado em uma amostra de estudantes brasileiros e que foi reportado no estudo apresentado anteriormente nesta tese (Capítulo 3).

Cabe destacar, ainda, outros tipos de intervenção que não se apoiam em instrução explícita de conteúdos matemáticos, mas que também apresentam resultados interessantes. Dentro dessa abordagem alternativa aparece a instrução baseada em jogos, a qual tem se mostrado produtiva para desenvolver competências quantitativas e numéricas (RAMANI; SIEGLER, 2008; STEBLER *et al.*, 2013; VOGT *et al.*, 2018). Os jogos de tabuleiro e de cartas requerem apenas uma explicação inicial para, em seguida, os estudantes brincarem de forma independente. Por meio dos jogos é possível contextualizar conteúdos matemáticos, permitindo mais envolvimento dos estudantes, além de aprofundar competências numéricas já aprendidas (STEBLER *et al.*, 2013). Por isso, os jogos de tabuleiro e de cartas podem beneficiar a aprendizagem dos estudantes em diferentes momentos. Outros aspectos interessantes da instrução baseada em jogos, são a promoção da interação entre os jogadores e a possibilidade da conversa envolvendo matemática (STEBLER *et al.*, 2013; VOGT *et al.*, 2018). Durante os jogos as crianças também monitoram sua aprendizagem e ajudam uns aos outros no desenvolvimento de uma melhor compreensão das competências matemáticas envolvidas, além de praticarem repetidas vezes as mesmas habilidades (STEBLER *et al.*, 2013; VOGT *et al.*, 2018).

Outra abordagem interessante para promover a aprendizagem matemática é o *mindfulness*, que consiste em práticas e métodos que contribuem para um estado de atenção plena (YOUNG, 2016). Do ponto de vista cognitivo, a literatura demonstra que intervenções de *mindfulness* apresentam melhoras no desempenho da memória de trabalho, especialmente do componente executivo central, e do sistema inibitório (CHIESA; CALATI; SERRETTI, 2011; TANG *et al.*, 2012). Somado a isso, estudos também indicam que essas intervenções reduzem o estresse e a ansiedade vinculados a tarefas matemáticas (LAGUE; EAKIN; DYKEMAN, 2019; NARIMANI *et al.*, 2013; ZENNER; HERRNLEBEN-KURZ; WALACH, 2014). Nesse sentido, diminuir a ansiedade e controlar melhor as emoções ao realizar tarefas matemáticas pode auxiliar a melhorar o desempenho nessa área do conhecimento.

Assim, na intenção de intervir em habilidades preditoras do desempenho matemático com alunos de anos escolares mais avançados, foi verificado o efeito de uma intervenção focada

em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético a partir da comparação dos desempenhos de dois grupos: o experimental, que recebeu a intervenção específica em raciocínio quantitativo, e o controle, que recebeu sessões combinadas de *mindfulness* e jogos matemáticos. Para que ambos os grupos se beneficiassem de alguma forma, o grupo controle também recebeu instrução matemática, porém por meio de atividades lúdicas de ensino e combinada com práticas de *mindfulness*. Essa escolha levou em consideração métodos alternativos e que não se utilizam de instrução explícita dos conceitos matemáticos.

4.2 MÉTODO

4.2.1 Participantes

O total de 40 crianças, entre 9 e 12 anos ($M=10,58$, $DP=0,70$), realizaram por completo todas as tarefas propostas neste estudo. Os participantes são alunos de 4º e 5º anos de uma escola da rede municipal de ensino da cidade de Porto Alegre/RS, a qual foi selecionada por conveniência, visto que esses mesmos alunos também participaram do estudo anterior proposto nesta tese sobre a avaliação das habilidades preditoras do desempenho aritmético. Portanto, do total de 112 alunos matriculados nos dois anos escolares avaliados, 70 entregaram as devidas autorizações dos responsáveis para participação no estudo, dos quais 40 estão de acordo com os critérios para composição da amostra, os quais são: (a) nível intelectual acima do percentil 25 no teste de Matrizes Progressivas Coloridas de Raven – Escala Especial (ANGELINI *et al.*, 1999); e (b) participar de todas as atividades propostas, contendo os dados completos para condução das análises. A caracterização dos participantes do estudo pode ser conferida na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização da Amostra

	Total (N=40)	Experimental (N=22)	Controle (N=18)
	N (%)	N (%)	N (%)
Escolaridade			
4º ano	19 (47,5)	9 (40,9)	10 (55,6)
5º ano	21 (52,5)	13 (59,1)	8 (44,4)
Gênero			
Feminino	25 (62,5)	13 (59,1)	12 (66,7)
Masculino	15 (37,5)	9 (40,9)	6 (33,3)
Idade ¹			
9	10 (25,0)	4 (18,2)	6 (33,3)
10	17 (42,5)	12 (54,5)	5 (27,8)
11	12 (30,0)	5 (22,7)	7 (38,9)
12	1 (2,5)	1 (4,6)	0 (0,0)

¹Média (M) e desvio padrão (DP) das idades: Total ($M=10,58$, $DP=0,70$); Grupo Experimental ($M=10,58$, $DP=0,67$); Grupo Controle ($M=10,57$, $DP=0,76$).

Fonte: Elaborada pela autora

Cabe destacar que, conforme acordado entre pesquisadora e escola, a intervenção foi realizada durante o turno escolar e em sala de aula. Por isso, as atividades propostas foram realizadas com todos os alunos das turmas, porém somente aqueles que entregaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo F), assinado pelos responsáveis, e o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (Anexo G), assinado pelos alunos, foram considerados para composição da amostra deste estudo. A partir do total de turmas disponíveis na escola, duas de 4º ano e três de 5º ano, e levando-se em consideração a quantidade de autorizações recebidas, cada turma participou de um dos grupos de atividades: o grupo controle, que contou com 18 alunos, sendo 10 alunos de uma turma de 4º ano e 8 alunos de uma turma de 5º ano; e o grupo experimental, que contou com 22 alunos, dos quais 9 eram de uma turma de 4º ano e os outros 13 de duas turmas de 5º ano.

Todos os participantes foram avaliados no desempenho aritmético antes e após a intervenção, porém cada grupo recebeu um conjunto de tarefas distinto. O grupo controle participou de atividades lúdicas, combinadas com momento de meditação e jogos matemáticos, e o grupo experimental participou da intervenção em raciocínio quantitativo. O processo de avaliação e intervenção ocorreu no período entre setembro e outubro de 2019.

4.2.2 Procedimentos

A organização do estudo seguiu a sequência descrita a seguir. Em um primeiro momento foi feita a avaliação do desempenho aritmético como pré-teste, anterior à intervenção. Logo após, foi conduzida a intervenção, realizada por dois pesquisadores e organizada em 7 sessões, com frequência de duas vezes por semana e com duração de um período escolar de aproximadamente 45 minutos. Por último, foi avaliado novamente o desempenho aritmético como pós-teste para verificação dos efeitos da intervenção no desempenho dos estudantes. Os participantes foram divididos em dois grupos: o grupo intervenção, que contou com 22 estudantes, e o grupo controle, composto por 18 alunos. Convém mencionar que a organização da intervenção teve que seguir o tempo disponibilizado pela escola para realização das atividades da pesquisa. Portanto, a proposta original, que seriam 11 sessões de intervenção, foi reorganizada e condensada em 7 sessões mais os 2 dias de avaliação destinados para o pré e pós-teste, totalizando 9 encontros.

4.2.3 Avaliação do desempenho aritmético

O desempenho aritmético foi avaliado pelo Subteste de Aritmética do Teste de Desempenho Escolar II – TDE II (STEIN; GIACOMONI; FONSECA, 2019), que é um subteste normatizado para a população brasileira. Esse subteste avalia a habilidade em cálculos aritméticos que, no nível de 1º a 5º ano, envolvem as operações de adição, subtração, multiplicação e divisão, além de noções básicas de frações, como o reconhecimento da fração a partir de uma figura dividida em partes iguais, operações simples e comparação de frações. As crianças realizaram esse subteste coletivamente e em período escolar. A avaliação coletiva do teste considera 26 questões, pontuando o escore bruto como o total de acertos, e não existem critérios de interrupção, ou seja, as crianças são orientadas a resolverem o máximo de questões que puderem no tempo que for necessário.

4.2.4 Atividades do grupo experimental

A intervenção consistiu em um treinamento em raciocínio quantitativo, o qual foi adaptado do material de Nunes (2009) que faz parte do Programa *Numeracy Corner*², desenvolvido por um grupo de pesquisadores do Departamento de Educação da Universidade de Oxford (NUNES, 2009). Como participaram estudantes de 4º e 5º ano, ou seja, de níveis de escolaridade mais avançados do que aqueles para os quais a intervenção original foi elaborada, optou-se por acrescentar mais questões de raciocínio multiplicativo, além das de raciocínio aditivo propostas. Dessa forma, a adaptação do programa de intervenção proposto neste estudo compreendeu a mesma separação das situações de raciocínio quantitativo indicadas em Nunes e colaboradores (2016). A escolha por este programa de intervenção se deu por estar de acordo com princípios teóricos e práticos indicados em literatura recente, pela possibilidade de adaptação à população brasileira e por ser passível de aplicação coletiva e em ambiente escolar. Assim, as sessões de intervenção foram organizadas com nível de dificuldade crescente, conforme exposto no quadro abaixo (Quadro 1).

²Mais informações sobre esse programa, bem como o material na íntegra podem ser consultados em: <https://ndcs.education.ox.ac.uk/ndcs/>

Quadro 1 – Organização das sessões do Grupo Experimental

Sessão	Descrição
1 e 2	<p>Raciocínio Aditivo</p> <p>Tipos de Situação: Composição; Comparação; Relação inversa entre adição e subtração; Transformação</p> <p>Objetivos de aprendizagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Compreender que qualquer número pode ser composto de outros dois números; b) Ser capaz de utilizar um raciocínio lógico para saber como contar; c) Compreender problemas verbais envolvendo adição e subtração; d) Compreender a relação inversa entre adição e subtração; e) Compreender que ao adicionar e subtrair o mesmo número de blocos de uma fileira, o número original de blocos não muda; f) Compreender que ao retirar mais blocos do que os adicionados, a resposta será “menos”; e ao retirar menos do que os colocados, a resposta será “mais”.
3	<p>Raciocínio Aditivo e Multiplicativo</p> <p>Tipos de Situação: Composição; Comparação; Relação inversa entre adição e subtração; Transformação; Relação Direta</p> <p>Objetivos de aprendizagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Compreender a composição de quantidades; b) Compreender a relação inversa entre adição e subtração; c) Compreender como utilizar a contagem de diferentes maneiras para solucionar problemas verbais de adição e subtração; d) Compreender o raciocínio de correspondência um-para-muitos, utilizando desenhos para compreender situações-problema.
4	<p>Raciocínio Aditivo e Multiplicativo</p> <p>Tipos de Situação: Relação inversa entre adição e subtração; Transformação; Relação Direta</p> <p>Objetivos de aprendizagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Compreender a relação inversa entre adição e subtração; b) Compreender problemas verbais de adição e subtração; c) Compreender como utilizar a contagem de diferentes maneiras para solucionar problemas; d) Compreender o raciocínio de correspondência um-para-muitos.
5	<p>Raciocínio Aditivo e Multiplicativo</p> <p>Tipos de Situação: Transformação; Relação direta; Relação inversa; Proporção; Produto de medidas</p> <p>Objetivos de aprendizagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Compreender problemas verbais de adição e subtração; b) Compreender o raciocínio de correspondência um-para-muitos; c) Compreender a relação inversa entre duas quantidades, isto é, que conforme uma quantidade aumenta a outra diminui; d) Identificar a razão entre as partes que formam um todo a partir de uma relação proporcional; e) Utilizar a contagem para resolver situações-problemas de combinação de possibilidades.
6 e 7	<p>Raciocínio Multiplicativo</p> <p>Tipos de Situação: Relação direta; Relação inversa; Proporção; Produto de medidas</p> <p>Objetivos de aprendizagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Compreender o raciocínio de correspondência um-para-muitos; c) Compreender a relação inversa entre duas quantidades, isto é, que conforme uma quantidade aumenta a outra diminui; d) Identificar a razão entre as partes que formam um todo a partir de uma relação proporcional; e) Utilizar a contagem para resolver situações-problemas de combinação de possibilidades.

Fonte: Elaborado pela autora

Como procedimentos, a sessão iniciava-se pela entrega dos cadernos contendo somente os desenhos das situações-problemas a serem trabalhadas no dia, os pesquisadores davam a instrução de forma oral e os estudantes eram solicitados a pensarem individualmente ou conjuntamente em uma forma de solução. A seguir, as soluções dadas pelos alunos eram discutidas com toda a turma e os pesquisadores sistematizavam e explicavam uma ou mais estratégias de solução para cada situação-problema.

4.2.5 Atividades do grupo controle

O grupo controle realizou atividades focadas em *mindfulness*, organizadas a partir de princípios centrais da prática e utilizando métodos de intervenção sistematizados e adaptados para crianças e adolescentes (BIEGEL, 2010; BRODERICK, 2013; HAWN FOUNDATION, 2011; KAISER-GREENLAND, 2010; LYONS; DELANGE, 2016), e jogos matemáticos, que envolveram habilidades básicas relacionadas à performance em aritmética, como comparação de quantidades, correspondência número e quantidade e sequência numérica (RECHSTEINER *et al.*, 2018). As sessões deste grupo foram organizadas primeiramente com 15 a 20 minutos de *mindfulness* e, em seguida, com 25 a 30 minutos de jogos, seguindo a organização e objetivos listados no Quadro 2.

Quadro 2 – Organização das sessões do Grupo Controle

Sessão	Parte 1 – <i>Mindfulness</i>	Parte 2 – Jogos matemáticos
1	<p><i>Não engolir o doce</i> – Uma bala foi entregue aos alunos. Eles foram desafiados a colocá-la na boca e deixá-la, sem a engolir, por cinco minutos.</p> <p>Objetivo: desenvolver o foco e o autocontrole</p>	<p><i>Ao centro</i> – o objetivo do jogo é usar as cartas para mover todas as suas peças ao centro do tabuleiro.</p> <p>Habilidades envolvidas: correspondência de número e quantidade; identificação de números e quantidades.</p>
2	<p><i>Atenção à respiração abdominal</i> – Sentados os alunos foram convidados a fecharem os olhos e concentrarem-se no movimento do abdômen enquanto respiravam, por sete minutos.</p> <p>Objetivo: desenvolver a capacidade de foco e atenção, reduzir o estresse e a ansiedade, aumentar a capacidade de inibir estímulos externos.</p>	<p><i>Ao centro</i> (mesmo jogo da sessão 1).</p>
3	<p><i>Listar os sons do ambiente</i> – Os alunos foram convidados a listar, no papel, todos os sons do ambiente que podiam perceber naquele momento, por cinco minutos.</p> <p>Objetivo: desenvolver a capacidade de foco e atenção seletiva</p>	<p><i>Subir e deslizar</i> – tabuleiro com escadas e escoregadores espalhados na sequência numérica de 1 a 100. O objetivo do jogo é ser o primeiro a chegar no número 100.</p> <p>Habilidades envolvidas: identificação de números e quantidades; adição.</p>

4	<p><i>Estátua</i> – Os alunos foram convidados a movimentar-se pela sala. Ao sinal dos pesquisadores, tinham que formar grupos de acordo com a quantidade de alunos determinada e realizar uma posição também indicada pelos pesquisadores. Por exemplo, era dito “pé com pé, cinco”. Então, os alunos deveriam se organizar em grupos de cinco e encostarem seus pés. Essa configuração deveria ser mantida até um segundo sinal, também dado pelos pesquisadores, o qual liberava os alunos a novamente movimentarem-se pela sala.</p> <p>Objetivo: desenvolver o autocontrole, a consciência corporal e a tolerância de adversidades</p>	<p><i>Mais é mais</i> – o objetivo do jogo é se livrar da sua pilha de cartas. Cada carta pode ser descartada se tiver mais pontos de uma mesma cor do que a carta referência no topo da pilha no centro.</p> <p>Habilidades envolvidas: comparação de quantidades; identificação de números e quantidades.</p>
5	<p><i>Body Scan (Escaneamento corporal)</i> – Os alunos foram convidados a concentrarem-se, de olhos fechados, em determinadas partes do corpo, instruídos pelos pesquisadores.</p> <p>Objetivo: desenvolver a consciência corporal, reduzir o estresse e a ansiedade, desenvolver o foco e atenção seletiva</p>	<p><i>Números vizinhos</i> – O objetivo é colocar diferentes números sucessores e antecessores, criando uma sequência numérica corretamente e eliminando, assim, as próprias cartas o mais rápido possível.</p> <p>Habilidades envolvidas: correspondência de número e quantidade; sequência numérica.</p>
6	<p><i>Copiar o animal</i> – Cada aluno recebeu um cartão com o desenho de um animal. Eles foram instruídos a olharem fixamente para a figura por dois minutos, procurando memorizar todos os detalhes. Após este tempo, a figura foi coberta e eles foram solicitados a escreverem em um papel tudo que se lembravam da figura. Após isso, compararam seu registro com o cartão.</p> <p>Objetivo: desenvolver o foco e a atenção, trabalhar a memória de curto prazo, desenvolver a autopercepção de suas habilidades.</p>	<p><i>High five</i> – montar a sequência numérica de 1 a 10, começando pelo número 5. Para isso, deve-se adicionar uma carta na sequência que seja correspondente ao sucessor ou antecessor do número que está na mesa.</p> <p>Habilidades envolvidas: correspondência de número e quantidade; sequência numérica.</p>
7	<p><i>Não engolir o doce</i> (mesma atividade da sessão 1).</p>	<p><i>Splashing monster</i> – o objetivo é estabelecer o máximo de pares de cartas possível e não terminar o jogo com a carta que contém o monstro. Cada par a ser formado consiste em um número e sua representação em quantidade.</p> <p>Habilidades envolvidas: comparação de quantidades; correspondência de número e quantidade; identificar números e quantidades.</p>

Fonte: Elaborado pela autora

As sessões de *mindfulness* foram pensadas e adaptadas de acordo com a idade dos participantes e com suas possibilidades. Todas as sessões seguiam a mesma estrutura de eventos: introdução, reunindo os alunos em círculo e convidando-os a fecharem os olhos e concentrarem-se no toque de um sino, erguendo a mão quando não mais ouvissem o som do instrumento para, em seguida, os pesquisadores darem início à atividade programada; fala inicial, em que os alunos poderiam manifestar sobre seu estado naquele dia, com o objetivo de aproximá-los dos pesquisadores, também nesse momento a atividade do dia era explicada; atividade principal, na qual era conduzida a tarefa programada baseada em algum princípio de

mindfulness; e fala final, em que os estudantes poderiam relatar suas percepções individuais acerca da experiência e os pesquisadores sistematizavam os objetivos da prática realizada.

Na sequência eram dadas as instruções do jogo matemático proposto para o dia, os alunos eram separados em grupos de até quatro participantes e o material do jogo era distribuído. Os jogos matemáticos foram adaptados de Rechsteiner e colaboradores (2018), com a intenção de aplicar conhecimentos matemáticos iniciais já desenvolvidos pelas crianças nesse nível de escolaridade e que são necessários também para o desenvolvimento do conhecimento aritmético.

4.2.5 Análise dos dados

As análises foram feitas de forma quantitativa, utilizando-se testes estatísticos adequados para verificar os efeitos da intervenção no desempenho aritmético dos estudantes e comparar o desempenho dos grupos experimental e controle. Para isso, por meio do *software* R v.3.6.3, foram realizadas as análises descritivas, considerando média e desvio padrão do desempenho de cada grupo no pré-teste e no pós-teste, análise de consistência interna da avaliação de aritmética nos dois momentos, pré-teste e pós-teste, por meio do teste de alfa de *Cronbach* e condução do teste de correlação de *Pearson* para verificar se pré e pós-teste estariam relacionados. Além disso, também foi conduzido o teste T de *Student* para comparar os desempenhos dos grupos e verificar se a intervenção foi significativa. A amostra também foi separada, em cada grupo, de acordo com o ano escolar e por apresentar ou não dificuldade em matemática. Somado a isso, foi realizado o teste de efeito *d* de Cohen para obter o efeito da intervenção nos casos em que houve melhora significativa no desempenho dos estudantes. Por fim, foi conduzida uma análise de variância mista (ANOVA mista) na intenção de identificar a influência das variáveis ano escolar e presença de dificuldade no resultado da intervenção.

4.3 RESULTADOS

O teste de desempenho aritmético apresentou distribuição normal e bom nível de consistência interna tanto no pré-teste ($\alpha=0,652$) quanto no pós-teste ($\alpha=0,654$). Assim, as medidas utilizadas são confiáveis e normalmente distribuídas. Além disso, a análise de correlação de *Pearson* entre o pré e o pós-teste indicou associação forte entre esses dois momentos de avaliação ($r=0,73$, $p<0,001$).

A hipótese principal do estudo era de que a intervenção em raciocínio quantitativo iria melhorar o desempenho dos estudantes em aritmética. Para isso, o desempenho dos grupos experimental e controle foram comparados. O resultado dessa análise, bem como das análises descritivas de cada grupo podem ser verificados na Tabela 9.

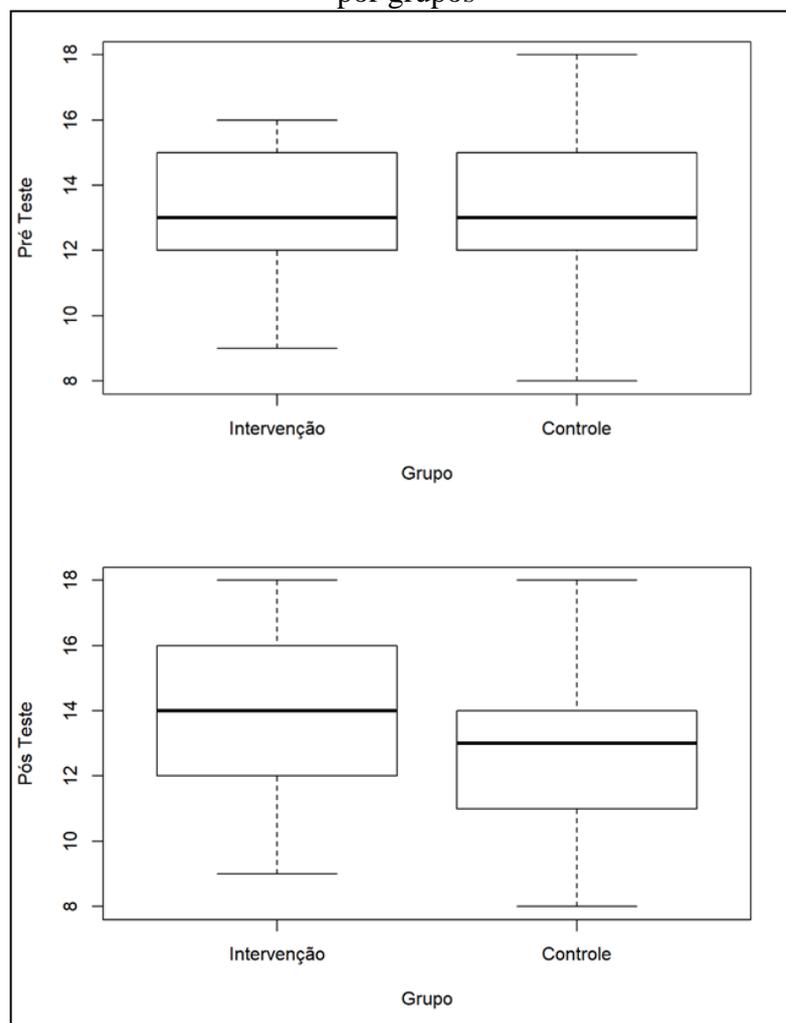
Tabela 9 – Análise descritiva e de comparação entre os grupos experimental e controle

	Experimental		Controle		Comparação	
	Média (DP)	Mín. – Máx.	Média (DP)	Mín. – Máx.	T (df)	p-valor
Pré-teste	13,1 (2,2)	9 – 16	13,0 (2,5)	8 – 18	0,12 (33,7)	0,90
Pós-teste	13,8 (2,9)	9 – 18	12,9 (2,3)	8 – 18	1,12 (38)	0,27

Fonte: Elaborada pela autora

A partir desses resultados, verifica-se que não houve diferença estatística entre os grupos no pós-teste ($t(38)=1,12$, $p=0,27$). Portanto, pode-se afirmar que, como ambos os grupos tiveram médias semelhantes no pós-teste, a intervenção não teve efeito entre grupos (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Desempenho no pré-teste e no pós-teste separado por grupos



Fonte: Elaborado pela autora

Entretanto, ao comparar os resultados intragrupos, ou seja, ao comparar os resultados do pré e do pós-teste separadamente de cada grupo, observa-se que houve diferença estatisticamente significativa apenas para o grupo experimental ($t(21)=2,20$, $p<0,05$), o que indica que os alunos desse grupo obtiveram um aumento no seu desempenho ao final da intervenção, porém com tamanho de efeito pequeno (d de Cohen = 0,24).

Na tentativa de uma explicação mais detalhada dos dados, os participantes do grupo experimental foram separados em relação ao ano escolar e à apresentação ou não de dificuldades em matemática. A classificação dos estudantes com e sem dificuldades em matemática foi feita a partir do escore obtido no subteste de aritmética. Para isso, utilizou-se como critério o percentil 25, que foi calculado com base nos escores dos participantes, isto é, a partir da distribuição dos dados da amostra. Assim, os estudantes abaixo do percentil 25 foram considerados como com dificuldades (CD) e os acima desse percentil como sem dificuldades em matemática (SD). Essa classificação dos alunos pode ser verificada na Tabela 10 para cada um dos grupos, considerando também a separação por ano escolar.

Tabela 10 – Classificação dos participantes em cada grupo

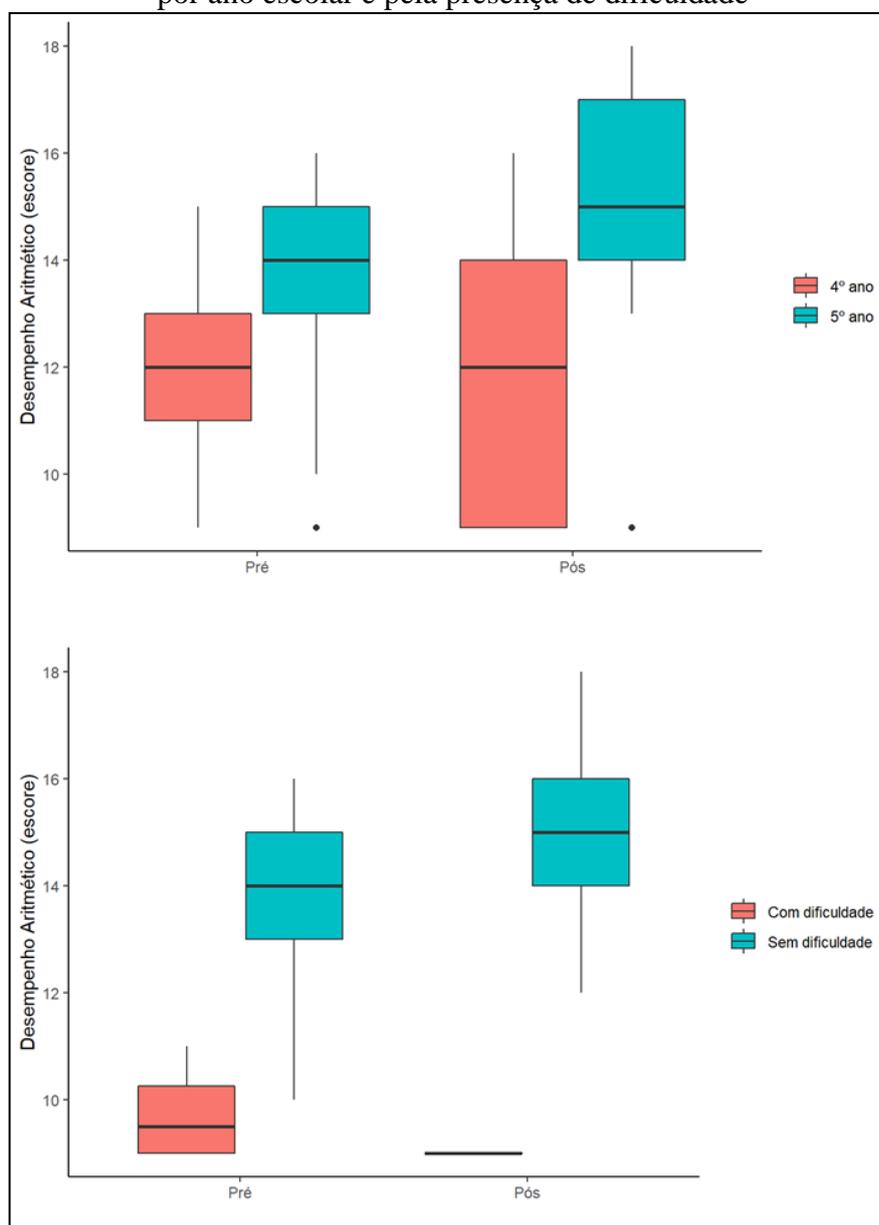
	Grupo Experimental				Grupo Controle			
	CD	SD	4º ano	5º ano	CD	SD	4º ano	5º ano
N	4	18	9	13	5	13	10	8
Pré-teste	9,7	13,8	12,2	13,7	11,6	13,5	12,3	13,9
Média (DP)	(1,0)	(1,6)	(2,0)	(2,1)	(3,4)	(2,1)	(2,6)	(2,4)
Pós-teste	9,0	14,9	11,9	15,2	10,2	13,9	12,7	13,1
Média (DP)	(0,0)	(1,9)	(2,5)	(2,4)	(1,3)	(1,7)	(2,4)	(2,5)

Fonte: Elaborada pela autora

Em seguida, a partir dessa classificação, o desempenho dos estudantes foi novamente comparado, mas considerando apenas o grupo experimental, pois apresentou resultados significativos intragrupo. Assim, foi encontrada diferença significativa em relação à presença ou não de dificuldades em matemática ($t(17)=-12,9$, $p<0,001$), isto é, os alunos sem dificuldades apresentaram desempenhos superiores aos estudantes com dificuldades no pós-teste, como esperado. Além disso, quando comparados apenas os desempenhos entre os testes dos estudantes sem dificuldades, foi identificado um aumento significativo do número de acertos do pré para o pós-teste ($t(17)=3,04$, $p<0,05$), com efeito médio de intervenção (d de Cohen = 0,56). Portanto, os estudantes sem dificuldades em matemática no grupo experimental melhoraram seus desempenhos em aritmética ao final da intervenção. O mesmo não pode ser concluído para os estudantes com dificuldade, já que não foi encontrada diferença significativa entre os desempenhos no pré e no pós-teste ($t(3)=-1,57$, $p=0,21$).

Essa mesma análise foi feita considerando a classificação por ano escolar. Primeiramente, foi identificada diferença significativa entre os desempenhos dos estudantes de 4º e 5º ano ($t(16,8)=-3,04$, $p<0,01$), o que indica que o 5º ano teve desempenho superior ao 4º ano no pós-teste. Mais do que isso, apenas os estudantes de 5º ano que participaram do grupo experimental apresentaram melhoras significativas no desempenho do pré para o pós-teste ($t(12)=-3,63$, $p<0,01$), com efeito grande de intervenção (d de Cohen = 1,008). Para os estudantes de 4º ano, esse resultado não foi evidenciado ($t(8)=1$, $p=0,35$), ou seja, esses estudantes não apresentaram melhoras significativas do pré-teste para o pós-teste. Esses resultados também podem ser observados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Desempenho aritmético do Grupo Experimental separado por ano escolar e pela presença de dificuldade



Fonte: Elaborado pela autora

Assim, levantou-se a hipótese de que o ano escolar fosse uma variável de confundimento, podendo exercer algum viés no efeito do teste, isto é, de que essa melhora de desempenho apresentada no grupo experimental, de forma geral, se devia ao fato do 5º estar apresentando resultados melhores. Portanto, para testar essa hipótese, foi conduzida uma análise de variância mista (ANOVA mista), considerando as variáveis desempenho aritmético, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, e ano escolar. A partir disso, o resultado aponta que a variável ano escolar foi significativa ($F(20,1)=6,2, p<0,05$), ou seja, o ano escolar influenciou no resultado do grupo de forma geral. Portanto, o desempenho dos alunos de 5º ano, por ter sido melhor tanto no pré-teste quanto no pós-teste, foi suficiente para acarretar esse resultado significativo dos participantes do grupo experimental.

4.4 DISCUSSÃO

O objetivo do estudo descrito foi verificar o efeito de uma intervenção em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético. Assim, o desempenho dos estudantes foi avaliado em pré e pós-teste e comparado entre grupos experimental e controle. O grupo experimental participou de sete sessões focadas no raciocínio quantitativo, enquanto o grupo controle participou de sete sessões envolvendo *mindfulness* e jogos matemáticos. Como hipótese, esperava-se que o grupo experimental apresentasse um desempenho melhor do que o grupo controle ao final da intervenção, visto que foi uma intervenção adaptada e baseada na literatura e partindo de uma das habilidades preditoras do desempenho aritmético, porém essa hipótese não foi confirmada.

Um resultado importante a ser destacado é que os estudantes do grupo experimental melhoram seus desempenhos aritméticos de forma significativa do pré para o pós-teste. Mais do que isso, esse aumento no desempenho foi verificado somente entre os estudantes de 5º ano. Isto sugere que é uma intervenção efetiva para beneficiar o desempenho aritmético, principalmente dos estudantes mais velhos, o que corrobora estudos anteriores que indicaram que uma intervenção em raciocínio quantitativo é eficaz para melhorar o desempenho matemático em testes padronizados (NUNES *et al.*, 2007; SPERAFICO *et al.*, 2019). Entretanto, não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos experimental e controle, isto é, esse aumento de desempenho do grupo experimental no pós-teste não foi suficiente para apresentar diferença significativa do grupo controle, divergindo dos achados principais de pesquisas de intervenção na mesma habilidade (NUNES *et al.*, 2007;

SPERAFICO *et al.*, 2019). Portanto, não é possível afirmar que uma intervenção em raciocínio quantitativo é mais eficaz do que *mindfulness* e jogos matemáticos. Assim, apresentam-se três possíveis razões que podem explicar os resultados deste estudo.

Como primeira razão, salienta-se que existe a possibilidade de que uma intervenção semelhante, porém mais longa, pudesse apresentar resultados mais consistentes e efeito significativo, visto que o conteúdo abordado na intervenção foi muito abrangente, envolvendo vários tipos de situações de raciocínio aditivo e multiplicativo. Pode-se levantar como possibilidade que as sete sessões agrupando muitas situações diversas de raciocínio quantitativo possa ter sido uma decisão ambiciosa. Então, considera-se a possibilidade de ter sido muita informação nova para esses estudantes entenderem em tão pouco tempo. Por isso, sugere-se que esse mesmo programa de intervenção, mas com mais sessões possa apresentar melhoras significativas no desempenho aritmético dos estudantes, conforme já apontado pela literatura que, para domínios mais amplos do conhecimento, exige-se mais tempo de duração das intervenções (KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; MONONEN *et al.*, 2014).

Em segundo lugar, a configuração de aplicação da intervenção também pode ter influenciado o aproveitamento dos estudantes, visto que a intervenção foi aplicada coletivamente com toda a turma. Estudos indicam menores efeitos para intervenções aplicadas com o grupo total de alunos da turma (FUCHS; FUCHS; COMPTON, 2012; KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003; MONONEN *et al.*, 2014), pois esse fator limita o benefício da intervenção, uma vez que a avaliadora não consegue dar a adequada atenção para todos os alunos, além de ser necessário mais tempo e recursos para a configuração de aplicação coletiva no grande grupo (FUCHS; FUCHS; COMPTON, 2012; KROESBERGEN; VAN LUIT, 2003).

Por último, destaca-se também que a avaliação do efeito da intervenção, quando realizada por meio de testes padronizados, apresenta efeitos menores do que quando avaliada por testes informais de pesquisa, que incluem medidas presentes ao longo da própria intervenção (DE BOER; DONKER; VAN DER WERF, 2014; RUIZ; BALBI, 2019). Entretanto, a hipótese deste estudo era verificar o efeito da intervenção especificamente do desempenho aritmético e, por isso, utilizou-se o teste padronizado que avalia a habilidade aritmética dos estudantes.

Como limitações, indica-se o tempo de duração da intervenção ter sido muito curto para a quantidade de conteúdo abordado, menor do que o planejado inicialmente devido a intercorrências escolares; também a falta da avaliação do raciocínio quantitativo antes e após a intervenção, pois, com isso, possibilitaria a verificação do efeito da intervenção na própria habilidade ensinada durante as sessões.

Ainda assim, a construção de evidências sólidas em relação a intervenções voltadas para o desenvolvimento do conhecimento aritmético dos estudantes pode auxiliar as escolas a incorporarem estratégias mais eficazes de ensino. A habilidade de raciocínio quantitativo, que é essencial para a proficiência aritmética, carece de mais compreensão pelos professores para que seja possível o seu ensino em sala de aula, considerando as necessidades e conhecimentos prévios dos alunos. Por meio do raciocínio quantitativo é desenvolvida a compreensão das relações entre as quantidades envolvidas em um cálculo aritmético, o que permite dar sentido aos algoritmos tradicionais ensinados. Os achados deste estudo não são suficientes para fornecer evidências consistentes para orientar a prática de ensino na escola, assim, precisa-se de mais pesquisas que considerem intervenções em raciocínio quantitativo para instruir os professores na condução de estratégias de ensino baseadas em evidências.

Sugere-se, portanto, que em pesquisas futuras sejam elaborados programas de intervenção mais longos, levando em consideração a quantidade de conteúdos abordados e os anos escolares a serem avaliados. Além disso, é importante também considerar os efeitos das intervenções em raciocínio quantitativo a longo prazo. Para tal são necessários estudos longitudinais que avaliem a eficácia do ensino do raciocínio quantitativo em diferentes momentos do desenvolvimento do conhecimento matemático. Também há a necessidade de mais pesquisas baseadas na implementação de diferentes programas de intervenção em raciocínio quantitativo para avaliar suas implicações na aprendizagem. Mais do que isso, é fundamental que as próximas pesquisas estejam atentas para a aplicabilidade dos programas de intervenção em contextos reais de sala de aula, que é um dos objetivos principais e meta final da pesquisa em educação.

REFERÊNCIAS

ANGELINI, A. L. *et al.* **Matrizes Progressivas Coloridas de Raven: Escala Especial**. São Paulo: CETEPP, 1999.

ARAGÓN, E. *et al.* Individual differences in general and specific cognitive precursors in early mathematical learning. **Psicothema**, Astúrias, Espanha, v. 31, n. 2, p. 156–162, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7334/psicothema2018.306>

BIEGEL, G. **The stress reduction workbook for teens: Mindfulness skills to help you deal with stress**. Oakland: New Harbinger Publications, 2010.

BRASIL. Base Nacional Comum (BNCC). **Mec**, Brasília, p. 600, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

BRODERICK, P. C. **Learning to breathe: A mindfulness curriculum for adolescents to cultivate emotion, regulation, attention and performance.** Oakland: New Harbinger Publications, 2013.

CHIESA, A.; CALATI, R.; SERRETTI, A. Does mindfulness training improve cognitive abilities? A systematic review of neuropsychological findings. **Clinical Psychology Review**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 31, n. 3, p. 449–464, 2011.

CHING, B. H.-H.; NUNES, T. The Importance of Additive Reasoning in Children's Mathematical Achievement: A Longitudinal Study. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 190, n. 4, p. 477-508, 20117.

DE BOER, H.; DONKER, A. S.; VAN DER WERF, M. P. C. Effects of the Attributes of Educational Interventions on Students' Academic Performance: A Meta-Analysis. **Review of Educational Research**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 84, n. 4, p. 509–545, 2014.

FUCHS, L. S. *et al.* Effects of First-Grade Number Knowledge Tutoring With Contrasting Forms of Practice. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 105, n. 1, p. 58–77, 2013.

FUCHS, L. S.; FUCHS, D.; COMPTON, D. L. The Early Prevention of Mathematics Difficulty: Its Power and Limitations. **Journal of Learning Disabilities**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 45, n. 3, p. 257–269, 2012.

GEARY, D. C. Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. **Developmental Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 47, n. 6, p. 1539–1552, 2011.

HAWN FOUNDATION. **The MindUP curriculum: Brain-focused strategies for learning and living.** Nova Iorque: Scholastic, 2011.

KAISER-GREENLAND, S. **The mindful child: How to help your kid manage stress and become happier, kinder and more compassionate.** Nova Iorque: Simon and Schister, 2010.

KROESBERGEN, E. H.; VAN LUIT, J. E. H. Mathematics Interventions for Children with Special Educational Needs: A Meta-Analysis. **Remedial and Special Education**, SAGE Publications: Thousand Oaks, EUA, v. 24, n. 2, p. 97–114, 2003.

LAGUE, A.; EAKIN, G.; DYKEMAN, C. The impact of mindfulness-based cognitive therapy on math anxiety in adolescents. **Preventing School Failure**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 63, n. 2, p. 142–148, 2019.

LYONS, K. E.; DELANGE, J. The Effects of Mindfulness Training on Brain Development and Behavior in Children and Adolescents. *In*: SCHONERT-REICHL, K. A.; ROESER, R. W. (org.). **Handbook of Mindfulness in Education: Integrating Theory and Research into Practice.** Springer: Berlim, Alemanha, 2016.

MALONE, S. A.; BURGOYNE, K.; HULME, C. Number knowledge and the approximate number system are two critical foundations for early arithmetic development. **Journal of**

Educational Psychology, APA: Washington, EUA, 2019.

MONONEN, R. *et al.* A Review of Early Numeracy Interventions for Children at Risk in Mathematics. **International Journal of Early Childhood Special Education**, [S. l.], v. 6, n. 1, 2014.

NARIMANI, M. *et al.* The Effectiveness of Training Acceptance/Commitment and Training Emotion Regulation on High-Risk Behaviors of Students with Dyscalculia. **International Journal of High Risk Behaviors and Addiction**, Kowsar: Irã, v. 2, n. 2, p. 51–8, 2013.

NUNES, T. *et al.* The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. **British Journal of Developmental Psychology**, Wiley: Hoboken, EUA, v. 25, n. 1, p. 147–166, 2007.

NUNES, T. **Teacher Notes**. Family-School Partnership to Promote Mathematics for Deaf Children. Oxford: Universidade de Oxford, Departamento de Educação, 2009.

NUNES, T. *et al.* The Relative Importance of Two Different Mathematical Abilities to Mathematical Achievement. **British Journal of Educational Psychology**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 82, n. 1, p. 136-156, 2012.

NUNES, T. *et al.* Teaching and Learning About Whole Numbers in Primary School. *In: ICME-13 Topical Surveys*. Springer: Hamburg, Alemanha, 2016.

NUNES, T.; BRYANT, P. The Development of Mathematical Reasoning. **Handbook of Child Psychology and Developmental Science**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, p. 1–48, 2015.

PASSOLUNGHI, M. C.; COSTA, H. M. Working memory and early numeracy training in preschool children. **Child Neuropsychology**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 22, n. 1, p. 81–98, 2016.

RAMANI, G. B.; SIEGLER, R. S. Promoting Broad and Stable Improvements in Low-Income Children ' s Numerical Knowledge Through Playing Number Board Games. **Child Development**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 79, n. 2, p. 375–394, 2008.

RECHSTEINER, K. *et al.* **Play-based early mathematics: Instruction manual for the play-based early mathematics board and card games**. St Gallen: University of Education, 2018.

RUIZ, C.; BALBI, A. The effects of teaching mental calculation in the development of mathematical abilities. **Journal of Educational Research**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 112, n. 3, p. 315–326, 2019.

SPERAFICO, Y. L. *et al.* Combined Intervention of Working Memory and Arithmetic Reasoning in Students with ADHD. **International Journal of Disability, Development and Education**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, 2019.

STEBLER, R. *et al.* Play-Based Mathematics in Kindergarten. A Video Analysis of Children's Mathematical Behaviour While Playing a Board Game in Small Groups. **J Math**

Didakt, Springer: Berlim, Alemanha, v. 34, p. 149–175, 2013.

STEIN, L. M.; GIACOMONI, C. H.; FONSECA, R. P. **TDE II: Teste de Desempenho Escolar**. 2. ed. São Paulo: Vetor Editora, 2019.

STERNER, G.; WOLFF, U.; HELENIUS, O. Reasoning about Representations: Effects of an Early Math Intervention. **Scandinavian Journal of Educational Research**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 64, n. 5, p. 782–800, 2020.

TANG, Y. Y. *et al.* Improving Executive Function and Its Neurobiological Mechanisms Through a Mindfulness-Based Intervention: Advances Within the Field of Developmental Neuroscience. **Child Development Perspectives**, Wiley Online Library: Hoboken, EUA, v. 6, n. 4, p. 361–366, 2012.

VOGT, F. *et al.* Learning through play–pedagogy and learning outcomes in early childhood mathematics. **European Early Childhood Education Research Journal**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, v. 26, n. 4, p. 589–603, 2018.

YOUNG, S. What Is Mindfulness? A Contemplative Perspective. *In: Handbook of Mindfulness in Education: Integrating Theory and Research into Practice*. Springer: Berlim, Alemanha, p. 29–45. *E-book*.

ZENNER, C.; HERRNLEBEN-KURZ, S.; WALACH, H. Mindfulness-based interventions in schools-A systematic review and meta-analysis. **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 5, n. jun., 2014.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aprendizagem da matemática envolve diversos processos cognitivos que, quando conhecidos, permitem tanto o diagnóstico efetivo das habilidades matemáticas do aluno quanto a elaboração de programas de intervenção que visem prevenir ou remediar as dificuldades nessa área do conhecimento. Dentro do campo de pesquisa da psicologia cognitiva, muitas evidências estão sendo encontradas sobre as habilidades cognitivas subjacentes ao desenvolvimento do conhecimento numérico e, mais do que isso, habilidades que influenciam o bom desempenho em matemática.

Nesse sentido, a presente tese de doutorado se propôs reunir tais evidências de forma sistemática, avaliar as habilidades explicativas do desempenho aritmético, bem como investigar os efeitos de uma intervenção em raciocínio quantitativo com estudantes dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. A intenção maior foi de realizar estudos complementares que permitissem uma compreensão abrangente sobre o assunto de habilidades cognitivas como precursoras do desempenho aritmético. Para isso, três estudos foram conduzidos e os resultados principais são discutidos na sequência.

O primeiro estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre as habilidades cognitivas precursoras do desempenho aritmético de estudantes de Educação Infantil até 5º ano. A partir da síntese dos artigos incluídos na análise, destaca-se o aumento de publicações nesse assunto na última década. Também se sublinha que prevaleceram estudos longitudinais e com amostras da Educação Infantil. Dentre as habilidades cognitivas, as mais frequentemente indicadas como preditoras do desempenho matemático e que prevaleceram em todos os anos escolares, da Educação Infantil até 5º ano, foram nível intelectual, memória de trabalho, estimativa numérica, contagem e habilidades numéricas iniciais (comparação de quantidades, transcodificação numérica e senso numérico). Vale ressaltar que estudos de diferentes países obtiveram resultados semelhantes ao mostrar algumas habilidades em comum como preditoras do desempenho matemático. Isso permite pensar que independentemente da língua falada, de fatores culturais e socioeconômicos, as mesmas habilidades influenciam o desempenho matemático dos alunos.

Para investigar o assunto em uma realidade brasileira, foi conduzido o segundo estudo apresentado nesta tese, no qual foram avaliadas habilidades de domínio geral e específico como preditoras do desempenho aritmético de alunos de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. Os achados indicam que consciência fonêmica, transcodificação numérica e raciocínio quantitativo foram as habilidades preditoras do desempenho aritmético. Isso converge com estudos

anteriores que mostraram a consciência fonológica, em que se insere a consciência fonêmica, como explicativa da realização em cálculos aritméticos simples (HABERMANN *et al.*, 2020; HECHT *et al.*, 2001), juntamente com a habilidade de transcodificação numérica indicada como essencial para o desenvolvimento de habilidades aritméticas posteriores. A explicação do raciocínio quantitativo para o desempenho matemático, incluindo cálculos e resolução de problemas simples, também já foi apontada anteriormente (CHING; NUNES, 2017; NUNES *et al.*, 2007), o que respalda os achados do presente trabalho e reforça sua influência para o desempenho aritmético por meio da compreensão das relações entre quantidades. Quando observada com mais detalhes a relação entre essas três medidas e a proficiência em aritmética, percebeu-se que a transcodificação numérica é mediadora da relação da consciência fonêmica e do raciocínio quantitativo com o desempenho aritmético. Ou seja, a habilidade de identificar e escrever os números, passando de um formato verbal (número falado) para um formato arábico (número escrito), requer a consciência fonológica para sua compreensão e correta transcodificação, corroborando estudos que indicam a relação entre consciência fonológica e transcodificação numérica (LOPES-SILVA *et al.*, 2014, 2016). Ao mesmo tempo, durante a realização de cálculos apresentados oralmente, como foi o caso do raciocínio quantitativo nesta pesquisa, a transcodificação numérica também será exigida para o reconhecimento das quantidades envolvidas e escrita apropriada dos números no cálculo, auxiliando na identificação das relações estabelecidas entre as quantidades (raciocínio quantitativo) e, conseqüentemente, na execução adequada das tarefas aritméticas.

Com base nos resultados desse segundo estudo, foi selecionada uma das habilidades preditoras investigadas para conduzir uma intervenção com os mesmos estudantes do estudo anterior, que no momento das atividades já estavam nos 4º e 5º anos do Ensino Fundamental. A partir da análise dos efeitos de uma intervenção em raciocínio quantitativo no desempenho aritmético dos estudantes, observou-se que os desempenhos dos grupos experimental e controle não diferiram significativamente entre si. Entretanto, o grupo experimental apresentou um avanço estatisticamente significativo do pré para o pós-teste e esse aumento no desempenho foi mais evidente entre os alunos de 5º ano. Os resultados dessa intervenção divergem de estudos anteriores que indicaram que um programa de atividades voltado para o desenvolvimento do raciocínio quantitativo é eficaz para melhorar o desempenho dos estudantes inclusive em testes padronizados de desempenho matemático (NUNES *et al.*, 2007; SPERAFICO *et al.*, 2019). No entanto, considera-se que a quantidade de sessões foi pequena para abranger todos os conteúdos abordados, o que pode ter influenciado no melhor aproveitamento das atividades por parte dos alunos.

Não obstante, convém mencionar que as limitações de cada estudo já foram apontadas em seus respectivos capítulos, entretanto duas limitações gerais desta pesquisa ainda são referidas. Como primeira limitação, atenta-se para o fato de que o segundo estudo apresentado, o estudo de avaliação das habilidades preditoras, foi realizado antes da revisão sistemática. Isso ocorreu devido à coleta de dados ser compartilhada com outro estudo também pertencente ao projeto mais amplo citado na introdução desta tese. Portanto, a escolha das habilidades se deu de forma prévia aos resultados da revisão sistemática, mesmo assim, essa seleção esteve de acordo com a síntese da literatura, uma vez que foram consideradas habilidades de domínio específico e geral comumente avaliadas em outros estudos – transcodificação numérica como representante de habilidades numéricas iniciais, estimativa numérica e memória de trabalho –, bem como habilidades com resultados controversos ou escassos – raciocínio quantitativo, compreensão leitora e consciência fonêmica como representante da consciência fonológica.

Outra limitação é em relação ao estudo de intervenção, terceiro estudo apresentado nesta tese, no qual foi considerada somente uma das habilidades indicadas como preditoras no estudo anterior. Essa escolha se deu por conta da quantidade de crianças participantes e pelo tempo disponibilizado pela escola para finalização das atividades da pesquisa. Apesar disso, os resultados do estudo sugerem maneiras de enriquecer a prática pedagógica com recursos simples, enfatizando a eficácia da instrução explícita e da estimulação do raciocínio quantitativo por meio da socialização das estratégias de solução entre os colegas.

Esta pesquisa evidencia habilidades cognitivas preditoras do desempenho aritmético por meio de três vias, pela teórica, seguida da avaliativa e confirmada pela interventiva. Até onde se tem conhecimento, esta é a primeira pesquisa brasileira nesse assunto e com essa abordagem. Os achados, em parte, corroboram estudos prévios na área e contribuem para a comunidade científica ao trazerem novos dados acerca do desenvolvimento aritmético dos estudantes de Anos Iniciais. No entanto, o estudo de revisão sistemática indicou alguns fatores que podem influenciar resultados e interpretações de pesquisas na área. Um deles se refere às diferentes definições sobre um mesmo conceito, como memória de trabalho, senso numérico e o próprio desempenho matemático, que em alguns estudos é considerado somente como cálculos aritméticos e em outros como um desempenho geral de matemática, incluindo outros conceitos além das quatro operações matemáticas. A falta de instrumentos de avaliação padronizados também é outro fator que influencia nas pesquisas. Existem diversos instrumentos para avaliar uma mesma habilidade e poucos são normatizados, o que pode ocasionar diferenças nos resultados, além de dificultar comparações diretas entre os estudos.

A aproximação, ainda insuficiente, entre as pesquisas e a prática escolar é mais um fator preocupante na área. Uma tentativa de transferir as evidências científicas para a prática em sala de aula pode ser por meio da adequação e do compartilhamento de conceitos e vocabulário entre os dois âmbitos (SIMPLICIO *et al.*, 2020). Esse caminho de aproximação pode ser feito pelas duas vias: tanto a pesquisa tem de ser realizada de forma mais adequada ao cotidiano escolar, levando em consideração também fatores ambientais e não cognitivos; assim como esse movimento também tem que partir dos profissionais da educação, ao inserir as indicações das pesquisas em suas práticas (SIMPLICIO *et al.*, 2020). Assim, esse compartilhamento de necessidades entre teoria e prática, caracterizam a interdisciplinaridade das pesquisas, o que possibilita a colaboração entre ambos.

Por fim, esta tese construída por meio de estudos complementares contribui para a comunidade científica pela sistematização de evidências, o que facilita a consulta no assunto abordado por parte dos pesquisadores e professores. Além de indicar de forma concisa as habilidades cognitivas, tanto de domínio geral quanto de domínio específico, que são precursoras do desempenho matemático e que são apontadas frequentemente na literatura. Por meio disso, é possível fortalecer o planejamento de intervenções baseadas em evidências, além de auxiliar na avaliação da aprendizagem ao indicar como possibilidade a inclusão dessas habilidades no diagnóstico. Mais ainda, confirma-se a importância de algumas habilidades no desenvolvimento aritmético de estudantes brasileiros, sugerindo-se, com isso, a inserção de tais habilidades no ensino escolar para favorecer a assimilação dos conceitos numéricos trabalhados na escola e, conseqüentemente, desenvolver a aprendizagem matemática de forma a viabilizar o sucesso matemático dos estudantes.

REFERÊNCIAS

CHING, B. H.-H.; NUNES, T. The Importance of Additive Reasoning in Children's Mathematical Achievement: A Longitudinal Study. **Journal of Educational Psychology**, APA: Washington, EUA, v. 190, n. 4, p. 477-508, 20117.

HABERMANN, S. *et al.* The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 193, n. 2020, p. 104794, 2020.

HECHT, S. A. *et al.* The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. **Journal of Experimental Child Psychology**, Elsevier: Amsterdã, Holanda, v. 79, n. 2, p. 192-227, 2001.

LOPES-SILVA, J. B. *et al.* Phonemic awareness as a pathway to number transcoding. **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 5, n. jan., p. 1–9, 2014.

LOPES-SILVA, J. B. *et al.* What Is Specific and What Is Shared Between Numbers and Words? **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 7, n. fev., p. 1–9, 2016.

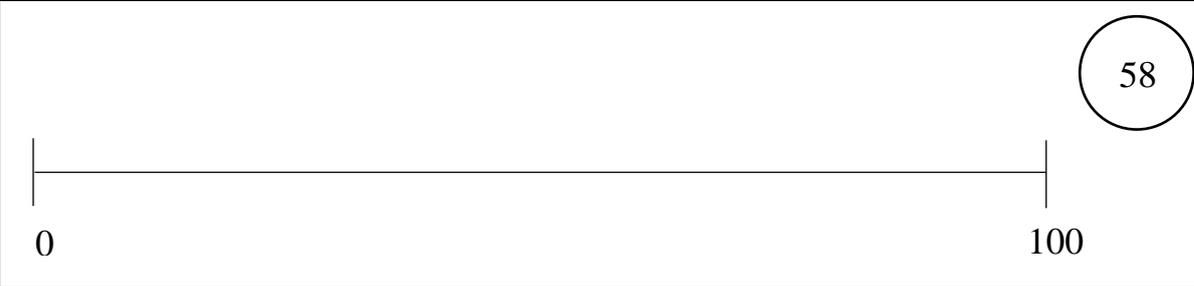
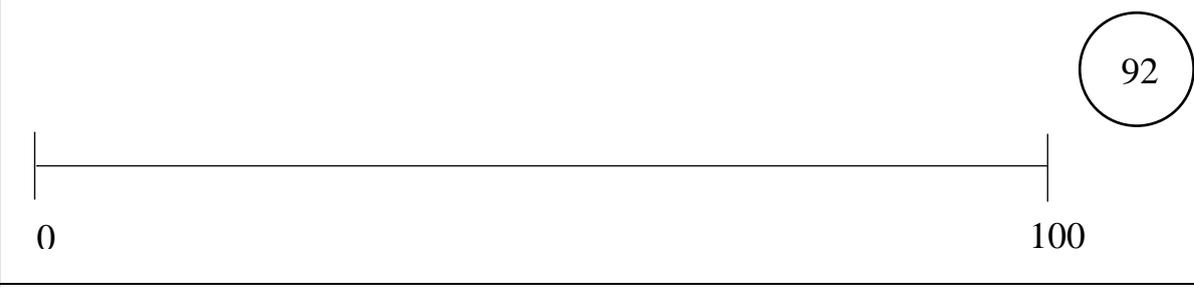
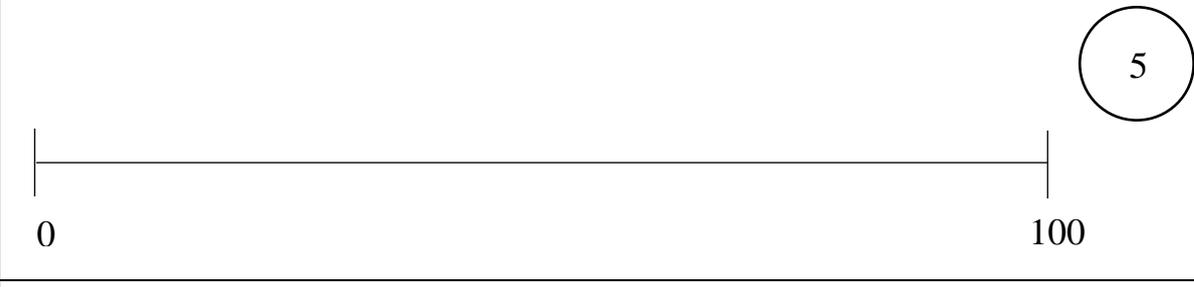
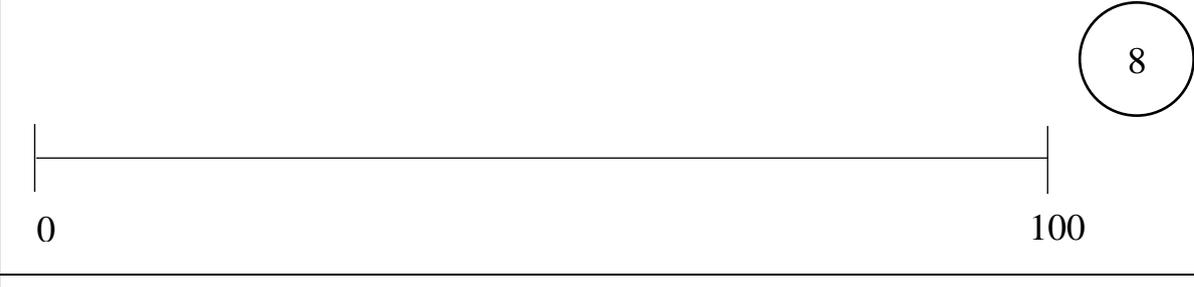
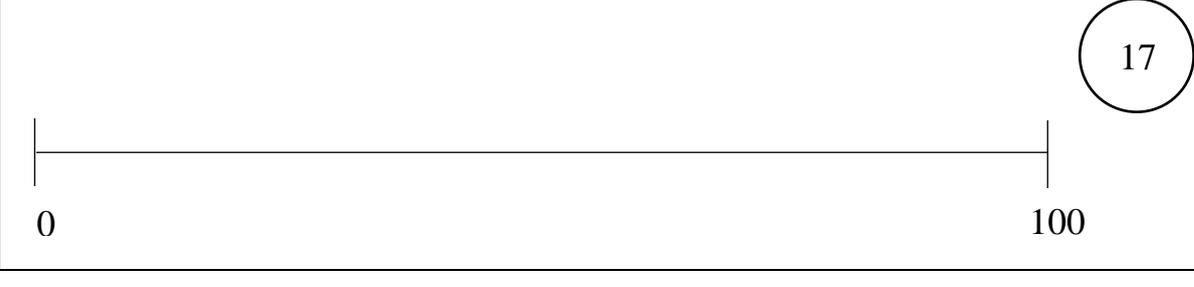
NUNES, T. *et al.* The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. **British Journal of Developmental Psychology**, Wiley: Hoboken, EUA, v. 25, n. 1, p. 147–166, 2007.

SIMPLICIO, H. *et al.* Cognitive Research and Mathematics Education—How Can Basic Research Reach the Classroom? **Frontiers in Psychology**, Frontiers: Lausanne, Suíça, v. 11, n. April, p. 1–5, 2020.

SPERAFICO, Y. L. S. *et al.* Combined Intervention of Working Memory and Arithmetic Reasoning in Students with ADHD. **Journal of Disability, Development and Education**, Taylor & Francis Group: Abingdon, Reino Unido, p. 1–33, 2019.

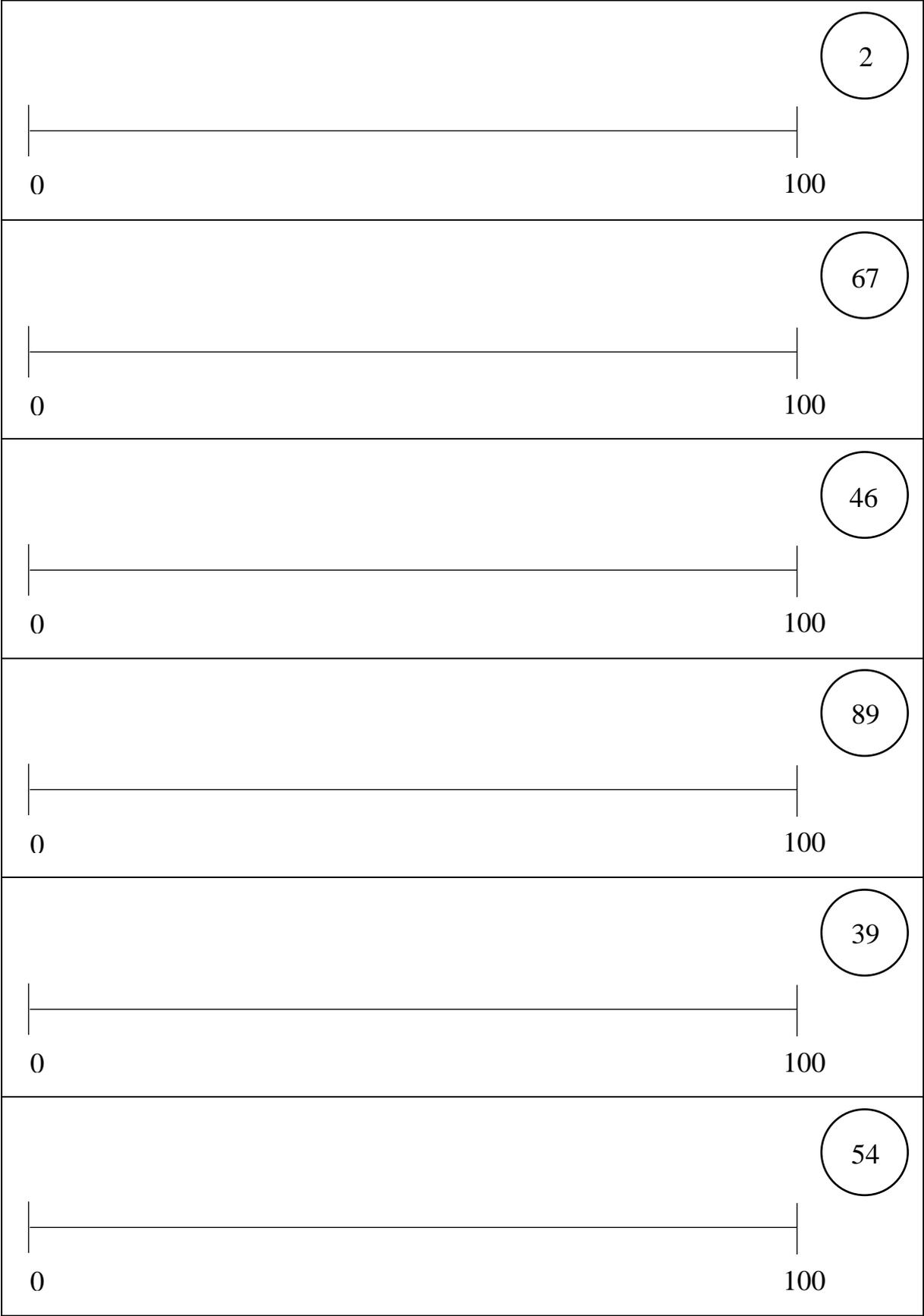
APÊNDICE A – TAREFA DE ESTIMATIVA NUMÉRICA NÚMERO-POSIÇÃO

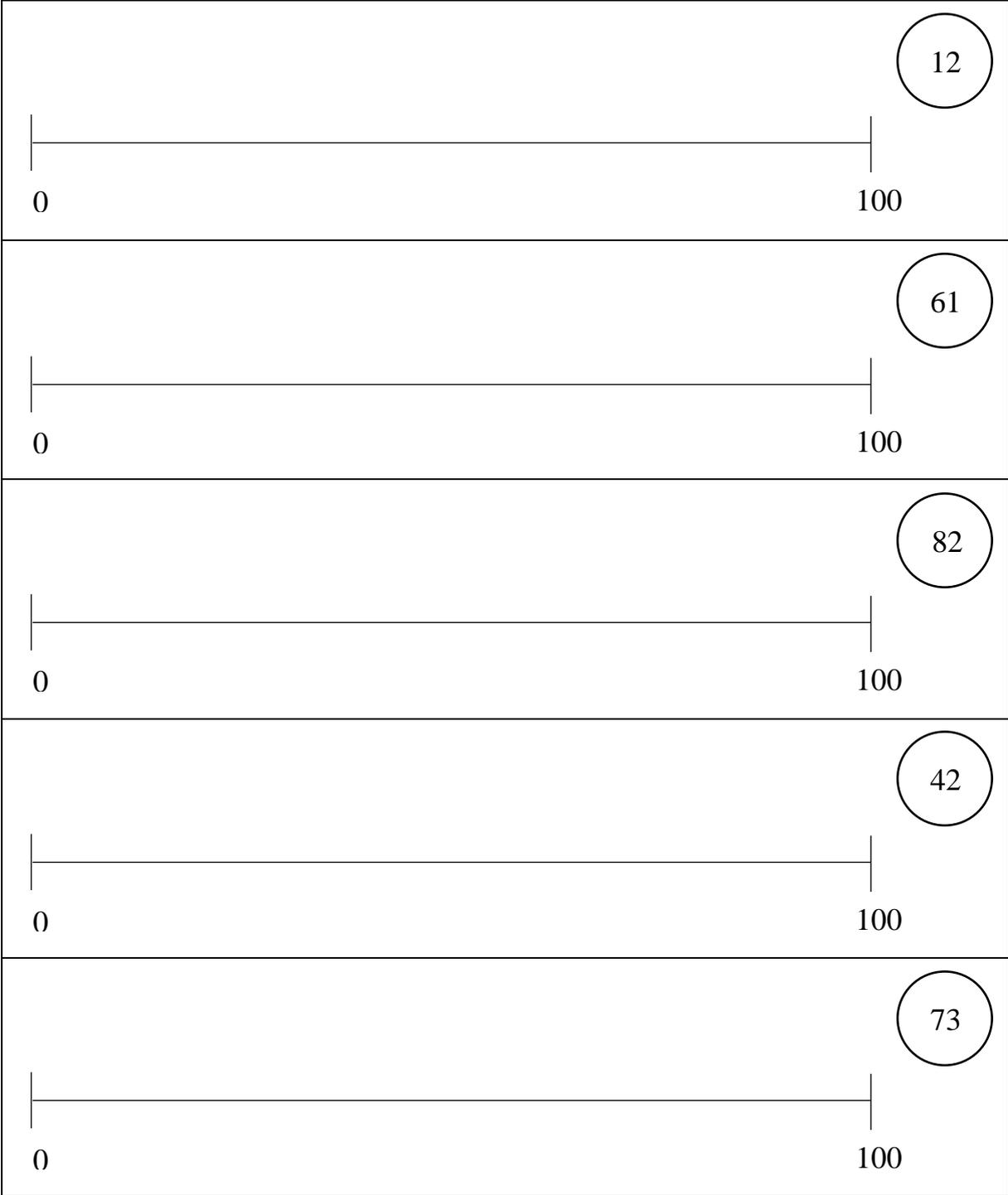
Localize na reta numérica o número indicado dentro do círculo³:

 <p>A horizontal number line with tick marks at 0 and 100. A circle containing the number 58 is positioned above the right end of the line.</p>
 <p>A horizontal number line with tick marks at 0 and 100. A circle containing the number 92 is positioned above the right end of the line.</p>
 <p>A horizontal number line with tick marks at 0 and 100. A circle containing the number 5 is positioned above the right end of the line.</p>
 <p>A horizontal number line with tick marks at 0 and 100. A circle containing the number 8 is positioned above the right end of the line.</p>
 <p>A horizontal number line with tick marks at 0 and 100. A circle containing the number 17 is positioned above the right end of the line.</p>

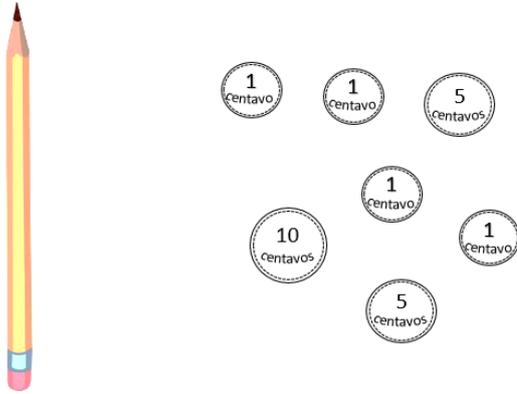
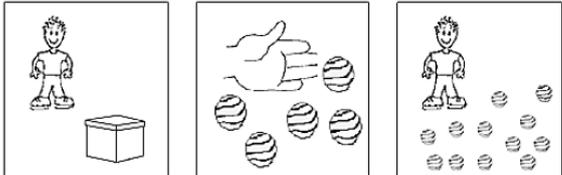
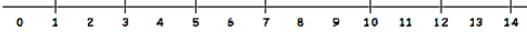
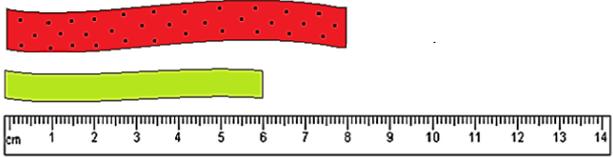
³ Esta tarefa foi impressa em formato de bloco de folhas e em cada folha havia uma reta com um número para ser estimado. Esse bloco foi entregue aos alunos para realizarem suas marcações e, em seguida, devolvido à pesquisadora para posterior correção e análise.

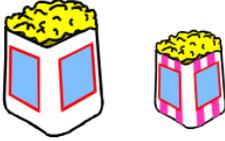
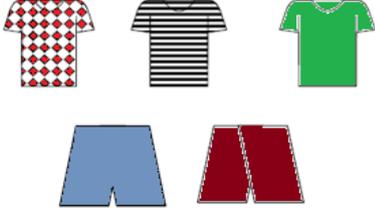
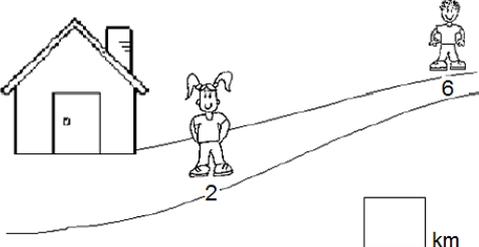


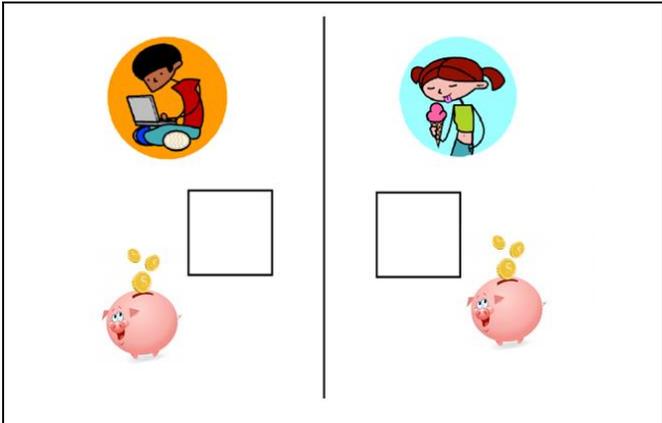
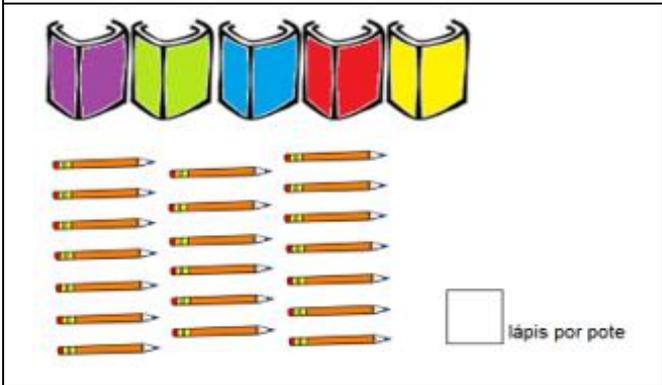
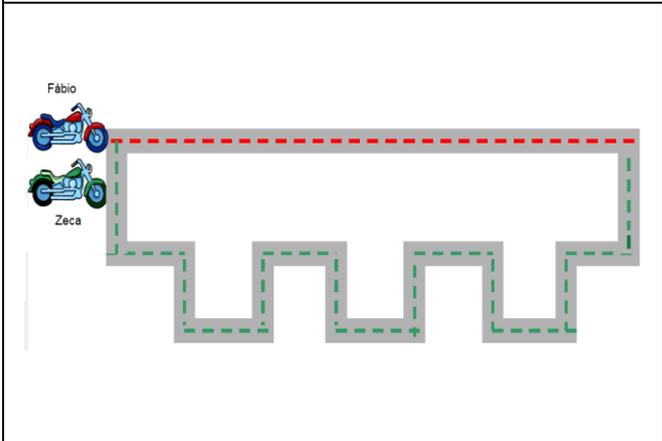
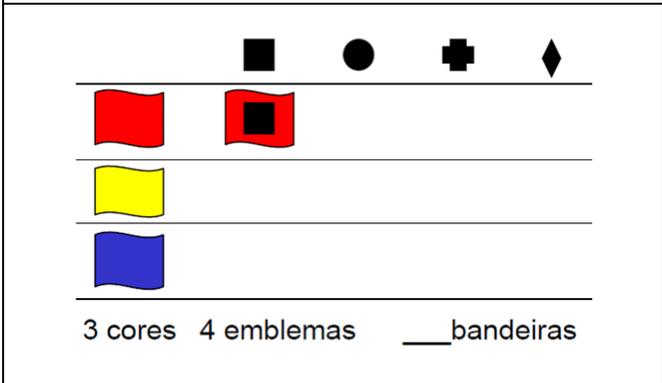


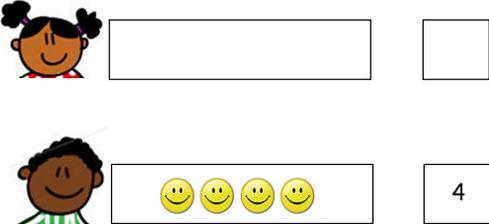
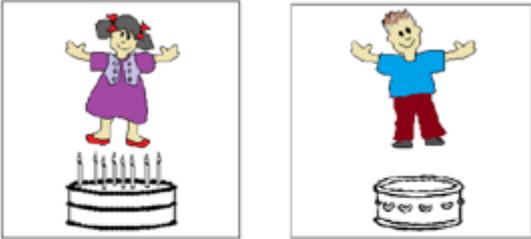
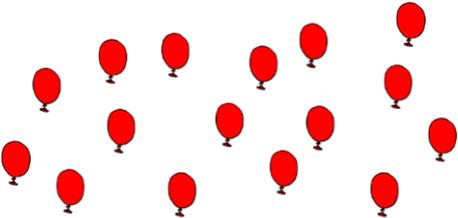


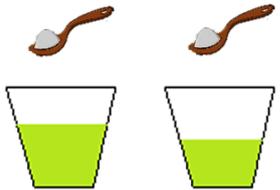
APÊNDICE B – TAREFA DE AVALIAÇÃO DO RACIOCÍNIO QUANTITATIVO

Ilustração	Instrução
	<p>Este lápis custa 8 centavos. Marque as moedas que você precisa para pagar exatamente o valor do lápis, sem precisar receber troco. Circule as moedas que você escolheu.</p>
 <p style="text-align: center;">  — bolinhas de gude </p>	<p>Vinícius tem algumas bolinhas de gude dentro da caixa. Brincando com seus amigos, ganhou 5 bolinhas de gude. Agora Vinícius tem 12. Quantas bolinhas de gude Vinícius tinha na caixa antes de jogar? Circule a resposta na reta numérica e escreva no espaço indicado.</p>
 <p style="text-align: center;"> <input type="text"/> cm </p>	<p>Luísa tem duas fitas. alguma delas é mais comprida? Se sim, circule a fita mais comprida. Quantos centímetros essa fita é mais comprida do que a outra? Escreva a sua resposta no espaço indicado.</p>
 <p style="text-align: center;"> <input type="text"/> flores </p>	<p>Laura irá plantar flores nesses vasos. Ela irá plantar 3 flores em cada um. Quantas flores ela irá plantar ao todo?</p>

 <p><input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p>	<p>Na saída da escola, dois amigos decidiram comer pipoca. Mas cada um comprou em uma loja diferente. Os dois pagaram R\$ 5,00 pelo pacote de pipoca. Observe os pacotes de cada um: a pipoca é mais cara numa loja do que na outra? Se sim, circule o pacote de pipoca mais caro.</p>
 <p><input type="checkbox"/> Conjuntos diferentes</p>	<p>Francisco tem dois shorts e três camisetas. Se ele combinar os shorts e as camisas de maneira diferente, quantos conjuntos ele pode formar?</p>
 <p><input type="checkbox"/> camisetas</p>	<p>Arthur irá guardar 5 camisetas roxas e 4 camisetas verdes no armário. Quantas camisetas ele irá guardar no armário, ao todo? Escreva sua resposta no espaço indicado.</p>
 <p><input type="checkbox"/> km</p>	<p>Dois amigos saíram para caminhar. Eles saíram de casa e caminharam na mesma direção. O menino caminhou 6 km e a menina 2 km. Qual a distância entre os dois amigos? Escreva a sua resposta no local indicado.</p>

	<p>Antônio e Alice economizaram dinheiro para comprar um brinquedo. Antônio conseguiu economizar 5 reais a mais do que Alice. Alice economizou 12 reais. Quantos reais Antônio conseguiu economizar?</p>
	<p>As crianças estão guardando os lápis nos potes. Tem 20 lápis e 5 potes. Distribuindo igualmente, quantos lápis irão em cada pote?</p>
	<p>Fábio e Zeca saem do mesmo ponto de partida. Fábio faz o caminho em vermelho e Zeca o caminho em verde. Se os dois chegaram ao mesmo tempo no mesmo local, eles andaram em velocidades iguais ou diferentes? Se acha que andaram em velocidades diferentes, circule aquele que andou mais rápido.</p>
 <p>3 cores 4 emblemas ___ bandeiras</p>	<p>A professora levou 3 cartolinas de cores diferentes e quatro emblemas para os alunos fazerem bandeiras. Quantas bandeiras diferentes eles podem fazer, usando somente um emblema em cada bandeira?</p>

 <p>A girl with pigtails and a boy are shown. Next to the girl is an empty rectangular box and a smaller empty square box. Next to the boy is a rectangular box containing four smiley face stickers and a smaller square box containing the number 4.</p>	<p>Carol e André estão colecionando adesivos. Juntos eles têm 7 adesivos. Se André tem 4, quantos adesivos tem Carol?</p>
 <p>A fishbowl containing 9 fish is shown next to a cat eating 3 fish. Below the fishbowl is a small empty square box followed by the word "peixes".</p>	<p>Tinha 9 peixes no aquário. O gato comeu 3. Quantos peixes há no aquário agora? Escreva sua resposta no espaço indicado.</p>
 <p>A girl with 8 candles on her birthday cake and a boy with a birthday cake are shown. Below the girl's cake is the number 8. Below the boy's cake is a horizontal number line from 0 to 14.</p>	<p>Manu está fazendo 8 anos, tem 8 velas em seu bolo. Ela é três anos mais velha do que Felipe. Qual é a idade de Felipe? Desenhe as velas no seu bolo. Circule a idade da Manu e do Felipe na reta numérica.</p>
 <p>16 red balloons are scattered on a white background. Below them is a small empty square box followed by the word "amigos".</p>	<p>Renato está de aniversário e convidou seus amigos para sua festa. Ele vai dar 2 balões para cada amigo, por isso Renato comprou 16 balões. Quantos amigos ele convidou para sua festa?</p>

 <p><input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não</p>	<p>Ana serviu dois copos de suco de limão com quantidades diferentes. Nos dois copos irá colocar a mesma quantidade de açúcar. Algum dos copos de suco ficará mais doce? Se sim, circule-o.</p>
 <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><input type="checkbox"/> máscaras</p>	<p>Combinando diferentes tipos de boca com diferentes tipos de nariz, quantas máscaras diferentes podemos fazer?</p>

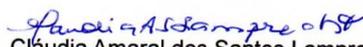
ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA SMED

**PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE
SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO
DIRETORIA PEDAGÓGICA**

AUTORIZAÇÃO

Autorizamos os doutorandos Camila Peres Noguez e Elielson Magalhães Lima do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul a realizar a pesquisa intitulada "Precursos do desempenho matemático nas séries iniciais" com os alunos de 3. e 4. anos do Ensino Fundamental das Escolas Municipais de Ensino Fundamental de Porto Alegre durante o ano letivo de 2018 através de coleta de dados com tarefas de avaliação do desempenho aritmético dos estudantes, das habilidades numéricas iniciais, da estimativa numérica, da memória de trabalho, do raciocínio quantitativo, do nível intelectual dos alunos, bem como da consciência fonológica e da compreensão leitora. Em 2019, os pesquisadores reunir-se-ão com a equipe da Diretoria Pedagógica, a fim de relatar os resultados da pesquisa.

Porto Alegre, 14 de março de 2018.


Cláudia Amaral dos Santos Lamprecht
Diretoria Pedagógica
Secretaria Municipal de Educação de Porto Alegre

ANEXO B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DAS ESCOLAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Pesquisa: Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais

Eu, Christiane Nunes Mattos, no cargo de supervisora escolar venho representar a escola E.M.E.F. Lauro Rodrigues, situada no endereço Rua Dr. Marino Alvoão, nº 240. Idim Inga, em Porto Alegre, no sentido de autorizar o desenvolvimento da pesquisa “Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais” e a participação livre e espontânea dos alunos das turmas de 3º e 4º anos. Declaro estar ciente que a pesquisa se desenvolverá nas dependências da escola e da necessidade de a instituição disponibilizar uma sala para realizar as avaliações com os alunos participantes.

Porto Alegre, 13 de abril de 2018.



Assinatura do (a) representante da escola

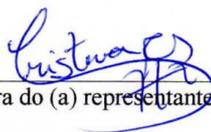
Christiane Nunes Mattos
Supervisão Educacional
Matricula 416396

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Pesquisa: Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais

Eu, CRISTINA CATTANEO DA SILVEIRA, no cargo de
DIRETORA venho representar a escola
EMEF PEPITA DE LEÃO, situada no endereço
RUA DO ESTÁDIO, 29, PASSO DAS PEDRAS, em Porto Alegre,
no sentido de autorizar o desenvolvimento da pesquisa “Precusores do Desempenho Matemático nas
séries iniciais” e a participação livre e espontânea dos alunos das turmas de 3º e 4º anos. Declaro estar
ciente que a pesquisa se desenvolverá nas dependências da escola e da necessidade de a instituição
disponibilizar uma sala para realizar as avaliações com os alunos participantes.

Porto Alegre, 27 de março de 2018.



Cristina Cattaneo da Silveira
Diretora
Aut: 161/2016

Assinatura do (a) representante da escola

ANEXO C – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DOS PROFESSORES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Projeto: Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais

TERMO DE PARTICIPAÇÃO DO(A) PROFESSOR(A)

Eu, _____, professor(a) responsável pela(s)
turma(s) _____, na Escola
_____, aceito
participar da pesquisa desenvolvida pelos pesquisadores Camila Peres Nogue e Elielson Magalhães
Lima, intitulada “Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais”, fornecendo informações
referentes ao desempenho escolar dos estudantes participantes do estudo, bem como cedendo espaço
durante o período de aula para que seja realizada a pesquisa.

Porto Alegre, ___ de _____ de 2018.

Professor(a) da Escola

ANEXO D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DOS RESPONSÁVEIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Autorizo meu (minha) filho(a) a participar da pesquisa intitulada “Precursos do Desempenho Matemático nas séries iniciais” coordenada pelos doutorandos Camila Peres Noguez e Elielson Magalhães Lima e pela Prof. Dra. Beatriz Vargas Dorneles, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Estou ciente de que meu (minha) filho(a) será avaliado em tarefas importantes para sua aprendizagem: desempenho aritmético, habilidades numéricas iniciais, estimativa numérica, memória de trabalho, raciocínio quantitativo, nível intelectual, consciência fonológica e compreensão leitora. Também estou ciente de que estas atividades serão realizadas em horário de aula, algumas delas serão realizadas na sala de aula com toda a turma, com duração média de 1 hora e meia. Outras atividades serão realizadas individualmente com cada aluno em sala separada, fora do espaço de sala de aula, dentro da escola, com duração média de 30 minutos. Também estou ciente de que meu (minha) filho(a) poderá deixar de participar a qualquer momento que decida sem qualquer prejuízo e de que a escola permitirá que os alunos participem das avaliações, sem nenhum prejuízo sobre o rendimento escolar. Os dados da pesquisa são confidenciais, sem qualquer identificação do participante, sendo utilizados somente para fins científicos. Ao participar desta pesquisa, o jovem não terá nenhum benefício direto, entretanto, esperamos que futuramente os resultados desta pesquisa sejam utilizados em benefício de outros estudantes. A participação na pesquisa é totalmente voluntária e não existe nenhum custo para participar, assim como não existe nenhuma remuneração para aqueles que participarem. Também estou informado(a) de que o grupo de pesquisadores envolvidos se comprometeu em dar uma devolução dos resultados encontrados para a escola.

Em caso de dúvida sobre a pesquisa, o(a) senhor(a) poderá entrar em contato com a direção da escola, ou com um dos responsáveis pelo estudo – Camila Noguez, telefone: (51) 994619162 ou Elielson Lima (82) 999728398. O Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS também poderá ser contatado para esclarecer dúvidas sobre esta pesquisa, pelo telefone (51) 3308-3738.

Declaro que eu _____, responsável pelo(a) aluno(a) _____ concordo com a sua participação na pesquisa acima referida.

Assinatura do(a) responsável pelo(a) aluno(a):

Data: ____/____/2018

ANEXO E – TERMO DE ASSENTIMENTO DOS ALUNOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais”, coordenada pelos doutorandos Camila Peres Nogue e Elielson Magalhães Lima e pela Prof. Dra. Beatriz Vargas Dorneles, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Seus pais ou responsáveis permitiram que você participe.

Nesta pesquisa pretendemos identificar quais das tarefas que estamos propondo podem ajudar você e outras crianças da sua mesma idade e terem um melhor desempenho em matemática.

Você só precisa participar da pesquisa se quiser, é um direito seu e não terá nenhum problema se desistir. As crianças que irão participar desta pesquisa têm de 8 a 11 anos de idade e todas são alunas do 3º ou 4º ano do Ensino Fundamental.

A pesquisa será feita na sua escola, onde você realizará tarefas que envolvem habilidades importantes para sua aprendizagem na matemática, para isso, serão usados somente lápis e papel. Essas atividades serão realizadas em horário de aula, algumas delas serão realizadas na sala de aula com toda a turma, com duração média de 1 hora e meia. Outras atividades serão realizadas individualmente com cada aluno em sala separada, fora do espaço de sala de aula, dentro da escola, com duração média de 30 minutos.

Os resultados da pesquisa vão ser publicados em formato de artigos e trabalhos acadêmicos, mas sem identificar os nomes das crianças que participarem.

Eu _____ aceito participar da pesquisa “Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais”. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e me explicaram como serão feitas as atividades.

Assinatura do(a) aluno(a): _____

Data: ____/____/2018

ANEXO F – TCLE DA INTERVENÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O(a) aluno(a) pelo qual você é responsável participou da primeira etapa e está sendo convidado(a) para participar da segunda etapa da pesquisa: Precursores do Desempenho Matemático nas séries iniciais. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela Secretaria Municipal da Educação de Porto Alegre e pela Direção da escola de seu filho(a). O objetivo deste estudo é avaliar os efeitos de alguns programas de intervenção no desempenho escolar de crianças que apresentam dificuldades em matemática. Pretendemos desenvolver maneiras de auxiliar essas crianças a compreenderem de forma mais efetiva o conhecimento matemático. Será estabelecido um plano de intervenção que será desenvolvido duas vezes por semana, na escola, em horário escolar, com duração de aproximadamente 2 meses, incluindo alguns momentos de avaliação posteriores, devidamente agendados. A duração de cada encontro é de aproximadamente 1 hora. Caso a família concorde com a participação, contamos com a colaboração para assegurar a participação da criança em todos os encontros. Caso o(a) aluno(a) falte a 2 (dois) encontros, mesmo com justificativa, será automaticamente desligado da pesquisa, pois as intervenções devem ser realizadas em sequência e de forma coletiva. Portanto, faltar aos encontros prejudica a avaliação individual e coletiva. A escola permitirá que os alunos participem das avaliações e sessões de intervenção, sem nenhum prejuízo sobre o rendimento escolar. O conhecimento que será obtido sobre o desempenho escolar dos alunos tem grande importância para os estudos na área. Com isso, poderemos indicar intervenções mais eficazes e com mais chance de terem bons resultados ao longo do tempo. Além disso, espera-se uma melhora imediata no desempenho escolar do(a) aluno(a). Os resultados deste estudo são confidenciais, usados somente para fins científicos, sem qualquer identificação do nome dos alunos. A participação na pesquisa é totalmente voluntária e não tem nenhuma relação com a avaliação do desempenho realizada pela escola. Poderá haver desistência da participação sem nenhum prejuízo na avaliação do aluno pela escola. Não existe nenhum custo para participar da pesquisa, assim como não existe nenhuma remuneração para aqueles que participarem. Em caso de dúvida sobre a pesquisa, o(a) senhor(a) poderá entrar em contato com a direção da escola, ou com um dos responsáveis pelo estudo – Camila Noguez, telefone: (51) 994619162. O Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS também poderá ser contatado para esclarecer dúvidas sobre esta pesquisa, pelo telefone (51) 3308-3738.

Declaro que eu _____, responsável pelo aluno(a) _____ concordo com a sua participação na pesquisa acima referida.

Assinatura do responsável pelo(a) aluno(a): _____

Data: ____/____/2018

ANEXO G – TALE DA INTERVENÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da segunda etapa da pesquisa “Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais”, coordenada pelos doutorandos Camila Peres Nogues e Elielson Magalhães Lima e pela Prof. Dra. Beatriz Vargas Dorneles, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Seus pais ou responsáveis permitiram que você participe.

Nesta etapa da pesquisa pretendemos desenvolver maneiras que podem ajudar você e outras crianças a terem um melhor desempenho em matemática.

Você só precisa participar da pesquisa se quiser, é um direito seu e não terá nenhum problema se desistir. A pesquisa será feita na sua escola, onde você realizará tarefas que envolvem habilidades importantes para sua aprendizagem matemática, para isso, serão usados somente lápis, papel e recursos digitais (computadores). Essas atividades serão desenvolvidas duas vezes por semana, na sua escola, em horário de aula, com duração de aproximadamente 2 meses, incluindo alguns momentos de avaliação posteriores, que serão agendados. A duração de cada encontro é de aproximadamente 1 hora. Caso você concorde em participar, contamos com a sua presença em todos os encontros. Caso você falte a 2 (dois) encontros, mesmo com justificativa, será automaticamente desligado da pesquisa, pois as atividades devem ser realizadas em sequência e de forma coletiva. Portanto, faltar aos encontros prejudica a avaliação individual e coletiva.

Os resultados da pesquisa vão ser publicados em formato de artigos e trabalhos acadêmicos, mas sem identificar os nomes das crianças que participarem.

Eu _____ aceito participar da segunda etapa da pesquisa “Precusores do Desempenho Matemático nas séries iniciais”. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e me explicaram como serão feitas as atividades.

Assinatura do(a) aluno(a): _____

Data: ____/____/2018