

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

Uso do modelo consensual refinado de PCK como constructo metodológico de pesquisas em educação em ciências: uma revisão da literatura de 2017 a 2024

Stefannie de Sá Ibraim, Poliana Flávia Maia, Leandro Antonio de Oliveira

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18165>

Submetido em: 2026-09-24

Postado em: 2026-09-25 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

ARTIGO

USO DO MODELO CONSENSUAL REFINADO DE PCK COMO CONSTRUCTO METODOLÓGICO DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS: UMA REVISÃO DA LITERATURA DE 2017 A 2024

STEFANNIE DE SÁ IBRAIM¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5724-993X>

stefannieibram@ufmg.br

POLIANA FLÁVIA MAIA²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9778-4486>

poliana.mais@ufv.br

LEANDRO ANTONIO DE OLIVEIRA³

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5597-3438>

leandroo@unicamp.br

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Universidade Federal de Viçosa, Florestal, MG, Brasil.

³ Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

RESUMO: O Modelo Consensual Refinado (RCM) propõe uma compreensão do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) a partir de domínios e enfatizando-se processos de transformação do conhecimento profissional docente. Por oferecer a pesquisadores novas perspectivas para sua investigação, compreender como esse modelo tem sido incorporado às pesquisas empíricas sobre PCK é relevante para identificar avanços, tendências e lacunas na investigação. Assim, este estudo busca caracterizar pesquisas sobre PCK em Ensino de Ciências que adotam o RCM como referencial para análise. Para isso, realizamos uma revisão bibliográfica de artigos empíricos de línguas português, inglês e espanhol publicados e indexados à base ERIC, complementados com aqueles encontrados no *Google Scholar*, no período de 2017 a 2024. Utilizando-se critérios de inclusão e de exclusão bem-definidos, selecionamos e analisamos 39 artigos na íntegra. Os principais resultados evidenciaram: (i) uma diversidade de instrumentos de coleta de dados, com destaque para o CoRe associado a entrevistas e questionários; (ii) que, embora o ePCK seja frequentemente investigado, poucos estudos analisam suas relações com os pPCK e os cPCK; (iii) a predominância de referenciais analíticos anteriores ao RCM e; (iv) limitada investigação sobre suas relações com filtros e amplificadores e resultados dos estudantes. Discutimos, portanto, como o RCM foi explorado por pesquisadores da área no período selecionado, suas potencialidades e limitações, uma vez que ele sido parcialmente explorado em investigações sobre situações reais de ensino nas quais o foco recai sobre movimentos entre os três domínios do PCK que esse próprio modelo preconiza.

Palavras-chave: Modelo Consensual Refinado; PCK; RCM; Educação em Ciências.

USE OF THE REFINED CONSENSUS MODEL OF PCK AS A METHODOLOGICAL CONSTRUCT IN SCIENCE EDUCATION RESEARCH: A LITERATURE REVIEW FROM 2017 TO 2024

ABSTRACT: The Refined Consensus Model (RCM) proposes an understanding of Pedagogical Content Knowledge (PCK) based on domains, emphasizing processes through which teachers' professional

knowledge is transformed. As it offers researchers new perspectives for investigation, understanding how this model has been incorporated into empirical PCK research is relevant for identifying advances, trends, and gaps in the field. Therefore, this study aims to characterize research on PCK in Science Education that adopts RCM as an analytical framework. To this end, we conducted a literature review of empirical articles published in Portuguese, English, and Spanish and indexed in the ERIC database, complemented by articles identified through Google Scholar, from 2017 to 2024. Using well-defined inclusion and exclusion criteria, we selected and analyzed 39 full-text articles. The main findings revealed: (i) a diversity of data-collection instruments, particularly CoRe used in association with interviews and questionnaires; (ii) although ePCK is frequently investigated, few studies examine its relationships with pPCK and cPCK; (iii) the predominance of analytical frameworks developed prior to the RCM; and (iv) limited investigation of its relationships with filters and amplifiers, as well as with student outcomes. We therefore discuss how the RCM was explored by researchers in the field during the selected period, as well as its potentialities and limitations, since it has been only partially explored in investigations of real teaching situations in which the focus lies on movements among the three PCK domains advocated by the model itself.

KeyWords: Refined Consensual Model; PCK; RCM; Science Education.

USO DEL MODELO CONSENSUADO REFINADO DE PCK COMO CONSTRUCTO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIONES EN EDUCACIÓN CIENTÍFICA: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA DE 2017 A 2024

RESUMEN: El Modelo Consensuado Refinado (RCM) propone una comprensión del Conocimiento Pedagógico del Contenido (PCK) a partir de dominios y pone énfasis en los procesos de transformación del conocimiento profesional docente. Dado que ofrece a los investigadores nuevas perspectivas para sus indagaciones, comprender cómo este modelo ha sido incorporado en las investigaciones empíricas sobre PCK resulta relevante para identificar avances, tendencias y vacíos en la investigación. Así, este estudio tiene como objetivo caracterizar las investigaciones sobre PCK en la Enseñanza de las Ciencias que adoptan el RCM como marco de análisis. Para ello, realizamos una revisión bibliográfica de artículos empíricos publicados en portugués, inglés y español, indexados en la base de datos ERIC y complementados con aquellos identificados en Google Scholar, en el período comprendido entre 2017 y 2024. Mediante criterios de inclusión y exclusión bien definidos, seleccionamos y analizamos íntegramente 39 artículos. Los principales resultados evidenciaron: (i) una diversidad de instrumentos de recolección de datos, con especial destaque para el CoRe asociado a entrevistas y cuestionarios; (ii) aunque el ePCK se investiga con frecuencia, pocos estudios analizan sus relaciones con el pPCK y el cPCK; (iii) el predominio de marcos analíticos anteriores al RCM; y (iv) una investigación limitada sobre sus relaciones con filtros y amplificadores, así como con los resultados de los estudiantes. Por lo tanto, discutimos cómo el RCM fue explorado por investigadores del área durante el período seleccionado, sus potencialidades y limitaciones, dado que ha sido explorado solo parcialmente en investigaciones sobre situaciones reales de enseñanza, en las cuales la atención se centra en los movimientos entre los tres dominios del PCK que el propio modelo propone.

Palabras clave: Modelo Consensuado Refinado; PCK; RCM; Educación en Ciencias.

INTRODUÇÃO

O conhecimento pedagógico de conteúdo (pedagogical content knowledge – PCK) é um construto que tem sido investigado por diversos pesquisadores da área de Educação desde sua proposição

por Lee Shulman (1986, 1987). A partir da compreensão e defesa das especificidades e complexidades do ensino, Shulman propôs a existência de uma base de conhecimentos próprios da atividade profissional docente, a qual implica no conhecimento docente ir além da dimensão do conteúdo em si e envolve elementos relacionados à dimensão do conhecimento para o ensino (Shulman, 1986). Essa concepção inicial de PCK foi proposta em um contexto teórico e de reivindicações políticas, sobretudo nos Estados Unidos, em prol da profissão docente (Shulman, 2015).

Em seus trabalhos seminais, Shulman (1986, 1987) propôs que o PCK envolve dois componentes: o conhecimento sobre as representações do conteúdo e o conhecimento sobre as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos estudantes. Esses conhecimentos podem ser considerados como elementos-chave para o PCK do professor, porque, segundo o autor, eles ajudam a fundamentar o pensamento do docente sobre o que faz um tópico de uma disciplina ser mais difícil ou fácil de ser aprendido pelos estudantes. A partir disso, o professor pode selecionar qual a melhor forma de representar tal tópico visando favorecer a aprendizagem.

Desde as proposições de Shulman, pesquisas têm sido feitas ao longo dos últimos 40 anos para buscar compreender melhor a gênese desse conhecimento, sua constituição, manifestação e desenvolvimento, além de buscar caracterizar como ele influencia, sobretudo, as práticas docentes de professores em diferentes áreas e disciplinas (Gess-Newsome, 2015; Chan & Hume, 2019). À medida que essas pesquisas são apresentadas na literatura, parece cada vez mais consensual entre especialistas em PCK que esses conhecimentos são complexos, influenciados por diversos fatores, que eles influenciam na aprendizagem dos estudantes e que não podem ser alcançados apenas pelo domínio de conhecimentos técnicos ou pedagógicos gerais (Berry et al., 2008; Berry et al., 2015; Carlson et al., 2019; Gess-Newsome, 2015; Grossman et al., 1989; Hume et al., 2019; Shulman, 1986, 1987). Contudo, principalmente na última década, estudos que utilizam modelos de PCK como lente teórico-metodológica têm apontado algumas limitações desses modelos, principalmente quando investigações sobre contextos reais de sala de aulas são realizadas (Chan & Hume, 2019).

Historicamente, esses apontamentos têm motivado a reinterpretação, resignificação, adaptação e ampliação de entendimentos e compreensões acerca desse constructo, de forma que hoje a compreensão a ele associada conta com a contribuição de muitos pesquisadores. Assim, reconhecendo a validade do construto criado e suas limitações práticas, pesquisadores têm se dedicado a investigar o PCK em contextos práticos de ensino (por exemplo, Bertram & Loughran, 2014; Faikhamta, 2013; Mavhunga, 2014; Mavhunga & Rollnick, 2013; Park & Chen, 2012), a propor ferramentas para investigar e desenvolver o PCK de professores (Alonzo et al., 2019; Bertram & Loughran, 2014; Henze & Barendsen, 2019; Kirschner et al., 2015; Mavhunga, 2014; Park & Suh, 2015) e a propor modelos que reflitam melhor aproximações com os conhecimentos profissionais docentes que são mobilizados em contextos reais de sala de aula (Alonzo et al., 2019; Berry et al., 2008; Berry et al., 2017; Carlson & Daehler, 2019; Fernandez, 2015; Gess-Newsome, 2015b; Autores, 2021; Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008; Park & Suh, 2019).

É nesse contexto que focamos o olhar neste artigo sobre um modelo recente e que vem recebendo atenção em publicações da área nos últimos oito anos: o Modelo Consensual Refinado, em inglês Refined Consensual Model (RCM) (Carlson et al., 2019). Este modelo foca nos PCK de professores de Ciências em diferentes domínios e é resultado de uma busca e movimento contínuo de apresentação na literatura de um constructo teórico-metodológico de PCK que melhor retrate os múltiplos domínios do conhecimento docente (Carlson et al., 2019; Alonzo et al., 2019). Apesar das potencialidades que o RCM apresenta, os próprios idealizadores (Carlson et al., 2019) apontam que ele também apresenta limitações, uma vez que não explicita: (i) os mecanismos e os caminhos pelos quais os professores desenvolvem e fortalecem seus PCK para o ensino de ciências, e alteram sua prática de ensino; e, (ii) as relações entre a aprendizagem dos estudantes e as ações docentes.

Considerando a necessidade de melhor compreensão sobre o RCM e seu impacto nas pesquisas no campo, neste artigo, buscamos analisar e compreender como artigos da área de Educação em Ciências, no período de 2019 a 2024, que utilizam o RCM na elaboração teórica e/ou metodológica do estudo, têm investigado os domínios de PCK, bem como alguns mecanismos de integração entre eles. Portanto, visamos responder às seguintes questões de pesquisa:

1. Quais domínios de PCK e elementos presentes no RCM foram investigados em artigos publicados na literatura em Educação em Ciências de 2017 a 2024?
2. Como os domínios de PCK apresentados no RCM foram investigados nesses artigos e em quais contextos isso ocorre?

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A partir dos modelos de Shulman (1986; 1987), vários pesquisadores propuseram modelos de PCK e contribuíram para o avanço da área de Educação em Ciências. Um dos modelos mais conhecidos e utilizados na literatura é o modelo de Magnusson et al. (1999). Nesse modelo, o PCK é considerado um conhecimento que inclui as orientações para o ensino de ciências, isto é, o conhecimento e as crenças do professor sobre os objetivos do ensino para uma determinada série escolar e tais orientações formam os conhecimentos de currículo, sobre os estudantes, de estratégias instrucionais e de avaliação. Este modelo tem sido amplamente utilizado por pesquisadores da área, visto a sua capacidade de retratar os componentes de conhecimento associados ao PCK, o que possibilita o uso de categorias bem definidas nas pesquisas.

Apropriando-se de contribuições de Donald Schön (1987, 1991) sobre aspectos da reflexão docente como importantes na profissão, até então não consideradas em modelos de PCK, Park e Oliver (2008) propõem o modelo pentagonal do PCK, que também é amplamente usado na literatura. Considerando que os conhecimentos docentes podem ser pensados em duas dimensões, uma de natureza mais conceitual e outra mais prática, esses autores propõem uma reorganização dos elementos do PCK propostos por Magnusson et al. (1999), e as relações entre eles na constituição desse conhecimento, a partir de movimento de reflexão na e sobre a ação. Esse modelo trouxe grandes contribuições e avanços em termos metodológicos porque fundamenta a concepção de mapas de PCK para investigar o PCK de professores a partir de relações estabelecidas pelos sujeitos (professor e estudantes), entre os elementos de conhecimentos profissionais docentes e do grau de intensidade dessas relações (Chan & Hume, 2019; Park & Chen, 2012; Park & Suh, 2019).

Como um movimento natural do campo de pesquisas educacionais, as discussões iniciadas por Shulman e as proposições de modelos de PCK apresentadas ao longo dos anos, bem como os resultados de pesquisas na área, iluminaram discussões sobre o PCK a partir de evidências de especificidades do trabalho docente e, consecutivamente, que as interpretações sobre ele são polissêmicas entre os pesquisadores (Chen et al., 2019; Gess-Newsome, 2015), uma vez que, por exemplo, o PCK é tanto associado ao conhecimento declarativo dos professores quanto ao conhecimento mobilizado na ação docente em sala de aula (Chan & Hume, 2019). Por essa razão, como uma primeira tentativa de estabelecer um consenso sobre o PCK, no ano de 2012, vinte e dois pesquisadores especialistas e atuantes no campo de PCK se reuniram no evento “PCK Summit” para discutirem o significado e a utilização desse construto, analisando seus diversos desdobramentos e diferentes visões que se constituíram ao longo do tempo (Berry et al., 2015; Gess-Newsome, 2015).

No PCK Summit, foi consensualmente estabelecido que: (i) o PCK tem um caráter dinâmico, por isso, deve ser considerado para além de uma dimensão estática e conceitual; (ii) os conhecimentos profissionais gerais e tópicos específicos devem ser representados e articulados separadamente do conhecimento pessoal e das habilidades do docente; e (iii) os conhecimentos profissionais e habilidades docentes devem incluir os resultados dos estudantes e suas relações com a prática do professor em sala de aula. Com tais concepções fundamentadas consensualmente, a cúpula cunhou o Modelo Consensual de Conhecimento Profissional Docente e Habilidades (em inglês, Consensus Model of Teacher Professional Knowledge and Skill) (Gess-Newsome, 2015), que ficou conhecido na área como Modelo Consensual de PCK. Essa construção buscava apresentar uma nova ferramenta para orientar a compreensão dos pesquisadores, possibilitar novas interpretações de resultados encontrados em pesquisas anteriores e destacar complexidade da prática envolvendo conteúdos e em contextos específicos.

Mesmo considerado um “modelo consensual” desde a sua proposição, estudos que o utilizam têm destacado algumas de suas potencialidades e limitações (Carlson et al., 2019). Isso motivou a revisão desse “modelo consensual”, a fim de proporcionar uma melhor ferramenta para as pesquisas e ações formativas na docência (Berry et al., 2017). Assim, a partir de 2016, um grupo de pesquisadores (compostos por pesquisadores que estavam na primeira cúpula e outros estudiosos do assunto) em ensino de ciências ativos na área passou a repensá-lo e, em 2017, foi realizada uma nova cúpula visando o refinamento do modelo apresentado no primeiro encontro.

A partir de discussões, compartilhamento de instrumentos e estratégias para avaliar e mensurar o PCK de professores de Ciências, resultados encontrados nas pesquisas recentes e o grau de alinhamento dos trabalhos entre os pesquisadores envolvidos, a segunda cúpula propôs o Modelo Consensual Refinado de PCK, em inglês Refined Consensual Model (RCM). Na concepção desse modelo, os diferentes tipos e domínios de conhecimentos profissionais docentes são representados em círculos concêntricos, destacando a prática docente no interior e no centro dos círculos.

O RCM é concebido a partir de complexas camadas de conhecimento e experiências relacionados aos processos de ensino de Ciências promovido por professores (Carlson et al., 2019). Na sua representação, que leva em conta domínios de conhecimentos em cinco círculos concêntricos, consideram-se trocas bidirecionais de conhecimentos que ocorrem ao longo da jornada profissional de docentes na educação científica. Segundo Carlson et al. (2019), essa representação foi uma forma de buscar valorizar a conexão e a articulação entre os diferentes domínios de conhecimentos docentes, indo da dimensão mais estática e canônica (base de conhecimentos) até a mais dinâmica e fluída (PCK em ação). Além disso, no RCM são enfatizadas as interações sociais (entre professor-estudante, por exemplo) como impulsionadoras da interação, articulação e transformação de conhecimentos docentes. Por fim, um aspecto central no RCM é a sinalização da existência de três domínios de PCK, o PCK coletivo, o PCK pessoal e o PCK em ação.

Com uma leitura da representação do RCM de fora para dentro do modelo, observa-se que, respectivamente, cada círculo representa:

- (i) a base de conhecimento docente, que contempla os elementos de conhecimentos enunciados por Shulman na década de 80;
- (ii) o PCK coletivo (collective PCK - cPCK), o qual espelha as discussões sobre o conhecimento profissional de tópico específico e está associado a um conhecimento público, compartilhado por educadores da área de Ciências, incluindo os próprios professores;
- (iii) o contexto de aprendizagem, que visa valorizar os contextos de aprendizagem em que as investigações ocorrem. Situado entre o cPCK e o pPCK (do inglês personal PCK, traduzido como PCK pessoal), o contexto de aprendizagem indica que o conhecimento da comunidade é diferente daquele mantido por um professor específico, o que permite diferenciar o PCK canônico do PCK pessoal;
- (iv) o pPCK, o qual destaca que o conhecimento docente é desenvolvido e aprimorado em processos formativos, experiências de ensino e quaisquer outras trocas com professores, estudantes ou profissionais da área. Além disso, o pPCK sinaliza que um conhecimento é único, individual e específico de um professor, sendo este constituído a partir de suas vivências acadêmicas e experiências em contextos de aprendizagem; e,
- (v) o enacted PCK (ePCK, que em português adotamos a tradução como PCK em ação), o qual está relacionado ao PCK e habilidades mencionado por Gess-Newsome (2015a). O ePCK aborda os conhecimentos e habilidades mobilizados por um professor em uma situação de ensino específica e, por isso, tem caráter mais dinâmico que os demais domínios.

As considerações sobre a representação geral do modelo, os diferentes domínios de PCK e a percepção de que o PCK se manifesta de forma diferente no âmbito coletivo, pessoal e em ação levaram os pesquisadores a discutirem sobre elementos que influenciam as trocas de conhecimento entre os domínios (Alonzo et al., 2019; Nilsson, 2024). Para reforçar as interrelações entre os conhecimentos, setas duplas foram incluídas entre as camadas representando filtros e amplificadores (tais como crenças do professor, identidade docente, motivações, orientações, contextos específicos de ensino, conhecimentos prévios dos estudantes etc.). Tais setas medeiam os diferentes domínios do PCK (cPCK,

pPCK e ePCK) e informam as trocas entre eles e destes com as bases mais gerais de conhecimento profissionais docentes, à medida que professores de Ciências se tornam mais experientes (Sorge et al., 2019).

Em linhas gerais, a proposição do RCM buscou proporcionar aos pesquisadores uma melhor forma de situarem seus estudos a partir de diferentes focos e perspectivas, considerando-se, com destaque, diferentes domínios de PCK; a aprendizagem de estudantes a partir do uso desses PCK por professores; valorização da ação docente e consideração de influências do contexto de aprendizagem. Além disso, destaca-se a intenção de auxiliar formadores de professores sobre uma possibilidade de situar a educação formal, a aprendizagem profissional, o desenvolvimento profissional docente e as experiências de ensino.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Considerando as questões de interesse desse artigo, realizamos uma revisão da literatura (Romanowski & Ens, 2006) baseada no método PRISMA 2020 (Page et al., 2022) com a intenção de caracterizar um panorama de pesquisas da área de Educação em Ciências que têm adotado o RCM (Carlson et al., 2019) como referencial teórico-metodológico, e analisar como os autores têm se apropriado desse construto e das possibilidades que foram anunciadas em sua proposição. Para isso, o primeiro passo metodológico foi delimitar as questões de interesse e definir as bases de dados. Optamos por adotar a base de dados Education Resources Information Center (ERIC) como fonte principal de busca porque ela reúne artigos científicos indexados e publicados em língua inglesa, a qual é mais recorrente nas publicações sobre o tema. Além disso, para expandir a busca, adotamos também o repositório do *Google Scholar*, por apresentar produção de conhecimento de autores de língua portuguesa e espanhola, e por minimizar as pressões editoriais relacionadas apenas a artigos de periódicos indexados em grandes bases de dados, tal como o SCIELO.

Para identificar os artigos de interesse, realizamos a busca nas duas bases utilizando os termos e arranjos: (i) “Refined Consensual Model”; (ii) “Refined Consensual Model” and “Science Education”; (iii) “RCM” and “Science Education”; (iv) “ePCK” and “Science Education”; (v) “pPCK” and “Science Education”; (vi) “cPCK” and “Science Education”; (vii) “Refined Consensual Model” and “Pedagogical Content Knowledge”; (viii) “Modelo consensual refinado”; (ix) “Modelo consensual refinado” and “Conhecimento pedagógico de conteúdo”. Ao utilizar uma variedade de conjugação e termos, buscamos uma maior probabilidade de identificar os artigos de interesse. Além disso, estabelecemos o intervalo temporal de 2017 a 2024, visto que as primeiras discussões sobre a revisão do modelo consensual de PCK foram publicadas em 2017 (Berry et al., 2017) e o levantamento de dados foi realizado até novembro de 2024.

A partir da busca focada em publicações do tipo artigo, estabelecemos os seguintes critérios de inclusão: (i) artigos que abordam o RCM como modelo teórico-metodológico; (ii) foco em artigos revisados por pares em periódicos (o que excluiu trabalhos de congresso, livros, capítulos de livros, propostas pedagógicas entre outros); (iii) consideração de artigos em língua inglesa, portuguesa e espanhola (excluindo, por exemplo, artigos em língua alemã e coreana); e, (iv) seleção de artigos empíricos, artigos que investigam elementos diretamente relacionados ao RCM ou aos domínios de PCK apontados nesse modelo. Em seguida, aplicamos os seguintes critérios de exclusão: (i) repetições de artigos nas bases consultadas; (ii) artigos repetidos em razão da existência da publicação em português e inglês; (iii) artigos fora da área de Educação em Ciências, foco do estudo; e, (iv) artigos que apenas citam o RCM na introdução e fundamentação teórica, mas não o emprega na análise e discussão dos resultados.

Nesse processo de busca, localizamos no *Google Acadêmico* 118 artigos e na base ERIC 27 artigos, totalizando 145 artigos revisados por pares encontrados. Inicialmente, realizamos a leitura de todos os resumos e, quando as informações não eram suficientes para identificar todos os critérios de seleção, realizamos a leitura do texto completo. Concomitante à leitura, e empregando os demais critérios de inclusão e exclusão, foram excluídos: 27 artigos teóricos; quatro artigos que estavam fora da área de Educação em Ciências; 10 artigos que estavam em duplicidade nas

bases ou em idiomas diferentes; três artigos aos quais não tivemos acesso ou não foi possível realizar *download*; 61 artigos que apenas mencionam o RCM, mas não o adotam como referencial teórico-metodológico, ou que não realizam discussões específicas sobre os domínios de conhecimento que ele considera. Com este filtro, tivemos ao final 39 artigos que utilizam o RCM como referencial metodológico para investigar aspectos do PCK em contextos de ensino de Ciências, os quais receberam um código de A1 a A39 (Apêndice).

Realizamos a leitura na íntegra de todos os 39 artigos e, em um movimento inicial de análise, identificamos qual domínio de PCK estava sendo analisado no artigo; no caso de mais de um domínio sendo analisado, se os autores discutiam relações entre eles; se a relação entre o PCK e a aprendizagem dos estudantes estava sendo investigada; e, se ações de filtros e amplificadores foram analisadas e/ou discutidas. A partir desse movimento, dividimos os artigos em categorias relacionadas ao RCM (por exemplo, analisa cPCK, pPCK e ePCK; e discute a articulação ePCK-aprendizagem dos estudantes e ePCK-filtros e amplificadores). Ressaltamos que nos casos em que os pesquisadores investigaram a articulação entre os domínios de PCK (como, pPCK-ePCK), alocamos o artigo apenas em uma categoria, ‘articulação pPCK-ePCK’, mesmo entendendo que para fazer esse movimento de análise, pode ser necessário primeiro identificar os domínios separados. Isto foi feito para evidenciar as tendências no campo.

Identificamos todos os instrumentos de análise utilizados pelos autores em suas pesquisas e organizamos os trabalhos em categorias que surgiram a partir dos dados analisados (por exemplo, coleta de dados a partir de observação e/ou uso do CoRe). Neste caso, um mesmo artigo poderia estar em mais de uma categoria, visto que é comum o uso de instrumentos variados na coleta de dados, principalmente, em pesquisas qualitativas (Cohen *et al.*, 2011). De forma similar, seguimos na análise identificando os contextos nos quais os estudos foram realizados. Dessa forma, organizamos os artigos em categorias que surgiram a partir dos contextos indicados nos estudos, como ‘contexto de formação inicial’ e ‘estudo em contexto de sala de aula’.

Na sequência, identificamos nos artigos os referenciais de análise adotados pelos autores. Embora todos os artigos selecionados apontem o RCM como referencial teórico-metodológico, buscamos entender como o campo tem realizado as investigações e identificação dos domínios de PCK na prática. Isto porque, como apontam Carlson *et al.* (2019), o RCM não tem a pretensão de ser um modelo de análise, apesar de poder ser usado com essa finalidade.

Por fim, a partir da análise de todas essas categorias e dos agrupamentos realizados, nos dedicamos a triangular as informações buscando estabelecer tendências e sinalizar relações entre os aspectos analisados. Salientamos que o processo de análise dos artigos foi realizado por todos os autores, e as divergências de interpretações foram discutidas visando o estabelecimento de consenso sobre as classificações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

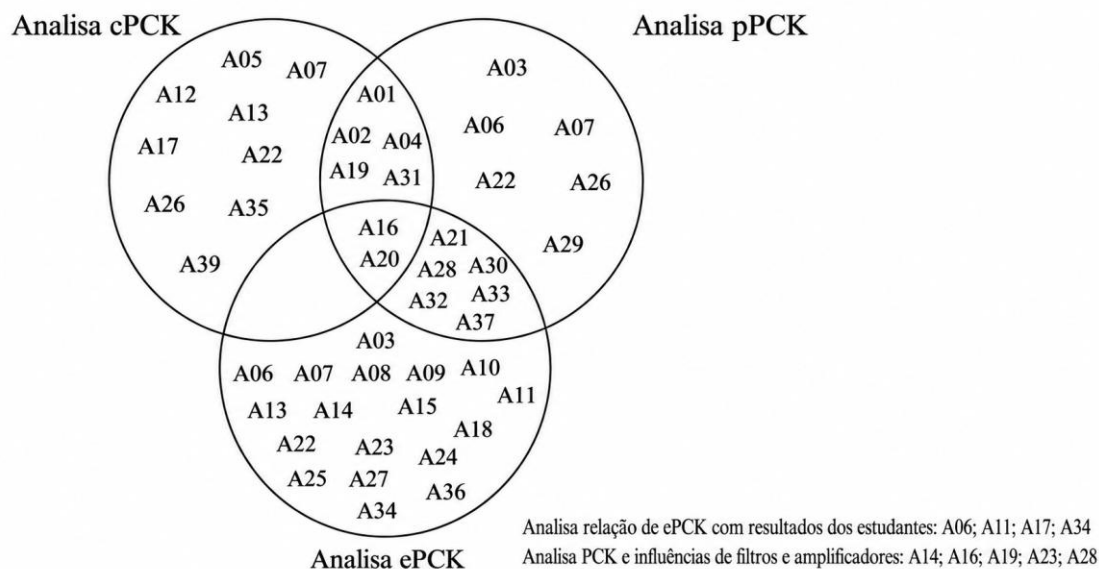
Apresentamos a seguir os resultados em diferentes tópicos temáticos, explicitando as tendências observadas no *corpus* de análise.

Identificação e relações entre os domínios do PCK

Em primeiro lugar, nossa análise evidencia que pesquisadores em Educação em Ciências buscaram analisar domínios e a natureza dos PCK - cPCK, pPCK e ePCK - a partir do RCM no período de 2017 a 2024 em diferentes configurações, como pode ser visualizado no diagrama da Figura 1. Nas áreas do diagrama que não são interseções, os artigos apenas analisam o domínio do PCK indicado. Nas áreas de interseções entre dois domínios do PCK (por exemplo de cPCK com pPCK), são apresentados artigos nos quais os autores analisam tais domínios e, também, discutem suas relações nos resultados. Por último, a área da interseção central entre os três domínios é destinada a artigos que analisam esses domínios e apresentam considerações sobre relações entre eles na pesquisa. A Figura 1 também apresenta

artigos que realizam análises sobre aspectos do ePCK relacionados à aprendizagem de estudantes e as influências de filtros e amplificadores sobre o PCK, os quais estão descritos na lateral da imagem.

Figura 1 Diagrama sobre identificação/caracterização¹ de domínios dos PCK nas publicações analisadas



Fonte: Autores.

Em termos quantitativos, o domínio ePCK tem sido o mais investigado a partir do RCM, uma vez que ele é identificado analiticamente em 26 (66,67%) das 39 publicações selecionadas. Por outro lado, investigações focadas nos domínios pPCK e cPCK são menos expressivas, presentes, respectivamente, em 19 (48,72%) e 16 (41,03%) dos estudos. No artigo A03, por exemplo, Vollebreg *et al.* (2021) identificam e caracterizam aspectos de pPCK e ePCK de professores de Física embasados no RCM, mas sem analisar como um desses domínios influencia no outro. Por meio de comparação, os autores observaram que cPCK foram expressos em momentos de formação colaborativa de professores, discutindo o uso de experimentação para o ensino de Física e que ePCK foram colocados em prática na sala durante a condução de experimentos.

Além de identificar tais domínios, 13 trabalhos apresentam análises que levam em consideração relações e influências mútuas entre domínios do PCK (Carlson *et al.*, 2019). Deste conjunto, seis artigos analisam relações entre pPCK e ePCK e analisam influências mútuas entre eles; cinco deles analisam influências entre cPCK e pPCK e apenas dois analisam influências mútuas entre os três domínios (Behling *et al.*, 2022; Irmer *et al.*, 2023). Por exemplo, Behling *et al.* (2022) analisaram aspectos desses domínios, além de influência de filtros e amplificadores, em um contexto de um seminário oferecido a 58 licenciandos de Biologia. Neste seminário, os licenciandos discutiram situações moderadoras em conjunto (cPCK) para, em seguida, cada um elaborar um planejamento (pPCK) considerando várias ações de ensino (ePCK). Uma das considerações dos autores neste estudo, levando em conta a influência de filtros e amplificadores nas influências mútuas entre os domínios do PCK (Carlson *et al.*, 2019) é que

To transform this cPCK into every science teacher's pPCK, and from there to ePCK, would be in all students' interests. Therefore, further filters and amplifiers that moderate this transformation processes should be identified. (Behling *et al.*, 2022, p. 17)

¹ A ferramenta de inteligência artificial Perplexity foi utilizada para melhorar a qualidade do diagrama e distribuir homogeneamente os códigos no interior dele.

Ainda sobre a análise de influências de filtros e amplificadores em domínios do PCK, além de Behling *et al.* (2022), outros quatro artigos realizam esse movimento. Alguns desses trabalhos evidenciaram, por exemplo, que, em alguns casos, filtros e amplificadores moldam o processo de tomada de decisão de professores de Ciências no ato de ensinar (ePCK), afetam o conhecimento curricular e sobre estratégias de ensino (Şen & Demirdöğen, 2023) e que crenças docentes de uma professora de Química sobre investigação influenciaram significativamente em seus ePCK (Morris, 2024) durante a condução de uma prática de ensino em uma perspectiva investigativa.

Também identificamos que quatro artigos analisam como ePCK de professores de Ciências influenciaram a aprendizagem de estudantes. Em um deles, Mazibe *et al.* (2025) investigaram relações entre o ensino de conceitos de eletrostática por professores de Física e a aprendizagem de seus alunos. Como um dos resultados, esses autores observaram que evidências de aprendizagem significativa dos estudantes, mesmo em graus relativamente fracos e moderados, correspondiam à maneira como os conceitos de física foram explicados pelos professores.

Análise a partir dos instrumentos utilizados na coleta de dados

Ao longo da revisão da literatura, identificamos que foram utilizados diversos instrumentos de coleta, assim destacamos apenas os mais recorrentes na Tabela 1, com a intenção de levantar as tendências no campo e possíveis relações com os domínios de PCK investigados, sendo assim a Tabela 1 não apresenta todos os artigos analisados.

Tabela 1: Principais tipos de instrumentos utilizados nas pesquisas

Instrumento de coleta	Número de artigos que utilizam	Código identificador dos artigos
CoRe	14	A01; A03; A06; A07; A09; A10; A11; A13; A15; A21; A23; A31; A37; A39
Observação de situação de ensino	13	A03; A13; A14; A15; A17; A18; A22; A25; A27; A30; A36; A37; A38
Entrevista semi-estruturada – geral	13	A02; A04; A05; A13; A14; A22; A25; A26; A29; A30; A31; A36; A38
Entrevistas semi-estruturada estimulada por vídeo ou episódios de sala de aula	9	A03; A11; A12; A15; A17; A21; A27; A35; A37
Questionário	8	A08; A09; A11; A16; A19; A20; A28; A31

Fonte: Autores.

Na Tabela 1, observamos que um dos instrumentos mais utilizados na literatura tem sido o CoRe, o qual é apontado como uma ferramenta destinada a capturar e tornar visível diferentes componentes de PCK do professor, assim como para a articulação entre os conhecimentos de conteúdo e pedagógicos (Kind, 2009).

Observamos que o CoRe tem sido utilizado de forma diversas:

- associado a movimentos de preenchimento pré e pós aplicação (por exemplo, A03, A09 e A39), como forma de sondar alterações no PCK dos professores em virtude da aplicação em sala de aula ou de um processo formativo;
- destinado a coletar as considerações dos professores ao planejar o ensino de um tópico específico de conteúdo (por exemplo, A15 e A21) ou uma prática científica (por exemplo, A31);

- associado à entrevista (por exemplo A13, A31 e A06), visando investigar as reflexões e as explicações dos professores para os conhecimentos manifestados ao responder às questões do CoRe;
- pós contexto formativo (por exemplo, A37 e A39) associada ao ensino de um tópico específico de conteúdo; e,
- como estimulador da reflexão coletiva (por exemplo, A39).

A partir dos usos do CoRe apontados, chamamos atenção para aquele conjugado com entrevista, seja estimulada por episódios de sala de aula ou para esclarecimento das respostas, e como ferramenta estimuladora de reflexão. No caso do uso do CoRe associado a entrevista, reforçamos a importância de os pesquisadores explorarem as respostas dos professores, buscando um melhor entendimento sobre suas declarações, a fim de conferir confiabilidade aos dados coletados. Isso se justifica principalmente porque há apontamentos de que o CoRe captura melhor declarações relacionadas às orientações para o ensino, às estratégias de ensino e à percepção dos docentes sobre os estudantes (Sannerts et al., 2026). Conforme apresentado por Ottogalli e Bermudez (2024) (A06), o uso associado do CoRe às entrevistas possibilita tornar o conhecimento tácito do pPCK em conhecimento explícito. Contudo o CoRe apresenta limitações em termos do conhecimento de currículo e avaliação (Sannerts et al., 2026). Portanto, aprofundar junto aos professores suas respostas e justificativas é um caminho para maior confiabilidade dos dados.

No caso do estímulo à reflexão, pesquisadores têm ampliado o uso do CoRe, deixando de utilizá-lo apenas como ferramenta de captura ou coleta de declarações dos professores, usando-o como um estimulador para a discussão entre professores, fomentando, por exemplo, o desenvolvimento de ePCK. Neste caso, tanto o estabelecimento das grandes ideias associadas a um tópico de conteúdo quanto os itens relacionados ao CoRe são postos em discussão no grupo, visando a ampliação dos conhecimentos docentes e o estabelecimento de consenso entre os professores. Por exemplo, Forsler et al. (2024) (A21) investigaram como um conjunto de professores de ciência em formação inicial desenvolveram seus conhecimentos e expertise em desenvolvimento sustentável a partir de reflexões coletivas com o suporte do CoRe. Para tal, os docentes preencheram o CoRe individualmente e, posteriormente, discutiram em grupo as grandes ideias elencadas por eles e suas respostas apresentadas inicialmente. Sendo assim, a literatura aponta uma nova forma de utilizar o CoRe nas investigações sobre PCK, a qual pode ser explorada em programas de formação de professores, seja continuada e inicial.

Em termos da relação entre o uso do CoRe e os domínios de PCK investigados, percebemos que nos estudos analisados, na maioria dos casos, o CoRe foi utilizado como instrumento para acessar o pPCK de professores, em especial de um tópico específico de conteúdo, justamente por contribuir para que os professores, ao responder as questões propostas, manifestem seus conhecimentos por meio de declarações. Entretanto, também notamos o uso do CoRe em investigações relacionadas ao ePCK (por exemplo, A03, A07 e A13), o que chama atenção considerando a natureza dinâmica do conhecimento. Por exemplo, no trabalho de Mazibe *et al.* (2025) (A17), os autores utilizaram o CoRe para sondar o ePCK² dos professores e o papel dos filtros e amplificadores na articulação ePCKp-ePCKt, associando dados coletados em situação de planejamento. Neste caso, apesar da pesquisa estar localizada no domínio do ePCK, destacamos que na literatura há um entendimento de que o ePCKp espelha o pPCK (Coetzee et al., 2022; Forsler et al., 2024), uma vez que o professor mobiliza seu repertório de conhecimento ao planejar uma aula. Logo o ePCKp guarda característica de um conhecimento um pouco mais estático quando comparado ao ePCKt, o que poderia justificar a sua associação ao CoRe.

Diante do exposto, destacamos que o CoRe ainda é considerado um instrumento válido para capturar as declarações dos professores sobre o processo de ensino e os componentes de conhecimento envolvidos em seu PCK, isto ocorre mesmo quando ele está associado ao domínio de ePCK. Porém, seu uso tem sido expandido, associando-o a um elemento formativo, a partir de movimentos de reflexão proporcionados pela seleção das grandes ideias de um tópico de conteúdo ou reflexões sobre as questões

² O ePCK (enacted PCK em inglês, traduzido como PCK em ação) compreende um ciclo que pode ser desmembrado em três domínios: ePCKp (relacionado ao planejamento, que é anterior à atuação do professor em sala de aula, mas se relaciona diretamente a ela), ePCKt (relacionado ao ensino – do inglês *teaching* – que abrange a própria ação do professor no momento de atuação em sala de aula) e ePCKr (relacionado à reflexão docente sobre sua atuação).

apresentadas nele. Ademais, o uso do CoRe em pesquisas que investigam ePCK enfatiza a importância da subdivisão no domínio do ePCK (ePCK_p - ePCK_t - ePCK_r), de forma a possibilitar o estabelecimento de metodologias diferentes para cada etapa do ciclo pedagógico (Planejar-Ensinar-Refletir).

No que diz respeito ao uso da observação de situações de ensino, percebemos que dos 13 estudos que se apoiam neste instrumento para a coleta de dados, todos estão associados às investigações sobre ePCK, seja pela análise exclusiva deste domínio (aproximadamente 77%) ou sua articulação com pPCK (aproximadamente 23%). Reforçamos que este resultado é coerente com a natureza dinâmica e fluída do ePCK, principalmente o ePCK_t, por ele ser manifestado em situações de ensino. Além disso, o contexto de sala de aula é a fonte mais favorável para se ter acesso ao ePCK, uma vez que este é mobilizado no ciclo pedagógico de planejar, ensinar e refletir.

Apesar do uso da observação em sala de aula ser potencial para analisar o ePCK de professores, reconhecemos que este apresenta limitações, em especial quando buscamos compreender as razões para determinadas ações realizadas pelo docente no contexto de ensino. Em outras palavras, as observações em sala de aula podem dar aos pesquisadores acesso às ações do professor durante o processo de ensino, bem como às interações entre professor-aluno, possibilitando analisar as proximidades e distanciamentos entre aquilo que o professor declara fazer e faz em sala de aula, um problema sinalizado e discutido na literatura (Park, 2019). Entretanto, o fato de o ePCK ser considerado um conhecimento tácito, cujas razões que fundamentam as decisões tomadas durante o processo de ensino nem sempre são conscientemente reconhecidas pelo professor, implica a necessidade de associar outros métodos de coleta de dados. Isso se faz necessário para viabilizar o acesso as justificativas e as reflexões do docente sobre os episódios que foram observados, podendo atribuir maior credibilidade e validade aos dados gerados. Nesse sentido, observamos que, exceto pelo A18, todos os estudos que utilizaram de observação em sala de aula também realizaram coleta de dados em situação de entrevistas.

Em linhas gerais, notamos que os trabalhos têm utilizado preferencialmente entrevistas do tipo semiestruturada, as quais contam com um conjunto de questões previamente definidas e ordenadas, mas que possibilitam ao entrevistado responder de forma aberta (Cohen et al., 2011), manifestando seus conhecimentos e expressando suas reflexões. Em termos do formato das entrevistas, apontamos duas tendências: entrevistas gerais baseadas apenas em perguntas e respostas (presente em 13 artigos), e entrevistas estimuladas por episódios de sala de aula (presente em 8 estudos), sejam esses mobilizados por vídeos, fotos, casos *etc.*

No que diz respeito às entrevistas estimuladas, destacamos que 6 dos 9 estudos (aproximadamente 67%) utilizaram de entrevistas em pesquisas que visavam investigar o domínio de ePCK (A03, A11 e A17), ou a articulação dos domínios pPCK-ePCK (A12 e A37) ou a relação ePCK-resultados dos estudantes (A11). Apenas A06 e A35 investiga exclusivamente pPCK e A12 analisa cPCK. O fato de ser expressivo o número de estudos que utilizam deste instrumento no contexto de investigação de ePCK é uma evidência da necessidade de se utilizar de técnicas de investigação que possibilitem ao professor expressar suas reflexões e justificar suas ações em sala de aula quando se deseja investigar elementos associados ao raciocínio pedagógico.

Em termos das formas de estímulos, observamos que estas podem ser realizadas a partir da seleção de episódios de sala de aula relacionados às situações de ensino conduzidas pelo professor, e observadas no contexto de coleta de dados, tal como acontece em Vollebregt et al. (2021) (A03). Outra forma de estímulo que encontramos se refere ao uso de situações genéricas de sala de aula, as quais representam boas práticas de ensino e que possibilitam ao professor expressar como ele conduziria ou agiria frente àquela situação. Por exemplo, em Ellebaek (2021) (A12), o autor usou de fotos e anotações para incentivar o professor a refletir sobre habilidades e componentes de PCK envolvidos nas situações retratadas como forma de dar visibilidade aos aspectos coletivos do desenvolvimento de PCK de professores em escolas primárias.

Alguns dos estudos em pauta fizeram uso de questionários para analisar diferentes domínios do PCK, incluindo estudos que investigaram ações de filtros e amplificadores. Apesar de seu uso reconhecido em pesquisas quantitativas devido à possibilidade de aplicação facilitada frente a uma grande amostra (Cohen et al., 2011), não encontramos resultados significativos em termos da natureza da pesquisa, de forma que observamos seu uso tanto em pesquisas qualitativas quanto quantitativas.

Entretanto, o que chama atenção nos estudos analisados é o fato de 4 entre 8 (50%) utilizarem de questionários em contexto pré e pós um processo formativo ou uma experiência de ensino. Por exemplo, Buma *et al.* (2024) (A09) investigaram como o conhecimento dos professores sobre natureza da matéria se desenvolveu ao longo de *workshops*, que foram conduzidos por professores especialistas e que proporcionavam aos professores em exercício discussões relacionadas aos cinco componentes do Conhecimento pedagógico de conteúdo de tópico específico, em inglês *Topic-Specific Pedagogical Content Knowledge* – TSPCK, (currículo oculto, conhecimento prévio dos estudantes, representação do tópico de conteúdo, o que torna o tópico difícil de ensinar e aprender e estratégias de ensino conceituais). Nesse sentido, para medir a contribuição do processo formativo, os autores utilizaram de um teste validado para TSPCK que foi aplicado no início e no segundo *workshop*, como um pré e pós teste, e aplicaram um teste estatístico para avaliar as diferenças entre o que os professores sabiam no início e no final do *workshop*.

Este uso dos questionários nos mostra que alguns estudos têm buscado avaliar o impacto de uma ação sobre o desenvolvimento do PCK de professores. Entretanto, ressaltamos que isto pode envolver uma visão tradicional de pesquisa no sentido de buscar mensurar, quantificar, o conhecimento docente. Reconhecemos a validade desse tipo de estudo, porém ressaltamos que eles são limitados quando consideramos a complexidade envolvida na construção dos conhecimentos docentes, na sua articulação com a prática de ensino e no risco de os resultados espelharem mais uma retenção de memória sobre o tema em avaliação do que de fato um conhecimento que o professor passará a mobilizar em situações futuras de ensino.

Ainda visando analisar os impactos pré e pós a partir de questionários, apontamos trabalhos que usam deste processo para estabelecer relações entre o conhecimento docente (ePCK) e os resultados dos estudantes, visando medir o quanto os alunos aprenderam a partir de uma determinada instrução conduzida pelo docente. Por exemplo, Akinyemi e Mavhunga (2021) (A11) investigaram como o eTSPCK de professores em formação inicial influencia os resultados de estudantes em química orgânica. Dessa forma, as autoras realizaram e pré e pós teste com os licenciandos para avaliar o TSPCK e o conhecimento de conteúdo ao longo de um processo formativo, e pré e pós teste com os estudantes relacionado ao conhecimento de conteúdo, sendo estes realizados antes e após as lições conduzidas pelos licenciandos. A partir disso, os autores buscaram estabelecer relações dada a proximidade do ePCK com os resultados dos estudantes. Mais uma vez, reconhecemos a validade metodológica, mas destacamos que, ao focar apenas na aprendizagem conceitual, há o risco de reduzir o processo de ensino, não considerando

filtros e amplificadores expressos pelos estudantes, tais como motivação, que pode fazer parte do conhecimento de currículo oculto do professor.

Análise do contexto de desenvolvimento das pesquisas

Nessa subseção, apresentamos inicialmente um panorama dos contextos em que as pesquisas analisadas foram desenvolvidas, com o objetivo de caracterizar o *corpus* da revisão quanto aos cenários de investigação contemplados nos estudos. Na Tabela 2, apresentamos a sistematização destes dados, a qual permite identificar a distribuição dos estudos em diferentes contextos educacionais e formativos, oferecendo uma base para a compreensão das características gerais da produção analisada, o que pode constituir um elemento interpretativo relevante para a leitura das tendências do campo.

Tabela 2: Contextos formativos de investigação do PCK à luz do RCM

Instrumento de coleta	Número de artigos que utilizam	Código identificador dos artigos
CoRe	14	A01; A03; A06; A07; A09; A10; A11; A13; A15; A21; A23; A31; A37; A39
Observação de situação de ensino	13	A03; A13; A14; A15; A17; A18; A22; A25; A27; A30; A36; A37; A38
Entrevista semi-estruturada – geral	13	A02; A04; A05; A13; A14; A22; A25; A26; A29; A30; A31; A36; A38
Entrevistas semi-estruturada estimulada por vídeo ou episódios de sala de aula	9	A03; A11; A12; A15; A17; A21; A27; A35; A37
Questionário	8	A08; A09; A11; A16; A19; A20; A28; A31

Fonte: Autores.

A análise detalhada dos 39 artigos selecionados evidenciou o predomínio de pesquisas realizadas na formação inicial de professores (21 artigos – 53,8%), enquanto apenas 5 artigos foram desenvolvidos em contextos de formação continuada (12,8%). A predominância de estudos no contexto de formação inicial de professores não foi explicitamente justificada pelos estudos que incluíram tais participantes, contudo deve-se considerar a potencialidade da formação inicial para investigar a construção das bases do conhecimento profissional dos professores, havendo oportunidades de tornar mais explícitos os processos de desenvolvimento do conhecimento pedagógico de conteúdo. Conforme apresentado por Buma e Sibanda (2022) (A08), investigar o processo de desenvolvimento do PCK de professores em formação inicial contribui para a compreensão da influência de componentes específicos de programas formativos para o conhecimento docente.

Dois estudos analisados, Mazibe et al. (2025) (A17) e Buma e Sibanda (2022) (A08), incluíram como participantes professores em formação inicial e professores experientes. Esta seleção foi feita com a intenção de analisar a variedade de níveis de conhecimento de PCK, uma vez que se considera que o PCK se desenvolve com a experiência. De acordo com Mazibe et al. (2025) (A17), alicerçados na literatura da área, “professores novatos geralmente apresentam níveis mais baixos de PCK quando comparados a seus colegas mais experientes” (p. 5). Contudo, nos dois estudos os professores em formação inicial mostraram maior nível de PCK no tópico de conhecimento específico da pesquisa, o que pode sugerir uma influência mais direta da formação inicial desses professores. Em Buma e Sibanda (2022), os professores em formação inicial conseguiram integrar maior número de componentes do PCK. Esses resultados corroboram a contribuição de processos formativos especificamente desenhados para o desenvolvimento do PCK dos professores, sendo o foco destes dois artigos o desenvolvimento do ePCK docente, informado pelo cPCK e pelo pPCK, apesar de não apresentarem coleta de dados especificamente relacionados a esses dois últimos domínios.

Foram identificados 5 trabalhos que envolveram professores experientes que participaram de processos formativos relacionados ao contexto da pesquisa. Apesar de apresentarem diversidade em relação ao tempo de formação dos participantes, área de atuação e uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados, quatro desses estudos incluíram algum momento de instrução voltado ao PCK, que variaram em relação aos tópicos abordados. Por exemplo, os trabalhos de Buma e Sibanda (2022) (A08) e Buma et al. (2023) (A09) compreenderam a realização de um *workshop* com professores, contemplando os cinco componentes do TSPCK e o conteúdo específico de natureza articulada da matéria, com análise dos dados do planejamento elaborado pelos professores. Vollebregt et al. (2021) (A03) não envolveu aspectos teóricos do PCK no processo formativo de professores, contudo contemplaram o PCK de um tópico específico de conteúdo.

Ainda em relação às pesquisas com professores experientes, os trabalhos de Forsler *et al.* (2024) (A21) e Mapulanga *et al.* (2023) (A07) envolveram a atuação dos professores em sala de aula, com análise do ePCK. No processo formativo, Fosler *et al.* (2024) (A21) incluiu discussões referentes a

aspectos teóricos do RCM e do uso do CoRe, seguido de discussões sobre o tópico específico “desenvolvimento sustentável”. Mapulanga *et al.* (2023) (A07) não incluiu formação teórica sobre PCK, mas envolveu um momento de desenvolvimento do PCK dos participantes pela discussão coletiva de aspectos relacionados a um tópico de ensino específico (respiração) e análise dos planejamentos de ensino.

Assim, observamos que os cinco estudos, que envolveram professores experientes participando de processos formativos, tiveram em comum a discussão do PCK relacionado a algum tópico específico de conteúdo científico, variando na inclusão ou não de discussões relacionadas a aspectos teóricos do PCK e seus componentes.

Um aspecto que se destaca na análise é que cerca de metade das produções não abrangeu dados da atuação dos docentes em contextos reais de ensino, o que sugere uma produção ainda parcialmente desvinculada das situações concretas da prática docente. A maior parte das pesquisas (53,8%) foi desenvolvida a partir de processos de coleta de dados que envolveram a declaração ou manifestação dos professores fora do contexto de atuação, seja por entrevistas, questionários ou elaboração de planejamentos. Isso coloca uma ponderação sobre a necessidade de maior acompanhamento do PCK dos professores em sua atuação profissional, pois deve-se considerar a distância entre o cPCK, pPCK, e mesmo do ePCKp, em relação ao seu ePCKt, uma vez que esse último sofre grande influência de diversos filtros e amplificadores, a considerar a realidade de atuação, objetivos de ensino e contextos em que o processo educativo se desenvolve (Carlson *et al.*, 2019). É interessante destacar que dos 26 estudos que abordam ePCK (como apresentado na Figura 1), sozinho ou relacionado ao pPCK e/ou cPCK, 17 deles não analisam a atuação docente diretamente em sala de aula, avaliando o ePCK por meio de entrevistas (estimuladas por vídeo, como A11, A12, A15, A21, A24, A27, A37, ou com situações de simulação de posicionamento) ou por meio de planejamentos de ensino (A09; A11; A12; A15; A 25; A33).

Dentre os 17 trabalhos que analisaram dados da atuação docente diretamente em sala de aula, em 8 deles (47% desse grupo) a atuação dos professores não estava relacionada a contextos formativos. A seleção e participação desses professores na pesquisa ocorreu a partir de programas mais amplos de formação (que não estavam diretamente vinculados ao contexto das pesquisas) ou a partir de convite de professores atuantes em redes de ensino. Por exemplo, Ellebæk (2021) (A12) foi desenvolvido com professores dinamarqueses que haviam participado de um programa formativo nacional; contudo esse programa não tinha relação com conhecimentos específicos de PCK ou com as pesquisas desenvolvidas. Mesmo que esse programa de formação não fosse objeto de estudo das pesquisas, os autores reconhecem que tal processo formativo impactou o desenvolvimento do PCK docente, em especial o cPCK e pPCK.

Referenciais empregados nas análises de dados

Mesmo considerando o RCM como um modelo teórico para compreender a constituição e integrações entre os múltiplos conhecimentos que compõem o PCK, nossa análise destaca o discreto avanço das pesquisas no desenvolvimento ou aplicação de instrumentos analíticos que permitam compreender os movimentos entre os diferentes constituintes do PCK, ou como esses constituintes se relacionam dentro do RCM. Um quantitativo expressivo dos artigos (16 artigos, 41%) apresentaram análises voltadas à identificação dos componentes do PCK, empregando modelos de análise amplamente conhecidos na literatura da área, como: Magnusson *et al.* (1999) (6 artigos, 15,4%); Mavhunga e Rollnick (2013) (1 artigo – 2,6%) e Park e Oliver (2008) (4 artigos, 10,3%). Esse resultado pode apontar uma dificuldade de avanço em relação à compreensão do PCK a partir do RCM e das possíveis articulações advindas desse modelo. Além disso, a necessidade de desenvolver uma análise dos dados em acordo com o RCM levou muitos autores ao desenvolvimento de rubricas próprias de análise (5 – 12,8%) ou do uso do próprio RCM, a partir da identificação de seus elementos (10 – 25,6%).

Dentre os trabalhos que empregaram o próprio RCM para subsidiar a análise, destaca-se o estudo de Forsler *et al.* (2024) (A21), no qual os autores dialogam com o estudo de Mientus *et al.* (2022), corroborando que o modelo pode ser mobilizado como referencial analítico em investigações empíricas, orientando a delimitação dos fenômenos investigados e a interpretação dos dados. A partir disso, Forsler

et al. (2024) empregaram o RCM explicitamente como ferramenta analítica, a partir de um quadro de codificação orientado por conceitos, o que foi significativo para conceitualizar as ligações entre a prática docente e o desenvolvimento do PCK. Ao enquadrar a análise em torno dos domínios de PCK no RCM, particularmente do ePCK e do pPCK, o estudo foi capaz de analisar sistematicamente como o conhecimento dos professores evoluiu através dos seus processos de planejamento, ensino e reflexão. Os autores concluem que, ao empregar o RCM desta forma, o estudo foi capaz de fornecer um quadro estruturado e conceitual para a compreensão da complexa interação entre o conhecimento docente, as práticas docentes e o desenvolvimento profissional.

A aproximação entre as rubricas de análise e o RCM são necessárias para a caracterização dos movimentos apresentados entre os diferentes constituintes desse modelo, permitindo maior interlocução entre os resultados das pesquisas na área e, consequentemente, maior avanço na compreensão da constituição do PCK e de possibilidades para seu desenvolvimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, nos propusemos a investigar como o RCM foi mobilizado em pesquisas empíricas por pesquisadores da área de Educação em Ciências no período de 2017 a 2024). Além disso, observar a existência de estudos sobre resultados da mobilização de PCK por professores e influências disso na aprendizagem científica, além de influências de filtros e amplificadores nesses processos é um aspecto importante e emergente em conhecimentos da área. Salientamos que há poucos estudos dedicados à análise das ações de filtros e amplificadores específicos do PCK (Sen & Demirdögen, 2023) e, em alguma medida, realizando análises considerando influências mútuas de alguns deles. Esse tipo de pesquisa foi sugerido tanto na apresentação do RCM como referencial teórico-metodológica (Carlson et al., 2019), quanto por outros pesquisadores da área (Chan & Hume, 2019);

Um importante ponto a considerar é um avanço no campo que diz respeito ao fato de pesquisadores explicitarem quais domínios do PCK estavam sendo investigados. Alguns pontos de discussão são possíveis a partir desta análise, principalmente quando comparamos nossos resultados com os encontrados por Chan e Hume (2019), publicados no primeiro capítulo do livro *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science*. Neste capítulo, que antecede o que apresenta o RCM (Carlson et al., 2019), as autoras explicitam resultados de uma ampla revisão sistemática sobre metodologias usadas para investigar os PCK de professores de Ciências. Para isso, elas analisaram 99 artigos publicados em periódicos de referência da área, no ano de 2015 (ano no qual foi publicado o Consensual Model (Gess-Newsome, 2015), resultante do primeiro PCK Summit), a dezembro de 2017.

Diante disso, inicialmente, consideramos que houve um avanço no campo em relação ao fato de pesquisadores explicitarem quais domínios do PCK estavam sendo investigados. Na revisão de Chan e Hume (2019) elas observaram que poucos pesquisadores definiram explicitamente os domínios do PCK sob investigação, o que foi acompanhado ainda por falta de terminologias compartilhadas sobre os domínios de PCK e o uso inconsistente de termos nos estudos. Portanto, a observação do esforço dos pesquisadores, dos 39 artigos desse estudo, para analisar os domínios do PCK nas suas pesquisas vai ao encontro das recomendações claras feitas por Carlson e colaboradores (2019) na apresentação e representação do RCM como modelo desses conhecimentos: uma característica fundamental do RCM é a identificação dos três domínios de PCK. Logo, entendemos que tornar esses domínios claros no constructo pode ter direcionado pesquisadores a delimitarem seus estudos e na identificação dos componentes a serem investigados (Carlson et al., 2019).

Por outro lado, um segundo ponto é o fato que nossa análise demonstra que houve relativamente poucas iniciativas que exploraram relacionamentos entre dois ou mais domínios do PCK, visto que Chan e Hume (2019) observaram um aumento desse interesse nas pesquisas que analisaram. Isto fica mais evidente quando observamos que apenas Irmer et al. (2023) consideram relações entre cPCK, pPCK e ePCK e contempla todo o ciclo de raciocínio pedagógico que o modelo apresenta (Carlson et al., 2019; Alonzo et al., 2019).

Partindo do pressuposto de que as pesquisas que analisamos usaram o RCM como base para o PCK de professores de Ciências, observar que menos de um terço dos trabalhos exploram tais relações é um resultado instigante. Isso porque Carlson et al. (2019) se esforçam para enfatizar que

While we do not presume the RCM to be a perfect model or even a true consensus model, we think it takes the thinking about PCK further and could be a useful tool for researchers who study PCK, including those who conduct research in other domains. (Carlson et al., 2019, p. 91).

Além disso, o terceiro ponto de destaque é o fato de cinco artigos investigarem os domínios dos PCK e influências de filtros e amplificadores na mobilização deles, tal como o RCM sugere. Por fim, a observação de alguns artigos terem se dedicado a analisar influências do ePCK dos professores na aprendizagem dos estudantes também apresenta um avanço pós-RCM, uma vez que os próprios autores do modelo reconhecem que

this model does not specify the mechanisms and pathways by which teachers strengthen their PCK for teaching science, change their teaching, or connect various knowledge bases. Neither does the model assert a specific relationship between teachers' actions and student learning. By identifying three realms of PCK and the relationship to other knowledge bases, PCK researchers can place their studies in the most appropriate realm and begin to define mechanisms and pathways. (Carlson et al., 2019, p. 91).

Em termos metodológicos, observamos uma tendência sobre o uso de múltiplos e diversificados instrumentos de coleta de dados nas pesquisas, o que é coerente com uma das contribuições prevista no RCM para o campo de pesquisa, visto que a existência de diferentes domínios do PCK de professores possibilita aos pesquisadores localizarem seus estudos com maior precisão e desenvolverem procedimentos metodológicos mais alinhados aos objetivos da pesquisa (Carlson et al., 2019). Além disso, essa tendência está alinhada à maior predominância de pesquisas do tipo qualitativa, as quais tem por finalidade proporcionar a compreensão do fenômeno estudado em sua complexidade, e por isso faz uso de diferentes instrumentos de coleta de dados na intenção de revelar diferentes faces do problema.

Em relação aos instrumentos em si, nossos dados apontam para a presença de instrumentos bem conhecidos do campo, como o CoRe, e da área de pesquisa em Educação, como uso de observações, entrevistas e questionários. Assim, a partir dos trabalhos analisados, não percebemos implicações significativas do RCM sobre o desenvolvimento de instrumentos de coleta de dados, visto que os pesquisadores seguem utilizando instrumentos consagrados na literatura. Entretanto, apesar disso, sinalizamos o uso de forma diferenciada do CoRe e de entrevistas semiestruturadas.

No caso do CoRe, apontamos seu uso como elemento formativo, subsidiando processos reflexivos em momento de formação de professores, podendo impactar o desenvolvimento de cPCK e pPCK. De forma similar, o uso das entrevistas semiestruturadas tem ampliado seu alcance nas pesquisas sobre PCK a partir da conjugação com análise de, ou revisita a episódios de ensino, sejam eles produzido pelo próprio entrevistado ou de outra fonte (como, caso, fotos, situações de outras salas de aula). Assim, as entrevistas deixam de acessar apenas os domínios mais declarativos e estáticos do conhecimento docente, como o pPCK, e passam a dar indício de um domínio mais dinâmico, o ePCK. Nesse sentido, destacamos que ao refletir sobre uma situação de ensino, mesmo que hipotética, o professor pode mobilizar elementos de seu repertório de conhecimento, ou ainda, criar associações com situações que tenha vivenciado em sala de aula ou que o conduza a pensar sobre como ele agiria frente à determinada situação. Dessa forma, pensamos que a entrevista estimulada por outros recursos (que não sejam vídeos da própria aula do professor) pode ampliar as possibilidades de investigação de ePCK quando o pesquisador não tem acesso direto à sala de aula do docente investigado, seja por dificuldades de acesso ou impedimento por parte da escola, o que amplia as possibilidades de investigações no campo.

No que diz respeito ao perfil dos participantes, destacamos a predominância de professores em formação inicial. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que uma parte expressiva das investigações sobre PCK toma a própria formação docente como contexto de pesquisa, buscando não

apenas caracterizar os conhecimentos dos futuros professores, mas também compreender e promover seu desenvolvimento ao longo das experiências formativas. Muitos desses estudos investigam intervenções específicas, buscando identificar como essas contribuem para a construção e integração dos domínios do PCK (Oztay et al., 2023; Akinyemi & Mavhunga, 2021; Coetzee et al., 2020). Nessa perspectiva, a formação inicial constitui um relevante contexto para investigar processos mediante os quais futuros professores desenvolvem e aprendem a mobilizar seus conhecimentos profissionais para o ensino. A isso soma-se o acesso que os pesquisadores, muitas vezes professores universitários, têm em relação a seus estudantes em cursos de formação inicial de professores.

Outro ponto de destaque é uma significativa diferença entre o elevado número de artigos que analisam o ePCK (mais da metade dos artigos analisados) e o reduzido número de pesquisas que envolveram a atuação docente em contextos reais de sala de aula. Isso é particularmente relevante de ser observado, uma vez que muitos elementos relacionados ao ePCK somente são possíveis de se manifestar a partir da interação com o estudante. Dessa forma, apontamos para um necessário olhar sobre o ePCK dos professores, como forma de identificar as articulações entre os diferentes domínios de PCK, suas bases, filtros e amplificadores. A compreensão sobre como os professores mobilizam seus PCK em situações de ensino perpassa também a análise dos resultados de seus estudantes (Akinyemi & Mavhunga, 2021), o que foi pouco explorado nos artigos analisados.

Em relação ao uso de ferramentas de análise dos dados, observamos o uso de muitos construtos que precedem o próprio RCM, como Magnusson et al. (1999) e Park e Oliver (2008). Essa observação constitui um achado particularmente relevante, porque traz para o primeiro plano a necessidade de se pensar novas ferramentas analíticas que sejam capazes de possibilitar uma leitura mais clara sobre o fenômeno em sua complexidade e com seu dinamismo, conforme pressupõe o próprio RCM. Nesse sentido, é preciso pensar em uma análise que seja capaz de capturar os novos elementos apresentados por esse modelo, ao mesmo tempo em que permita identificar suas relações e movimentos dentro do processo de desenvolvimento do PCK docente. Apesar de rubricas próprias que foram amplamente empregadas nos estudos analisados (muitas vezes ancoradas em modelos mais tradicionalmente empregados na área), destacamos os estudos que trouxeram o próprio RCM como lente analítica para os dados, reforçando a potencialidade do modelo não apenas de sua perspectiva teórica, mas também de sua funcionalidade enquanto ferramenta analítica (Vergara et al., 2024; Forsler et al., 2024) ou para orientar escolhas metodológicas.

Assim, nosso estudo pode contribuir para entendermos melhor esse cenário e iluminar discussões sobre os mecanismos e caminhos envolvidos nos processos de desenvolvimento e fortalecimento do PCK de professores de Ciências, repercutindo sobre a compreensão do RCM como referencial teórico-metodológico e para a formação docente.

AGRADECIMENTO

Ao CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akinyemi, Olutosin S., & Mavhunga, Elizabeth (2021). Linking pre-service teachers' enacted topic specific pedagogical content knowledge to learner achievement in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 282-302. <https://doi.org/10.1039/D0RP00285B>

Alonzo, Alicia C., Berry, Amanda, & Nilsson, Pernilla (2019). Unpacking the Complexity of Science Teachers' PCK in Action: Enacted and Personal PCK. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 271-286). Springer.

Autores, 2021. Artigo publicado em periódico internacional.

Aydin-Gunbatar, Sevgi, & Akin, Fatma Nur (2022). Pre-service chemistry teachers' use of pedagogical transformation competence to develop topic-specific pedagogical content knowledge for planning to teach acid–base equilibrium. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(1), 137-158. <https://doi.org/10.1039/d1rp00106j>

Aydin, Ebru, & Turhan, Gülcan Mıhladı. (2023). Exploring primary school teachers' pedagogical content knowledge in science classes based on PCK model. *Journal of Pedagogical Research* 7(3). <https://doi.org/10.33902-JPR.202318964>

Basilisa, María, & Cutrera, Guillermo (2020). El campo de la práctica docente en la formación inicial: Un estudio descriptivo de una propuesta curricular para los profesorados de ciencias exactas y naturales. *Revista Binacional Brasil-Argentina Diálogo entre as ciências*, 9(2), 176-196. <https://doi.org/10.22481/rbba.v1i02.7793>

Behling, Franziska, Förtsch, Christian, & Neuhaus, Birgit J. (2022). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Detecting Filters between the Realms of PCK. *Education Sciences*, 12(9), 592-612. <https://doi.org/10.3390/educsci12090592>

Berry, Amanda, Friedrichsen, Patricia, & Loughran, John (2015). *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. Routledge.

Berry, Amanda, Loughran, John, & van Driel, Jan (2008). Revisiting the Roots of Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, 30(1), 1271-1279. <https://doi.org/10.1080/09500690801998885>

Berry, Amanda, Nilsson, Pernilla, Van Driel, Jan, & Carlson, Janet (2017). *Analysing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge: A Report on the Second PCK Summit* 12nd Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Dublin.

Bertram, Adam, & Loughran, John (2014). Planting the seed: Scaffolding the PCK development of pre-service science teacher. In H. Venkat, M. Rollnick, J. Loughran, & M. Askew (Eds.), *Exploring Mathematics and Science Teachers' Knowledge: Windows into teacher thinking*. Routledge.

Buma, Anastasia, & Sibanda, Doras (2022). In-Service and Pre-Service Science Teachers' Enacted Pedagogical Content Knowledge about the Particulate Nature of Matter. *Education Science*, 12(9), 1-18. <https://doi.org/10.3390/educsci12090576>

Buma, Anastasia Malong, Sibanda, Doras, & Rollnick, Marissa (2024). Exploring the Development of the Quality of Topic Specific Pedagogical Content Knowledge in Planning: the Case of Grade 8 Natural Sciences Teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education* 22, 399-418. <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10355-0>

Can-Kucuk, Dizem, Gencer, Sinem, & Akkus, Huseyin (2022). Development of pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge through mentoring. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(3), 599-615. <https://doi.org/10.1039/D2RP00033D>

EdwinCardona-Londoño, Claudia M., Ramirez-Sánchez, María, & Rivas-Trujillo, Edwin (2020). Educación Superior en un mundo virtual, forzado por la pandemia del Covid 19. *Revista Espacios*, 41(35), 44-57.

Carlson, Janet, et al. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 77-92). Springer.

Chan, Kennedy Kam Ho, & Hume, Anne (2019). Towards a consensus model: Literature review of how science teachers' pedagogical content knowledge is investigated in empirical studies. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 3–76). Springer Singapore.

Chen, Bo, & Chen, Lijun (2021). Examining the sources of high school chemistry teachers' practical knowledge of teaching with practical work: from the teachers' perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 476-485.

Chen, Ying-Chih, Benus, Matthew J., & Hernandez, Jaclyn (2019). Managing uncertainty in scientific argumentation. *Science Education*, 103(5), 1235-1276. <https://doi.org/10.1002/sce.21527>

Coetzee, Corene, Rollnick, Marissa, & Gaigher, Estelle (2022). Teaching Electromagnetism for the First Time: a Case Study of Pre-service Science Teachers' Enacted Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 52, 357-378. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09948-4>

Cohen, Louis, Manion, Lawrence, & Morrison, Keith (2011). *Research Methods in Education* (7th Ed.). Routledge.

Ellebaek, Jens Jakob (2021). Primary science teachers' narratives about significant colleagues in light of collective PCK. *International Journal of Science Education*, 43(10), 1667-1684. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1927235>

Faikhanta, Chatree (2013). The Development of In-Service Science Teachers' Understandings of and Orientations to Teaching the Nature of Science within a PCK-Based NOS Course. *Research in Science Education*, 43(2), 847-869. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9283-4>

Fernandez, Carmen (2015). Revisitando a Base de Conhecimentos e o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de professores de Ciências. *Ensaio: Pesquisa e Educação em Ciências*, 17(2), 500-528. <https://doi.org/10.1590/1983-21172015170211>.

Forsler, Annika, Nilsson, Pernilla, & Walan, Susanne (2024). Teaching for sustainable development in vocational education. *Journal of Biological Education*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2024.2320110>

Gess-Newsome, Julie (2015). Model of teacher professional knowledge. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). Routledge.

Grossman, Pamela L., Wilson, Suzanne M., & Shulman, Lee S. (1989). Teacher of Substance: Subject Matter Knowledge for Teaching. In M. Reynolds (Ed.), *Knowledge Base for the Beginning Teacher* (pp. 23-36). American Association of Colleges for Teacher Education.

Hanley, Pam, Wilson, Helen, Holligan, Bridget, & Elliott, Louise (2020). Thinking, doing, talking science: the effect on attainment and attitudes of a professional development programme to provide cognitively challenging primary science lessons. *International Journal of Science Education*, 42(15), 2554-2573. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1821931>

Henze, Ineke, & Barendsen, Erik (2019). Unravelling Student Science Teachers' pPCK Development and the Influence of Personal Factors Using Authentic Data Sources. In A.

Hume, Anne, Cooper, Rebecca, & Borowski, Andreas (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (Vol. 201-221). Springer. Hume, A., Cooper, R., & Borowski, A. (2019). *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Springer.

Irmer, Michael, Traub, Daniela, Böhm, Matthias, & Förtsch, Christian (2023). Using Video-Based Simulations to Foster pPCK/ePCK—New Thoughts on the Refined Consensus Model of PCK. *Education Sciences*, 13(3), 261-277. <https://doi.org/10.3390/educsci13030261>

Kind, Vanessa (2009). Pedagogical content knowledge in science education: Perspectives and potential for progress *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204. <https://doi.org/10.1080/03057260903142285>

Kirschner, Sophie, Taylor, Jennifer, Rollnick, Marissa, Borowski, Andreas, & Mavhunga, Elizabeth (2015). Gathering evidence for the validity of PCK measures. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 229-241). Routledge.

Kramer, Michael, Förtsch, Christian, & Neuhaus, Birgit J. (2021). Integrating or Not-Integrating—That is the Question. Effects of Integrated Instruction on the Development of Pre-Service Biology Teachers' Professional Knowledge. *Frontiers in Education*, 6(12), 1-19. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.645227>

Kulgemeyer, Christoph, Borowski, Andreas, Buschhüter, David, Enkrott, Patrick, Kempin, Maren, Reinhold, Peter, Riese, Josef, Schecker, Horst, Schröder, Jan, & Vogelsang, Christoph (2020). Professional knowledge affects action-related skills: The development of preservice physics teachers' explaining skills during a field experience. *Journal of Research in Science Teaching*, 57, 1554-1582. <https://doi.org/10.1002/tea.21632>

Kulgemeyer, Christoph, Kempin, Maren, WeiBbach, A., Borowski, Andreas, Buschhüter, David, Enkrott, Patrick, Reinhold, Peter, Riese, Josef, Schecker, Horst, Schröder, Jan, & Vogelsang, Christoph (2021). Exploring the impact of pre-service science teachers' reflection skills on the development of professional knowledge during a field experience. *International Journal of Science Education*, 43(18), 3035-3057. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2006820>

Kwak, Youngsun, & Cho, Kyu-Seong (2023). Exploration of Teacher Pedagogical Content Knowledge (PCK) and Teacher Educator PCK Characteristics in Future School Science Education. *Korean Earth Science Society*, 44(4), 331-341. <https://doi.org/10.5467/jkess.2023.44.4.331>

Lederman, Norman G., & Gess-Newsome, Julie (1992). Do subject matter knowledge, and pedagogical content knowledge constitute the ideal gas law of science teaching? *Journal of Science Teacher Education*, 3(1), 16-20.

Magnusson, Shirley, Krajcik, Joseph, & Borko, Hilda (1999). Nature, Sources and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge - The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 95-132). Kluwer.

Mahler, Daniela, Bock, Denise, Schaubert, Stefan, & Harms, Ute (2024). Using longitudinal models to describe preservice science teachers' development of content knowledge and pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104583>

Mapulanga, Thumah, Ameyaw, Yaw, Nshogoza, Gilbert, & Sinyangwe, Elton (2023). Improving Secondary School Biology Teachers' Topic-Specific Pedagogical Content Knowledge: Evidence from Lesson Studies. *Journal of Baltic Science Education*, 22(1), 20-36. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.20>

Marie-Helene, Zimmerman N., & Pernilla, Nilsson (2019). From Pedagogical Knowledge to Pedagogical Content Knowledge: Development in Mentor and Student-Teacher Group Conversations. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 18(10), 233-247. <https://doi.org/10.26803/ijlter.18.10.15>

Martins, Iva, & Baptista, Mónica (2024). Teacher Professional Development in Integrated STEAM Education: A Study on Its Contribution to the Development of the PCK of Physics Teachers. *Education Science*, 14, 1-32. <https://doi.org/10.3390/educsci14020164>

Marzan, Joey-Nell., & Bambico, Wilfred B. (2022). Online Microteaching Lesson Study: An Approach to Improve Prospective Elementary Teachers' Subject Matter Knowledge in Chemistry. *Journal of Educational and Human Resource Development*, 10(19), 1-19. <https://doi.org/10.61569/wqqqzz22>

Mavhunga, Elizabeth (2014). Improving PCK and CK in preservice teachers. In H. Venkat, M. Rollnick, J. Loughran, & M. Askew (Eds.), *Exploring Mathematics and Science Teachers' Knowledge: Windows into teacher thinking* (pp. 45-64). Routledge.

Mavhunga, Elizabeth, & Rollnick, Maarissa (2013). Improving PCK of Chemical Equilibrium in Pre-service Teachers. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 17(1-2), 113-125. <https://doi.org/10.1080/10288457.2013.828406>

Mazibe, Ernest Nkosingiphile, Gaigher, Estelle, & Coetzee, Corene (2020). Comparing Pedagogical Content Knowledge Across Fundamental Concepts of Electrostatics: A Case of Three Pre-service Teachers. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 24(2). <https://doi.org/10.1080/18117295.2020.1765607>

Mazibe, Ernest Nkosingiphile, Gaigher, Estelle, & Coetzee, Corene (2025). The relationship between teachers' enacted pedagogical content knowledge and student learning in fundamental concepts of electrostatics. *Research in Science & Technological Education*, 43(2), 476-494. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2296>

Mientus, Lukas, Hume, Anne, Wulff, Peter, Meiners, Anika, & Borowski, Andreas (2022) Modelling STEM Teachers' Pedagogical Content Knowledge in the Framework of the Refined Consensus Model: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*. 12 (6) 385-410. <https://doi.org/10.3390/educsci12060385>.

Morris, David L. (2024). Reflections of a First-Year Chemistry Teacher: Intersecting PCK, Responsiveness, and Inquiry Instruction. *Education Sciences*, 14(93), 1-19. <https://doi.org/10.3390/educsci14010093>

Nilsson, Pernilla (2024). From PCK to TPACK - Supporting student teachers' reflections and use of digital technologies in science teaching. *Research in Science & Technological Education*, 42(3), 553-577. <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2131759>

Omilani, Nathaniel Ayodeji, & Ogbonna, Stella Nneka (2023). Analysis of supervisor's written feedback addressing pre-service science teachers' pedagogical content knowledge during teaching practice. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(9). <https://doi.org/10.29333/ejmste/13525>

Ottogalli, María Emilia, & Bermudez, Gonzalo M. A. (2024). A PCK-mapping approach to show the integration among components of the pedagogical content knowledge of elementary education teacher educators about biodiversity. *Teaching and Teacher Education*, 151, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104746>

Oztay, Elif Selcan, Ekiz-Kiran, Betul, & Boz, Yezdan (2023). Revealing the development of interaction among components of pedagogical content knowledge in teaching chemical equilibrium. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(2), 624-636. <https://doi.org/10.1039/d2rp00159d>

Page, Mathew. J., et al. (2022). A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 31(2). <https://doi.org/10.1590/s1679-49742022000200033>

Park, Soonhye. (2019). Reconciliation Between the Refined Consensus Model of PCK and Extant PCK Models for Advancing PCK Research in Science. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 117-128). Springer.

Park, Soonhye, & Chen, Ying-Chih (2012). Mapping Out the Integration of the Components of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Examples From High School Biology Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922-941. <https://doi.org/10.1002/tea.21022>

ark, Soonhye, Choi, Aeran, & Reynolds, William M. (2020). Cross-national investigation of teachers' pedagogical content knowledge (PCK) in the U.S. and South Korea: what proxy measures of teacher quality are related to PCK? *International Journal of Science Education*, 42(15). <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1823046>

Park, Soonhye., & Oliver, Steve. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>

Park, Soonhye, & Suh, Jee Kyung (2019). The PCK Map Approach to Capturing the Complexity of Enacted PCK (ePCK) and Pedagogical Reasoning in Science Teaching. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (Vol. Springer, pp. 185-200). Singapore.

Park, Soonhye, & Suh, Jee Kyung (2015). From portraying toward assessing PCK. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 104-119). Routledge.

Reynolds, William M., & Park, Soonhye (2020). Examining the relationship between the Educative Teacher Performance Assessment and preservice teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(5). <https://doi.org/10.1002/tea.21676>

Rollnick, Marissa, Bennett, Judith, Rhemtula, Mpho, Dharsey, Nazeem, & Ndlovu, Thandi (2008). The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1365-1387. <https://doi.org/10.1080/09500690802187025> Romanowski, J. P., & Ens, R. T. (2006). As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte” em educação. *Diálogo Educacional*, 6(19), 37-50. <https://periodicos.pucpr.br/dialogoeducacional/article/view/24176>

Saeleset, John, & Friedrichsen, Patricia (2021). Pre-service Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Integration of Students' Understanding in Science and Instructional Strategies *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(5), 1-18. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10859>

Sannerts, Robin, van Driel, Jan, & Krell, Moritz (2026). Can Content Representation (CoRe) Accurately Capture Key Components of Science Teachers' PCK? A Methodological Perspective. *Journal of Science Teacher Education*, 37(1), 109-133. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2025.2516293>

Schön, Donald A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner - Toward a New Design for Teaching and learning in the Professions*. John Wiley & Sons.

Schön, Donald A. (1991). *The Reflective Practitioner - How professionals think in action* (2nd ed.). Ashgate.

Schubatzky, Thomas, Burde, Jan-Philipp, Grobe-Heilmann, Ralf, Haagen-Schützenhöfer, Claudia, Riese, Josef, & Weiler, Daniel (2023). Predicting the development of digital media PCK/TPACK: The role of PCK, motivation to use digital media, interest in and previous experience with digital media *Computer & Education*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104900>

Sen, Melike, & Demirdögen, Betül (2023). Seeking Traces of Filters and Amplifiers as Pre-service Teachers Perform their Pedagogical Content Knowledge. *Science Education International*, 34(1). <https://doi.org/10.33828/sei.v34.i1.8>

Shulman, Lee. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Research*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>

Shulman, Lee. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Education Review*, 57(1), 1-21.

Shulman, Lee. S. (2015). PCK: Its genesis and exodus. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 3-13). Routledge.

Sorge, Stefan, Stender, Anita, & Neumann, Knut (2019). The Development of Science Teachers' Professional Competence. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 149-164). Springer. (2024). A map of collective pedagogical content knowledge as a basis for studying the development of biology teachers' personal PCK of evolution. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2381841>

Vollebregt, Bronia Roxane, Gaigher, Estelle, & Coetzee, Corene (2021). Development of Science Teachers' PCK About Waves Through Training in the Use of the Ripple Tank Apparatus. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 25(12-26). <https://doi.org/10.1080/18117295.2021.1892331>

Wu, Melissa M., & Yezierski, Ellen J. (2022). Exploring Adaptations of the VisChem Approach: Advancements and Anchors toward Particle-Level Explanations. *Journal of Chemical Education*, 99(3), 1313-1325. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01275>

Yang, Yujie, Liu, Yan, Song, Xiaoyu, Yao, Jing, & Guo, Yanjun (2023). A tale of two progressions: students' learning progression of the particle nature of matter and teachers' perception on the progression. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 5(18), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s43031-023-00085-2>

APÊNDICE

Quadro 1: Artigos analisados ao longo do trabalho.

Código	Título do artigo	Autores
A01	A map of collective pedagogical content knowledge as a basis for studying the development of biology teachers' personal PCK of evolution	Vergara, C.; Bassaber, A.; Nieto, P. N.; Becerra, B.; Hurtado, H.; Santibáñez, D.; Cofré, H.
A02	A reading group for science educators: An approach for developing personal and collective pedagogical content knowledge in science education	Cooper, R., Fitzgerald, A., & Carpendale, J.
A03	Development of Science Teachers' PCK About Waves Through Training in the Use of the Ripple Tank Apparatus	Vollebregt, B. R.; Gaigher, E.; Coetzee, C.
A04	Developmental paths of teacher professional knowledge in modeling-based teaching: analysis from a longitudinal socio-historical perspective	Oliveira, A.; Justi, R.
A05	Do Pre-Service Chemistry Teachers' Collective Pedagogical Content Knowledge Regarding Solubility Concepts Enhance after Participating in a Microteaching Lesson Study?	Boz, Yezdan; Belge-Can, Hatice
A06	A PCK-mapping approach to show the integration among components of the pedagogical content knowledge of elementary education teacher educators about biodiversity	Ottogalli, M. E.; Bermudez, G. M. A.
A07	Improving Secondary School Biology Teachers' Topic-Specific Pedagogical Content Knowledge: Evidence from Lesson Studies.	Mapulanga, T.; Ameyaw, Y.; Nshogoza, G.; Sinyangwe, El
A08	In-Service and Pre-Service Science Teachers' Enacted Pedagogical Content Knowledge about the Particulate Nature of Matter	Buma, A., & Sibanda, D.
A09	Exploring the Development of the Quality of Topic Specific Pedagogical Content Knowledge in Planning: the Case of Grade 8 Natural Sciences Teachers	Buma, Anastasia Malong; Sibanda, Doras; Rollnick, Marissa
A10	Investigating the Quality of Enacted Pedagogical Content Knowledge by Mapping Out Component Interactions: A Case Study of a Teacher Educator Teaching Basic Genetics	Buma, A. & Nyamupangedengu E.
A11	Linking pre-service teachers' enacted topic specific pedagogical content knowledge to learner achievement in organic chemistry	Akinyemi, Olutosin Solomon; Mavhunga, Elizabeth
A12	Primary science teachers' narratives about significant colleagues in light of collective PCK	Ellebaek, J. J.
A13	Revealing the development of interaction among components of pedagogical content knowledge in teaching chemical equilibrium	Oztay, E. S.; Ekiz-Kiran, B.; Boz, Y.
A14	Seeking Traces of Filters and Amplifiers as Pre-service Teachers Perform Their Pedagogical Content Knowledge	Sen, M.; Demirdögen, B.
A15	Teachers' Considerations for a Digitalised Learning Context of Preschool Science	Stajcin, M. P.; Nilsson, P.

A16	The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Detecting Filters between the Realms of PCK	Behling, F.; Förtsch, C.; Neuhaus, B. J.
A17	The relationship between teachers' enacted pedagogical content knowledge and student learning in fundamental concepts of electrostatics	Mazibe, E. N.; Gaigher, E.; Coetzee, C.
A18	The Simulated Classroom Biology—A simulated classroom environment for capturing the action-oriented professional knowledge of pre-service teachers about evolution	Fischer, J.; Machts, M.; Bruckermann, T.; Möller, J.; Harms, U.
A19	Using the Plan–Teach–Reflect Cycle of the Refined Consensus Model of PCK to Improve Pre-Service Biology Teachers' Personal PCK as Well as Their Motivational Orientations	Behling, F.; Förtsch, C.; Neuhaus, B. J.
A20	Using Video-Based Simulations to Foster pPCK/ePCK—New Thoughts on the Refined Consensus Model of PCK	Irmer, M.; Traub, D.; Böhm, M.; Förtsch, C.; Neuhaus, B. J.
A21	Capturing and Developing Teachers' Pedagogical Content Knowledge in Sustainable Development Using Content Representation and Video-Based Reflection	Forsler, A.; Nilsson, P.; Walan, S.
A22	Examining Pre-Service Science Teachers' Personal and Enacted Pedagogical Content Knowledge About Seasons	Kiliç, A.
A23	Reflections of a First-Year Chemistry Teacher: Intersecting PCK, Responsiveness, and Inquiry Instruction	Morris, D. L.
A24	Using classroom video-based instruments to characterise pre-service science teachers' incoming usable knowledge for teaching science	Chan, K. K. H.
A25	Integration of topic-specific pedagogical content knowledge components in secondary school science teachers' reflections on biology lessons	Mapulanga, T.; Ameyaw, Y.; Nshogoza, G.; Bwalya, A.
A26	Exploring the rationale for lesson design as a tool for developing and evaluating science pre-service teachers' topic-specific pedagogical content knowledge	Khozas, H. C.
A27	Exploring the metaphoric nature of programming teachers' reflections on action - a case study with teaching in mind	Larsson, A.; Stolpe, K.
A28	Development of professional vision and pedagogical content knowledge during initial teacher education	Barenthien, J.; Fiebranz, A.; Todorova, M.; Möller, K.; Steffensky, M.
A29	Addressing Student Diversity in Science Classroom: Exploring Topic-Specific Personal Pedagogical Content Knowledge of High School Teachers	Azam, S.
A30	Undergraduate chemistry instructors' perspectives on their students' metacognitive development	Heidbrink, A.; Weinrich, M.
A31	Investigating Pre-Service Early Childhood Teachers' cPCK and pPCK on the Knowledge Used in Scientific Process Through CoRe	Buldu, E.; Buldu, M.

A32	Professional knowledge affects action-related skills: The development of preservice physics teachers' explaining skills during a field experience	Kulgemeyer, C.; Borowski, A.; Buschhüter, D.; Enkrott, P.; Kempin, M.; Reinhold, P.; Riese, J.; Schecker, H.; Schröder, J.; Vogelsang, C.
A33	Pedagogical content knowledge in material-based lesson planning of preservice biology teachers	Koberstein-Schwarz, M.; Meisert, A.
A34	Exploring the noticing of science teachers: What teachers' notice and using video to capture teacher knowledge	Luft, J. A.; Huang, Y.; Singh, H.; Ozen-Tasdemir, H.; DeLuca, J.; Watson, S.; Ayano, E.; Whitworth, B. A.
A35	Locating Personal Pedagogical Content Knowledge of Science Teachers within Stories of Teaching Force and Motion	Saiqa, A.
A36	The development of ePCK of newly hired in-field and out-of-field teachers during their first three years of teaching	Singh, H.; Luft, J. A.; Napier, J. B.
A37	Teaching Electromagnetism for the First Time: a Case Study of Pre-service Science Teachers' Enacted Pedagogical Content Knowledge	Coetzee, C.; Rollinick, M.; Gaigher, E.
A38	Enacted Pedagogical Content Knowledge Profiles of Chemistry Teachers	Can, H. B.; Ersoy, B. M. A.
A39	Collective pedagogical content knowledge for teaching sustainable development	Forsler, A.; Nilsson, P.; Walan, S.

Fonte: Autores

DECLARAÇÃO SOBRE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados que fundamentam os resultados deste estudo estão disponíveis no próprio artigo e em seus materiais suplementares

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Autor 1: Conceitualização, coleta e análise de dados, aquisição de recursos, definição e execução da metodologia, redação inicial e revisão final.

Autor 2: Conceitualização, coleta e análise de dados, definição e execução da metodologia, redação inicial e revisão final.

Autor 3: Conceitualização, coleta e análise de dados, definição e execução da metodologia, redação inicial e revisão final.

USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Declaramos que foi utilizada a ferramenta Perplexity para o melhoramento do diagrama apresentado coo Figura 1.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflito de interesse com o presente artigo.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.