

Ensino de Programação Paralela na Educação Básica: Uma Revisão Sistemática da Literatura, Análise Bibliométrica e Agenda para Estudos Futuros

Felipe Pereira Perez
felipe.perez@unigran.br

Centro Universitário da Grande Dourados, Dourados,
Brasil

Anderson Corrêa de Lima, Amaury Antônio de
Castro Junior

{anderson.lima,amaury.junior}@facom.ufms.br
Faculdade de Computação, Universidade Federal do Mato
Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil

Wilk Oliveira

wilk.oliveira@tuni.fi

Faculty of Information Technology and Communications,
Tampere University, Tampere, Finland

Graziela Araújo

gsa@facom.ufms.br

Faculdade de Computação, Universidade Federal do Mato
Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil

RESUMO

Na última década, especialmente devido ao aumento do poder computacional, e, por conseguinte a urgência da programação paralela, surgiu a necessidade de profissionais capacitados para desenvolver softwares que utilizam todo o potencial paralelo das máquinas. Com isso, o ensino de programação paralela, por muito tempo exclusivo dos cursos de graduação, abriu espaço para ser trabalhado também na Educação Básica. No entanto, antes de começar a propor abordagens específicas para o ensino de programação paralela na Educação Básica, é necessário entender o estado da arte nesse domínio. Para enfrentar esse desafio, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura com o objetivo de *i)* identificar quais abordagens têm sido empregadas no ensino de programação paralela na Educação Básica; *ii)* detectar quais linguagens de programação são utilizadas; *iii)* levantar quais conceitos são abordados; *iv)* apontar em quais fases de ensino são aplicadas essas abordagens; e *v)* identificar como tem sido a experiência dos estudantes na aprendizagem. Como resultado, é possível identificar que *i)* o número de publicações ainda é limitado; *ii)* a maioria dos estudos são conduzidos em oficinas de curta duração; *iii)* a maioria dos estudos são conduzidos apenas nos Estados Unidos da América; *iv)* a maioria dos estudos usa abordagens tradicionais de ensino; *v)* não há consenso em relação ao uso de linguagens de programação no ensino de programação paralela; *vi)* a maioria dos estudos foram conduzidos no Ensino Médio; e *vii)* em geral, a experiência dos estudantes foi positiva. Os resultados contribuem especialmente para a área de Educação em Computação, abrindo espaço para o desenvolvimento de novas abordagens para o ensino de programação paralela.

CCS CONCEPTS

• **Social and professional topics** → Computing education.

Fica permitido ao(s) autor(es) ou a terceiros a reprodução ou distribuição, em parte ou no todo, do material extraído dessa obra, de forma verbatim, adaptada ou remixada, bem como a criação ou produção a partir do conteúdo dessa obra, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos os devidos créditos à criação original, sob os termos da licença CC BY-NC 4.0.

EduComp'23, Abril 24-29, 2023, Recife, Pernambuco, Brasil (On-line)

© 2023 Copyright mantido pelo(s) autor(es). Direitos de publicação licenciados à Sociedade Brasileira de Computação (SBC).

PALAVRAS-CHAVE

Ensino de Computação, Educação em Computação, Programação Paralela, Revisão da Literatura, Agenda de Pesquisa

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, usuários de computador se acostumaram com a expectativa de que seus programas executariam mais rapidamente a cada nova geração de microprocessadores. No entanto, essa expectativa não se aplica para programas puramente sequenciais, que executam em apenas um núcleo [17]. Ao invés disso, os softwares que tem apresentado as melhores performances, a cada nova geração de microprocessadores, são aqueles constituídos por rotinas de programas paralelos, que podem executar em hardwares com dezenas de (*multicore*) e até milhares de núcleos (*manycore*) [17, 26]. Esse novo incentivo, dramaticamente escalado para o desenvolvimento de programas paralelos, tem sido conhecido como a revolução da concorrência [16, 17].

O aumento da performance computacional gerada pelos programas paralelos popularizou a presença de aceleradores e coprocessadores *multicore* e *manycore*, bem como *clusters* usando tais dispositivos de computação [9]. Este cenário tem tido reflexos tanto na indústria, quanto no meio acadêmico, ao passo que a adaptação a ele tornou-se um desafio para as atuais e para as futuras gerações de programadores [17]. O modelo de codificação de programas paralelos exige um esforço intelectual ainda maior, do que aquele dedicado à programação sequencial [25]. Em particular, na perspectiva acadêmica, tem-se discutido a busca por novos métodos, que possam incentivar e facilitar a compreensão e o ensino dos paradigmas da PP (programação paralela) [2].

Apesar da PP estar consolidada em grandes centros de pesquisa e em projetos de supercomputadores, o seu ensino ainda precisa ser melhor aprimorado e incentivado [1]. Essa importância do ensino de PP, ultrapassou as barreiras da educação superior, e atingiu a educação básica, fazendo que ao longo dos anos, diferentes estudos tenham sido conduzidos com o intuito de ensinar PP na Educação Básica [7]. Assim, o ensino de PP passou a ser um desafio recorrente também na Educação Básica, trazendo a tona a importância de uma discussão específica sobre seu ensino [15].

Contudo, antes de avançar na busca por abordagens específicas para o ensino de PP na Educação Básica, é necessário entender o seu estado da arte. Assim, para enfrentar esse desafio, com o objetivo de entender o estado da arte em ensino de PP na Educação Básica, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) buscando responder as seguintes questões de pesquisa: *i)* quais abordagens têm sido aplicadas para ensinar PP na educação básica? *ii)* quais linguagens de programação têm sido usadas para ensinar PP na educação básica? *iii)* em que fase escolar a PP tem sido trabalhada? e *iv)* qual a experiência dos estudantes durante o aprendizado?

Os resultados indicam que *i)* o número de publicações sobre o tema ainda pode ser considerado baixo; *ii)* quase não são usadas abordagens lúdicas para o ensino de PP na Educação Básica; *iii)* não há consenso em relação ao uso de linguagens de programação para o ensino de PP na Educação Básica; *iv)* a maioria dos estudos são conduzidos apenas nos Estados Unidos da América; e *v)* a maioria dos estudos são conduzidos em um curto espaço de tempo, como oficinas de curta duração. O estudo contribui especialmente para a área de Educação em Computação, por meio de um retrato sobre o ensino de PP na Educação Básica, bem como, com insights relacionados a como avançar o estado arte.

O artigo se organiza da seguinte forma: na Seção 1 são apresentados os trabalhos relacionados. Na Seção 3 é descrita a metodologia adotada para a RSL. Na Seção 4 são organizados e discutidos os dados relacionados à cada questão de pesquisa (QP). Por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 5.

2 ESTUDOS RELACIONADOS

Nessa seção, com o objetivo de entender os estudos secundários (e.g., mapeamento e revisões sistemáticas), são apresentados e discutidos alguns trabalhos relacionados. Inicialmente, em 2021, de Souza et al., [11] descreveram uma RSL realizada em 2020 com publicações desde 2016, que apresentou um compêndio de dados sobre o ensino de programação na Educação Básica. O estudo identificou as técnicas, objetivos, ferramentas e em quais disciplinas o ensino de programação na educação básica é aplicado. Neste estudo é relatado que nos trabalhos selecionados possuem diferentes estratégias que tornam o ensino mais lúdico e que na maioria deles utilizam o Scratch como ferramenta para isso.

Ainda em 2021, Almeida Jr. et al., [1] apresentaram uma RSL sobre o ensino de PP no ensino superior utilizando placas gráficas. O objetivo do estudo consistiu em analisar quais foram as metodologias de ensino, instrumentos de avaliação, problemas, atividades desenvolvidas, técnicas, ferramentas e dificuldades encontradas no processo de ensino de PP com placas gráficas. Porém após a realização do protocolo foram encontrados somente dois estudos, mostrando que o tema é pouco explorado e foram publicados somente por professores de instituições de ensino superior do exterior [1].

No trabalho de Mwsaga e Joy [20], foi conduzida uma RSL sobre a utilização de artefatos de Computação de Alto Desempenho (CAD) na educação. Eles destacaram as áreas, o contexto e o escopo do ensino de CAD em Ciência da Computação e quais artefatos são mais utilizados. Porém, detalha brechas na aplicação desses

artefatos em relação as habilidades e aptidão, ensino e aprendizagem, técnicas de ensino e aprendizagem, currículo e programação paralela e processamento paralelo [20].

No trabalho de Bachiega et al., [3] realizou-se um estudo sobre a inserção da PP em Curso de Computação de Universidades Brasileiras, públicas e privadas, procurando em suas matrizes curriculares a presença de disciplinas relacionadas a PP. Nele são discutidas as divergências em relação ao que é proposto nas diretrizes curriculares e no ensino praticado, desde tópicos não abordados até na dificuldade em encontrar documentos de consulta [3].

Por sua vez, Bachiega et al., [2], apresentaram um Mapeamento Sistemático da Literatura considerando o ensino teórico e prático da PP no período de 2006 a 2017, com ênfase nos métodos de aprendizagem, na configuração de softwares e na infraestrutura de laboratórios. Eles apontam que os artigos levantados mostram um ganho no ensino e aprendizagem, apesar de serem verificadas lacunas como a ausência de iniciativas que antecipam o ensino de programação paralela nos primeiros períodos curriculares [2].

De modo geral, existem relevantes trabalhos relacionados, entretanto percebe-se a falta de estudos específicos investigando o ensino de PP na Educação Básica. Em geral, quando os trabalhos descrevem a utilização ou ensino de PP, se limitam ao Educação Superior e quando se relacionam com a Educação Básica, se limitam a programação sequencial. Assim, até onde sabemos, nosso estudo é o primeiro a investigar como PP é trabalhado na Educação Básica.

3 MÉTODO

Nesse estudo, foi conduzido uma RSL seguindo os passos do método PRISMA [21]. O levantamento inicial das publicações se deu entre os dias 03 e 07 de Maio de 2021 e o processo de revisão ocorreu entre os meses de Junho e Julho de 2021. O processo da revisão foi executado por dois pesquisadores com experiência na área, que atuaram em conjunto em todas as etapas do estudo.

3.1 Objetivos e Questões de Pesquisa

Esse estudo tem como objetivo geral identificar como a PP é trabalhada na Educação Básica (*i.e.*, fundamental, médio e técnico). Para tal, os seguintes objetivos específicos foram definidos: *i)* levantar quais abordagens têm sido empregadas; *ii)* identificar quais linguagens de programação têm sido utilizadas; *iii)* levantar quais conceitos de PP são abordados; *iv)* apresentar em quais fases da Educação Básica são aplicadas as metodologia de ensino de PP; e *v)* mostrar como tem sido a experiência dos estudantes na aprendizagem. Seguindo a estrutura proposta em [6] e [21], as questões estabelecidas para este estudo são: **QP₁**: Quais abordagens têm sido aplicadas? **QP₂**: Quais linguagens de programação têm sido usadas? **QP₃**: Quais conceitos de PP são abordados? **QP₄**: Em que fase escolar a PP tem sido trabalhada? **QP₅**: qual a experiência dos estudantes durante o aprendizado?

3.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Para realizar a triagem das publicações, foram estabelecidos Critérios para Inclusão (CI) e Exclusão (CE), adotando o método proposto por [6] e [21]: **CI₁**: estudos relacionados com abordagens de aprendizagem de PP no ensino básico, **CE₁**: estudos duplicados, **CE₂**: estudos em qualquer idioma que não seja o Inglês, **CE₃**: Estudos

redundantes (*i.e.*, mesmo autor/grupo de pesquisa), **CE₄**: estudos secundários ou terciários, **CE₅**: literatura cinza (*i.e.*, manuais, relatórios, teses, dissertações), **CE₆**: publicações não relacionadas com abordagens de aprendizagem de PP no Ensino Básico, **CE₇**: *Short paper* (quatro páginas ou menos).

Para facilitar a triagem dos artigos foi utilizada a ferramenta *Parsifal*¹, que automatiza o processo de organização dos estudos e identificação e remoção dos estudos duplicados. Nas análises de tempo, não foi estabelecido um marco temporal para delimitar as buscas, com isso foi possível identificar e analisar os estudos, desde a primeira publicação na área. Para solucionar divergências entre os pesquisadores quanto a inclusão ou não da publicação, uma análise conjunta mais detalhada deve ser realizada.

3.3 Bases de busca

Seguindo o exemplo de recentes estudos, as buscas foram realizadas em cinco bases de dados: *ACM Digital Library*, *EI Compendex*, *IEEE Digital Library*, *ISI Web of Science*, *Science@Direct* e *Scopus*. Ao mesmo tempo, essas bases foram escolhidas por contemplarem estudos publicados em conferências e revistas em todas as áreas relacionadas a este estudo.

3.4 String de busca

Ao definir as Questões de Pesquisa e a partir da leitura de publicações relacionadas ao tema, foi possível estabelecer o conjunto de palavras-chave (e seus sinônimos), que iriam compor a string de busca [21]. Referente a disciplina de PP foram definidas quatro palavras-chaves: *parallel computing*, *concurrent computing*, *parallel programming* e *concurrent programming*. De forma complementar, para a escolha do público, as palavras-chave estabelecidas foram: *vocational education*, *high school*, *secondary school* e *elementary school*. Com isso, a equipe desta pesquisa formulou a seguinte string de busca para ser usada nas cinco bases de dados destacadas:

“*parallel computing*” OR “*concurrent computing*” OR “*parallel programming*” OR “*concurrent programming*” AND (“*vocational education*” OR “*high school*” OR “*secondary school*” OR “*elementary school*”)

3.5 Processo de seleção e coleta de dados

A busca nas bases de dados foi realizada em Junho de 2021 e 719 publicações foram encontradas. Do total levantado, 122 foram excluídos por serem duplicados. Das 597 publicações restantes, foram lidos os títulos e resumos e aplicados os critérios de inclusão e exclusão. O processo resultou na exclusão de mais 584 trabalhos. Durante o processo, foram encontrados ainda publicações semelhantes do mesmo autor, manualmente estas foram analisadas e comparadas, e destas somente a mais completa foi selecionada (*i.e.*, o artigo que apresentava mais dados referentes ao estudo). Por fim, foram obtidas treze publicações, que atenderam completamente ao **CI₁**. Essas publicações estão identificadas na Tabela 1.

Tabela 1: Publicações aceitas, rejeitadas e duplicadas por base de dados

Base de Dados	Encontradas	Duplicadas	Rejeitadas	Aceitas
ACM Digital Library	288	31	253	4
EI Compendex	34	7	26	1
IEEE Digital Library	56	55	1	0
ISI Web of Science	11	9	1	1
Science@Direct	301	13	287	1
Scopus	29	7	16	6
Total	719	122	584	13

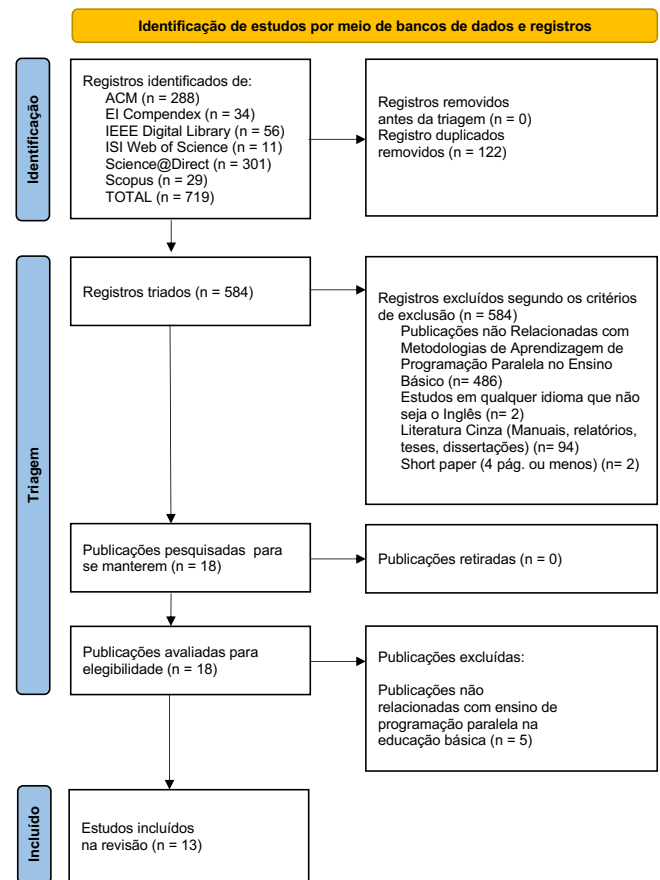


Figura 1: Diagrama de fluxo PRISMA 2020 (adaptado de Page et al. [21])

O resultado da pesquisa em cada base foi inserido na ferramenta *Parsifal* que verifica o **CE₁** removendo todos as publicações que se repetem em várias bases de dados (*i.e.*, estudos duplicados) de maneira automática. O fluxo de identificação dos estudos segundo [21] é detalhado pela Figura 1. Na Tabela 1 é apresentado o processo de seleção de publicações.

A Tabela 2 apresenta os detalhes levantados, validados e extraídos de cada um dos treze artigos selecionados, destacando sua relevância

¹<https://parsifal/>

para as questões de pesquisa. Além disso, o dataset completo esta disponível para retificação no <https://osf.io/k9hxp>.

Tabela 2: Dados extraídos das publicações

Dado do Estudo	Descrição	Relevância QP
Identificação	ID único para o estudo	Visão geral do estudo
Autores, Ano, Título, País	Autores, Ano de publicação, Título, País da universidade do primeiro autor	Visão geral do estudo
Tipo de artigo	Journal, Conferencia	Visão geral do estudo
Abordagem	Tipo de abordagem de ensino desenvolvida no estudo	QP1
Duração	Tempo de realização dos estudos empíricos	QP1
Linguagem de Programação	Utiliza linguagem de programação no estudo	QP2
Tipo de Linguagem de Programação	Linguagem de Programação comercial ou própria	QP2
Conceitos	Conceitos de PP que são abordados	QP3
Nível educacional	Nível educacional dos participantes dos estudos empíricos	QP4
Experiência prévia	Nível de contato prévio do aluno com PP	QP4
Avaliação do estudo	Média de avaliação dos alunos sobre o estudo	QP5

4 RESULTADOS

A seguir, um detalhamento das publicações selecionadas é apresentado. Primeiramente são apresentadas as treze publicações encontradas, com sua identificação, título e citação (Tabela 3). Em seguida, nas subseções são mostradas as características, os locais de publicação, a análise bibliométrica e por fim, as respostas para cada uma das questões de pesquisa.

Tabela 3: Publicações selecionadas

ID	Título	Ref.
A ₀₁	MultiLogo: A study of children and concurrent programming	[23]
A ₀₂	Teaching parallel programming and software engineering concepts to high school students	[24]
A ₀₃	Thinking parallel: The process of learning concurrency	[4]
A ₀₄	Introducing middle school girls to fault tolerant computing	[27]
A ₀₅	Learning concurrency: evolution of students' understanding of synchronization	[18]
A ₀₆	Is teaching parallel algorithmic thinking to high school students possible? One teacher's experience	[29]
A ₀₇	Parallel computing: at the interface of high school and industry	[7]
A ₀₈	Exposing High School Students to Concurrent Programming Principles Using Video Game Scripting Engines	[28]
A ₀₉	EcoSim: a language and experience teaching parallel programming in elementary school	[15]
A ₁₀	Game design for bioinformatics and cyberinfrastructure learning: a parallel computing case study	[22]
A ₁₁	Minimum time, maximum effect: Introducing parallel computing in cs0 and stem outreach activities using scratch	[13]
A ₁₂	Seemore: An interactive kinetic sculpture designed to teach parallel computational thinking	[8]
A ₁₃	Introducing parallel and distributed computing to K12	[5]

4.1 Características dos estudos

Por meio da Tabela 4, é possível identificar o tipo de estudo realizado, o método de avaliação e a duração de cada trabalho. Tais dados são utilizados para classificar as publicações nas subseções que se seguem. As linhas identificadas com NI apontam que não foram identificados os dados específicos durante a leitura do artigo.

Tabela 4: Característica das publicações

ID	Tipo de Estudo	Método de Avaliação	Número de Participantes	Duração do Estudo
A ₀₁	Empírico	Entrevistas semiestruturadas	4 estudantes	6 horas
A ₀₂	Empírico	Formulário de avaliação	81 estudantes	50 minutos
A ₀₃	Empírico	NI	NI	45 horas
A ₀₄	Empírico	Formulário de avaliação	28 estudantes	44 horas
A ₀₅	Empírico	Análise Quantitativa e Qualitativa	139 estudantes	156 horas
A ₀₆	Empírico	NI	40 estudantes	36 horas
A ₀₇	Empírico	Observação	22 estudantes	21 horas
A ₀₈	Empírico	Observação	40 estudantes	1 hora
A ₀₉	Empírico	Observação	NI	10 horas
A ₁₀	Empírico	Formulário de avaliação	48 estudantes	40 minutos
A ₁₁	Empírico	Formulário de avaliação	40 estudantes	14 horas
A ₁₂	Empírico	Entrevista	6 estudantes	10 minutos
A ₁₃	Teórico	NI	NI	NI

Legenda: NI: Não Identificado

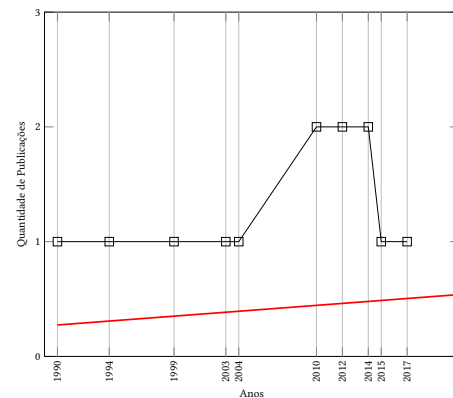


Figura 2: Distribuição dos resultados por ano de publicação

A primeira publicação com o tema foi realizada em 1990. Mesmo com as limitações da época, pode-se compreender a importância do pensamento computacional paralelo aplicado desde o ensino básico. É possível ainda verificar que mais da metade das publicações foram realizadas a partir dos anos 2000, em maior quantidade entre os anos de 2010 e 2014. A Figura 2 apresenta o número de publicações com o passar dos anos.

4.2 Fontes de Publicação

Em se tratando dos locais onde os estudos selecionados foram publicados, a Tabela 5 revela que o *ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE)* foi o destino do maior número de publicações encontradas, com o total de seis artigos, seguido pelo *ASEE Annual Conference & Exposition* com dois artigos e todos os demais com apenas um artigo cada. Somente as publicações A₀₁, A₀₅ e A₁₀ foram publicadas em *Journals* (Tipo - J), enquanto todas as outras foram publicadas em conferências (Tipo - C).

Tabela 5: Distribuição por local de publicação

Local de Publicação	Tipo	ID
Interactive learning environments	J	A ₀₁
International Journal of Human-Computer Studies	J	A ₀₅
Concurrency and Computation: Practice and Experience	J	A ₁₀
ACM SIGCSE technical symposium on Computer science education	C	A ₀₂ , A ₀₃ , A ₀₄ , A ₀₆ , A ₀₇ , A ₀₉
ASEE Annual Conference & Exposition	C	A ₀₈ , A ₁₂
Extreme Science and Engineering Discovery Environment	C	A ₁₁
IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)	C	A ₁₃

Legenda: J: Journal; C: conferência

4.3 Análise Bibliométrica

A localidade na qual as publicações foram desenvolvidas foi outra característica importante considerada neste mapeamento (Tabela 6). Constatou-se que a maioria dos estudos foi conduzido por instituições de ensino dos Estados Unidos da América (EUA), porém não limitado a este país, visto que duas das treze publicações foram produzidas em Israel, o que mostra que o problema e tema apontados nesta pesquisa não são limitados a um único país. Percebe-se entretanto, que o ensino de PP no Ensino Básico além das fronteiras Norte Americanas, ainda está engatinhando.

Tabela 6: Análise bibliométrica

ID	Autores	País	Universidade
A ₀₁	Resnick, M.	EUA	Massachusetts Institute of Technology
A ₀₂	Rifkin, Adam	EUA	California Institute of Technology
A ₀₃	Ben-Ari, Mordechai and Kolikant, Yifat Ben-David	Israel	Weizmann Institute of Science
A ₀₄	Sivilotti, Paolo A. G. and Demirbas, Murat	EUA	The Ohio State University
A ₀₅	Yifat {Ben-David Kolikant}	Israel	Weizmann Institute of Science
A ₀₆	Torbert, Shane and Vishkin, Uzi and Tzur, Ron and Ellison, David J.	EUA	Fairfax County Public Schools
A ₀₇	Chesebrough, Robert A. and Turner, Ivan	EUA	Intel Corporation
A ₀₈	Steffen, M. and Zambreno, J.	EUA	Iowa State University
A ₀₉	Gregg, C. and Tychonievich, L. and Cohoon, J. and Hazelwood, K.	EUA	University of Virginia
A ₁₀	Perry, Daniel and Robinson, John and Cruz, Stephanie and Aragon, Cecilia and Chowning, Jeanne Ting and Peters, Mette	EUA	University of Washington
A ₁₁	Feldhausen, R. and Bell, S. and Andresen, D.	EUA	Kansas State University
A ₁₂	Chowdhury, Bushra Tawfiq and Blanchard, Sam and Cameron, Kirk W. and Johri, Aditya	EUA	Virginia Tech
A ₁₃	Broll, B. and Ledeczki, A. and Volgyesi, P. and Sallai, J. and Maroti, M. and Vanags, C.	EUA	Vanderbilt University

4.4 Abordagens empregadas no ensino de programação paralela na Educação Básica?

Em resposta a essa QP, verifica-se que os artigos A₀₂, A₀₃, A₀₄, A₀₅, A₀₆, A₀₇, A₀₉ e A₁₁ descrevem abordagens tradicionais de ensino, nestes casos, em um primeiro momento a PP é trabalhada de maneira expositiva seguida por atividades práticas. Os artigos A₀₁, A₀₈, A₁₀ e A₁₃ por sua vez, destacam o trabalho por meio de jogos "paralelos", nestes trabalhos sessões recreativas foram realizadas para que os alunos pudessem jogar e com isso compreender conceitos de PP. O artigo A₁₂, apesar de apresentar momentos de interação, fez uso do movimento de uma escultura para abordar conceitos de PP para os alunos. Nas Tabelas 7 e 8 os artigos são classificados de acordo com a maneira com a qual o tema foi abordado e também de acordo com a duração da experiência de ensino.

Tabela 7: Tipo de aplicação do estudo

Classificação	ID
Workshop	A ₀₂ , A ₀₄ , A ₁₁
Curso	A ₀₃ , A ₀₅ , A ₀₇ , A ₀₉
BootCamp (Curso intensivo)	A ₀₆
Sessões de Jogos	A ₀₁ , A ₀₈ , A ₁₀ , A ₁₃
Escultura Interativa	A ₁₂

Tabela 8: Duração dos estudos

Classificação	ID
Curta duração (até 4 horas)	A ₀₂ , A ₀₈ , A ₁₀ , A ₁₂
Média duração (até 20 horas)	A ₀₁ , A ₀₉ , A ₁₁
Longa duração (mais de 20 horas)	A ₀₃ , A ₀₄ , A ₀₅ , A ₀₆ , A ₀₇
Tempo não informado	A ₁₃

4.5 Quais Linguagens de Programação Foram Utilizadas no Ensino de PP na Educação Básica?

Nos artigos A₀₁, A₀₈, A₀₉ e A₁₃ os autores desenvolveram linguagens de programação próprias, para utilizarem durante o ensino de PP em sala de aula. Por outro lado os artigos A₀₂ e A₁₂ trabalharam com o ensino de PP por meio de Computação Desplugada. No primeiro, a interação foi realizada utilizando folhas de papel com números e movimentação dos participantes pela sala de aula. No segundo, foi desenvolvida uma escultura que se movimenta, em ambos os trabalhos simularam-se o comportamento de algoritmos de ordenação paralelos.

Os demais artigos fizeram uso de linguagens tradicionais no ensino de PP, tais como, Pascal e C++. Dentre eles somente os artigos A₀₆ e A₀₇ citam a utilização de bibliotecas para paralelismo, no caso a OpenMP. Os artigos foram classificados de acordo com a utilização de linguagens de programação. Podendo ser, quando utilizadas, próprias ou comerciais, conforme é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Linguagens de programação utilizadas

Classificação	ID
Linguagem desenvolvida pelo autor	A ₀₁ , A ₀₈ , A ₀₉ , A ₁₃
Linguagem tradicional (Pascal, C++)	A ₀₃ , A ₀₄ , A ₀₅ , A ₀₆ , A ₀₇ , A ₁₀ , A ₁₁
Não foram utilizadas linguagens	A ₀₂ , A ₁₂

4.6 Quais conceitos de PP são abordados?

O principal tópico tratado pela maioria dos artigos é a concorrência. Porém, outros conceitos também importantes foram encontrados, tais como: comunicação, decomposição, semáforos, *deadlock* e *thread*. Somente em duas publicações, A₀₂ e A₀₄, não foi abordado explicitamente conceitos de PP. Em ambas os conceitos foram demonstrados implicitamente a partir da execução de algoritmos de ordenação em paralelo, por exemplo. Na Tabela 10 essas publicações são classificadas de acordo com os conceitos de PP que foram abordados.

Tabela 10: Conceitos de programação paralela abordados

Conceito	ID
Concorrência	A ₀₁ , A ₀₃ , A ₀₅ , A ₀₇ , A ₀₈ , A ₀₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₃
Comunicação	A ₀₁ , A ₀₃ , A ₀₆ , A ₀₈ , A ₁₃
Decomposição	A ₀₁ , A ₀₉ , A ₁₂
Semáforos	A ₀₃ , A ₀₅ , A ₀₇ , A ₀₉ , A ₁₀
<i>Deadlock</i>	A ₀₅ , A ₀₇ , A ₀₉
<i>Thread</i>	A ₀₇ , A ₁₀
Não apresenta	A ₀₂ , A ₀₄

4.7 Em quais fases da Educação Básica são aplicadas as metodologias de ensino de PP?

O público, da maioria das publicações analisadas, envolvia alunos do ensino médio, dada a complexidade do assunto. O artigo A₀₆ trabalhou com alunos do ensino médio e ensino técnico, enquanto o artigo A₁₁, com alunos do ensino fundamental e médio ao mesmo tempo. Como os artigos A₀₅ e A₀₇ são de longa duração e mais aprofundados, foi exigido ao aluno participante uma experiência prévia com conceitos de Ciência da Computação. O artigo A₀₁, apesar de ser de curta duração, também teve por requisito a necessidade desta experiência, todos os outros artigos não possuíam restrições. Para a questão analisada dois grupos de classificações foram definidos: O primeiro referente a fase educacional na qual foi aplicada o ensino (do artigo) e o segundo que descreve o conhecimento prévio em Ciência da Computação necessário, conforme exposto pelas Tabelas 11 e 11. Cada publicação foi assinalada com pelo menos uma categoria do primeiro grupo e com apenas uma do segundo.

4.8 Como foi a experiência dos estudantes na aprendizagem de PP na Educação Básica?

Apenas os artigos A₀₅, A₁₀, A₁₂ e A₁₃ não realizaram avaliações para compreender o *feedback* dos alunos. Nos demais trabalhos,

Tabela 11: Fase onde a programação paralela é ensinada

Classificação	ID
Ensino Fundamental	A ₀₁ , A ₀₄ , A ₀₉ , A ₁₁
Ensino Médio	A ₀₂ , A ₀₃ , A ₀₅ , A ₀₆ , A ₀₇ , A ₀₈ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₃

Tabela 12: conhecimento prévio em Ciência da Computação

Classificação	ID
Com experiência relacionada a Ciência da Computação	A ₀₁ , A ₀₅ , A ₀₇
Sem experiência relacionada a Ciência da Computação	A ₀₂ , A ₀₃ , A ₀₄ , A ₀₆ , A ₀₈ , A ₀₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₃

por meio de questionários qualitativos, em sua maioria, os estudos descrevem que os alunos apresentaram sensações positivas, sem grande dificuldade no aprendizado. Apenas o artigo A₀₃ relatou que, além do ensino ter sido positivo, ele também foi desafiador para os alunos. Exclusivamente, o artigo A₀₁ expôs uma experiência negativa. A classificação dessa questão de pesquisa aborda então a experiência do aluno com a aprendizagem e se houve ou não avaliação dessa experiência (Tabela 13).

Tabela 13: Experiência dos estudantes em relação a atividade

Classificação	ID
Foi positivo, sem dificuldades	A ₀₂ , A ₀₄ , A ₀₆ , A ₀₇ , A ₀₈ , A ₀₉ , A ₁₁
Foi positivo, porém desafiador	A ₀₃
Foi negativo, dada a dificuldade	A ₀₁
Não avalia a experiência dos alunos	A ₀₅ , A ₁₀ , A ₁₂ , A ₁₃

4.9 Discussão

Dada a demanda atual por profissionais, sejam eles professores ou programadores, que compreendam em detalhes o paradigma da PP, bem como, a importância do ensino de de PP ainda na Educação Básica, neste estudo foi conduzido uma RSL com o objetivo de identificar as abordagens de ensino de PP na Educação Básica. Os resultados mostram que a experiência dos estudantes pode ser positiva e favorável, quando critérios como a forma de aplicação, o tempo e a fase escolar são considerados.

A primeira publicação identificada no estudo é do ano de 1990 [23]. Até o ano de 2004 as publicações tiveram um intervalo maior entre si, quando comparadas com as publicações entre 2010 e 2017. Podemos relacionar isso com a evolução dos processadores, um exemplo é do ano de 2006, no qual a *Intel* lançou sua linha *Core*, que possibilitou um maior poder de processamento [14].

Pode-se observar que o número de publicações com o tempo apresenta uma suave e positiva linha de crescimento até o ano de 2021. Nota-se porém, que a última publicação selecionada foi de 2017. Um gargalo de publicações desde então é observado. Tal situação, por um lado, pode indicar que a área passa por um processo de descontinuação, por outro lado, pode também indicar a existência de uma potencial dificuldade de ensino de PP.

Foram encontradas publicações posteriores a 2017, tais como [19] e [12], que exploraram a construção de *clusters* de baixo custo para utilizar na Educação Básica, porém estes estudos não mostraram uma abordagem clara para se trabalhar PP com estudantes da Educação Básica. Tal resultado indica a importância e a necessidade da continuação desses estudos, em trabalhos futuros, inclusive integrando hardware e software paralelos.

Quando analisados os locais de publicação, observa-se uma tendência de destino de publicações, visto que quase metade foi publicada em um único fórum (*i.e.*, ACM SIGCSE). Todavia, deve-se destacar que as cinco publicações mais recentes (A_{09} , A_{10} , A_{11} , A_{12} e A_{13}) foram encontradas em locais distintos (*e.g.*,). Tal resultado pode indicar pouca maturidade da área, após a CAD, somente três de treze artigos foram publicados em *Journals*, o que mostra a necessidade de amadurecimento do tema.

A escolha da maneira como o conteúdo é exposto e o tempo de duração são fatores fundamentais para uma experiência positiva. Nos artigos com propostas de menor duração, o escopo torna-se limitado e nestes casos somente conceitos introdutórios da PP puderam ser explanados [24]. Nos artigos de maior duração, os alunos tiveram a oportunidade de conhecer conceitos mais específicos de PP, além de desenvolver soluções, o que pode tornar a atividade mais desafiadora e aumentar o engajamento dos estudantes [18].

Não foi observado um consenso no quesito linguagens utilizadas, porém percebeu-se que utilizar linguagens como o Scratch, a Alice 3D, e o Lego Mindstorms, que trabalham com programação em blocos pode tornar o ensino mais divertido e prazeroso [28]. A utilização de linguagens de blocos, não impede porém, que na sequência do estudo sejam introduzidas linguagens como C++, Pascal e Java, visto que os conceitos lógicos de PP foram bem fundamentados.

Especificamente, em se tratando de Educação Básica (fundamental e médio), os estudos identificados nesta revisão mostraram que a utilização de recursos visuais e lúdicos permitem uma melhor compreensão do conteúdo, que por si só é bastante complexo [28]. Nesse quesito, pode-se pontuar a utilização da Computação Desplugada, que provê alternativas que não utilizam recursos de hardware e/ou software, como uma forma de democratizar o acesso do ensino de PP, por meio de atividades e dinâmicas capazes de aproximar o aluno do conceito de uma maneira divertida e sem custos [10].

A maioria das publicações selecionadas realizou avaliações de maneira qualitativa com os alunos e constatou que a experiência no ensino de PP foi positiva. Somente o primeiro artigo publicado [23], relatou uma experiência negativa no ensino. Pode-se compreender que essa dificuldade deve-se ao fator de pioneirismo da publicação e da complexidade do tema.

Em se tratando de local de publicação, nota-se que a maioria dos estudos foram produzidos em instituições Norte Americanas, indicando um domínio de produção por parte de um país. Isso chama atenção para a necessidade de que países emergentes e que estejam investindo no Ensino de Computação na Educação Básica (*e.g.*, Pensamento Computacional) possam realizar estudos internos, e buscar publicá-los em veículos de abrangência internacional.

Diante do estudo conduzido, apresentado nesse artigo, alguns resultados ficam mais claros:

- (1) O número de publicações sobre o tema ainda pode ser considerado baixo, indicando a necessidade da condução de novos estudos.
- (2) A maioria dos estudos são conduzidos em um curto espaço de tempo, como oficinas de curta duração, levando a necessidade da condução de estudos longitudinais ou temporalmente prospectivos.
- (3) A maioria dos estudos são conduzidos apenas nos Estados Unidos da América, chamando atenção para a condução de mais estudos pelo mundo.
- (4) A maioria usa abordagens tradicionais de ensino, chamando atenção para a necessidade de investir em novas abordagens de ensino.
- (5) Não há consenso em relação ao uso de linguagens de programação para o ensino de PP na Educação Básica, abrindo espaço para estudos que possam comparar diferentes linguagens.
- (6) Mesmo um tema de ensino complexo pode gerar uma boa experiência para aprendizado dos alunos.

É esperado que, os resultados levantados por meio desta revisão, contribuam para que trabalhos futuros possam buscar desenvolver, aplicar e avaliar novas abordagens para o ensino de PP na Educação Básica, e, assim melhorar as experiências de ensino de PP na Educação Básica.

4.10 Ameaças a validade

Nesta revisão, buscou-se seguir um processo sistemático que assegure o rigor dos estudos do método destacado em [21], porém diversos motivos podem afetar os resultados obtidos. Nesse artigo, foi limitada a linguagem das publicações, foram aceitos somente artigos em língua inglesa, em contrapartida houve empenho em tentar abranger as bases mais relevantes e mais utilizadas em revisões sistemáticas.

Como o levantamento inicial das publicações se deu entre os dias 03 e 07 de Maio de 2021 os artigos publicados depois desse intervalo podem ter ficado de fora, podendo afetar os resultados gerais. Outra ameaça a se destacar é o fato de mais de um pesquisador analisar a base de dados para seleção. Para tentar minimizar essa ameaça os critérios (de inclusão e exclusão) foram definidos antes do início da leitura dos artigos, e no surgimento de dúvidas durante o processo os envolvidos realizavam análises mais detalhadas.

Na construção da *string* de busca muitos termos podem ter a mesma interpretação, o que pode confundir os mecanismos de busca ou pode levar a não inclusão de um estudo no mapeamento. Por essas razões artigos relevantes podem ter ficado de fora da seleção final desta revisão.

4.11 Agenda para estudos futuros

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, é plausível propor uma agenda com desafios a serem enfrentados em estudos futuros. Inicialmente, dado o número de publicações encontradas ($N=13$), é possível argumentar que a área ainda não foi devidamente estabelecida, e que, portanto, há um campo de trabalho aberto a ser trabalhado na área. Assim, **é sugerido a realização de diferentes estudos/ações para fomentar a área de aprendizagem de PP na Educação Básica.**

Se por um lado, estudos recentes chamam atenção para o uso de abordagens motivadoras no ensino de Computação (e.g., jogos, gamificação, e realidade aumentada), por outro lado, poucos estudos utilizaram abordagens consideradas inovadoras. Assim, outros elementos podem deixar as experiências mais lúdicas para os alunos, por exemplo, elementos de gamificação e até mesmo Realidade Virtual e Aumentada. Assim, **é recomendado que estudos futuros busquem usar novas abordagens de ensino.**

Algumas das publicações encontradas não realizam avaliações. Porém, analisar a experiência e o desempenho dos alunos durante uma abordagem é fundamental para permitir identificar os reais efeitos da abordagem, bem como, melhorar a percepção dos resultados. Assim, **é proposto que estudos futuros utilizem diferentes técnicas de avaliação.**

A maioria dos estudos levantados são realizados em um curto espaço de tempo (e.g., oficinas de uma manhã), o que pode gerar implicações negativas devido a complexidade do conteúdo. Para que área possa ganhar maturidade, é fundamental estudos que possam realizar análises mais complexas. Assim, **é sugerido a realização de estudos temporalmente prospectivos ou longitudinais.**

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a evolução do poder computacional dos últimos anos, tornou-se evidente a necessidade por profissionais capacitados em desenvolvimento de programas paralelos. O ensino de PP permite o desenvolvimento de softwares que utilizem os recursos computacionais de maneira a otimizar sua execução. Na Educação Básica, focada no desenvolvimento sequencial, poucas são as iniciativas para o ensino do paralelismo. Dessa forma, esse artigo traz luz para os estudos que irão aplicar abordagens e linguagens de programação no ensino de PP na Educação Básica. Espera-se como estudo futuro, responder novas questões de pesquisa com base nos dados coletados, bem como, iniciar novos estudos que possam enfrentar os desafios identificados nesse estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] Roberto Almeida Jr, Hadria Farias, Marcos Saavedra, and Josivaldo Araújo. 2021. Metodologias de Ensino na Programação Paralela com Placas Gráficas: Uma Revisão Sistemática da Literatura. *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* 32, 1, 1243–1252.
- [2] Naylor Bachiega, Paulo Lopes de Souza, Sarita Bruschi, and Simone Souza. 2017. Mapeamento sistemático do ensino teórico e prático de programação paralela. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. 1089.
- [3] Naylor Garcia Bachiega, Paulo Lopes de Souza, Sarita Bruschi, and Simone Souza. 2018. Um Panorama do Ensino de Programação Paralela e Distribuída em Universidades Brasileiras. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. 480.
- [4] Mordechai Ben-Ari and Yifat Ben-David Kolikant. 1999. Thinking parallel: The process of learning concurrency. *ACM SIGCSE Bulletin* 31, 3, 13–16.
- [5] Brian Broll, Akos Lédeczi, Peter Volgyesi, János Sallai, Miklós Maróti, and Chris Vanags. 2017. Introducing parallel and distributed computing to K12. In *2017 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)*. IEEE, 323–330.
- [6] Luis Jorge Enrique Rivero Cabrejos, Davi Viana, and Rodrigo Pereira dos Santos. 2018. Planejamento e execução de estudos secundários em informática na educação: Um guia prático baseado em experiências. *Jornada de Atualização em Informática na Educação*, 21–52.
- [7] Robert A Chesebrough and Ivan Turner. 2010. Parallel computing: at the interface of high school and industry. In *Proceedings of the 41st ACM technical symposium on Computer science education*. 280–284.
- [8] Bushra Tawfiq Chowdhury, Sam Blanchard, Kirk W Cameron, and Aditya Johri. 2015. Seemore: An interactive kinetic sculpture designed to teach parallel computational thinking. In *2015 ASEE Annual Conference & Exposition*. 26–1360.
- [9] Pawel Czarnul. 2018. *Parallel programming for modern high performance computing systems*. CRC Press.
- [10] Anderson Corrêa de Lima, Thiago Carvalho, Daniel Bailo, José Filipe Rozeno Rodrigues, Wellington Marques de Aquino, and Plabiany Acosta. 2018. Uma Oficina para Ensino de Algoritmos Paralelos por Meio de Computação Desplugada. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, Vol. 7. 619.
- [11] Francieli Alves de Souza, Taciana Pontual Falcão, and Rafael Ferreira Mello. 2021. O Ensino de Programação na Educação Básica: Uma Revisão da Literatura. *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 1265–1275.
- [12] Kevin Doucet and Jian Zhang. 2019. The creation of a low-cost raspberry pi cluster for teaching. In *Proceedings of the Western Canadian Conference on Computing Education*. 1–5.
- [13] Russell Feldhausen, Scott Bell, and Daniel Andresen. 2014. Minimum time, maximum effect: Introducing parallel computing in cs0 and stem outreach activities using scratch. In *Proceedings of the 2014 Annual Conference on Extreme Science and Engineering Discovery Environment*. 1–7.
- [14] Simcha Gochman, Avi Mendelson, Alon Naveh, and Efraim Rotem. 2006. Introduction to Intel Core Duo Processor Architecture. *Intel Technology Journal* 10, 2.
- [15] Chris Gregg, Luther Tychonievich, James Cohoon, and Kim Hazelwood. 2012. EcoSim: a language and experience teaching parallel programming in elementary school. In *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*. 51–56.
- [16] Wen-mei Hwu, Kurt Keutzer, and Timothy G Mattson. 2008. The concurrency challenge. *IEEE Design & Test of Computers* 25, 4, 312–320.
- [17] David Kirk and Wen-Mei Hwu. 2010. *Programando para Processadores Paralelos: uma abordagem prática à programação de GPU*. Elsevier Brasil.
- [18] Yifat Ben-David Kolikant. 2004. Learning concurrency: evolution of students' understanding of synchronization. *International Journal of Human-Computer Studies* 60, 2, 243–268.
- [19] Suzanne J Matthews, Joel C Adams, Richard A Brown, and Elizabeth Shoop. 2018. Portable parallel computing with the raspberry pi. In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. 92–97.
- [20] Nkundwe Moses Mwasaga and Mike Joy. 2020. Using high-performance computing artifacts as a learning intervention: a systematic literature review. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent and Innovative Computing Applications*. 1–10.
- [21] Matthew J Page, Joanne E McKenzie, Patrick M Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C Hoffmann, Cynthia D Mulrow, Larissa Shamseer, Jennifer M Tetzlaff, Elie A Akl, Sue E Brennan, et al. 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic reviews* 10, 1, 1–11.
- [22] Daniel Perry, John Robinson, Stephanie Cruz, Cecilia Aragon, Jeanne Ting Chowning, and Mette Peters. 2014. Game design for bioinformatics and cyberinfrastructure learning: a parallel computing case study. *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 26, 13, 2303–2315.
- [23] Mitchel Resnick. 1990. MultiLogo: A study of children and concurrent programming. *Interactive learning environments* 1, 3, 153–170.
- [24] Adam Rifkin. 1994. Teaching parallel programming and software engineering concepts to high school students. *ACM SIGCSE Bulletin* 26, 1, 26–30.
- [25] Charles I Saidu, AA Obiniyi, and Peter O Ogedebe. 2015. Overview of trends leading to parallel computing and parallel programming. *British Journal of Mathematics & Computer Science* 7, 1, 40.
- [26] Amaal Shorman and Mohammad Qataweh. 2018. Performance improvement of double data encryption standard algorithm using parallel computation. *International Journal of Computer Applications* 179, 25.
- [27] Paolo AG Sivilotti and Murat Demirbas. 2003. Introducing middle school girls to fault tolerant computing. *ACM SIGCSE Bulletin* 35, 1, 327–331.
- [28] Michael Steffen and Joseph Zambreno. 2012. Exposing High School Students to Concurrent Programming Principles Using Video Game Scripting Engines. In *2012 ASEE Annual Conference & Exposition*. 25–623.
- [29] Shane Torbert, Uzi Vishkin, Ron Tzur, and David J Ellison. 2010. Is teaching parallel algorithmic thinking to high school students possible? One teacher's experience. In *Proceedings of the 41st ACM technical symposium on Computer science education*. 290–294.