



UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A ABORDAGEM DO PROCESSO DE MEDIÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

A literature review about the approach of the process of scientific measurement in physics teaching in basic education

Letícia Tasca Pigosso [letitascap@hotmail.com]
Leonardo Albuquerque Heidemann [leonardo.h@ufrgs.br]
Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo

O processo de medição científica é tratado como um elemento central e repleto de sutilezas pelos cientistas e filósofos da Ciência. Apropriando-se dos debates sobre o tema, a área de pesquisa em ensino de Ciências tem se debruçado para entender as nuances do enfoque na medição nas salas de aula. Procurando sintetizar esses resultados, apresentamos uma revisão da literatura dos últimos 30 anos de publicações sobre o ensino de Física com enfoque no processo de medição científica na Educação Básica. A partir da análise de 34 artigos publicados em periódicos de grande penetração na área, concluímos que: i. a área tem privilegiado pesquisas empíricas nesses artigos, apresentando poucas análises teóricas ou históricas; ii. existe grande diversidade em termos de aspectos do processo de medição explorados, com significativo enfoque em implicações de atividades de medição nas concepções dos estudantes sobre a natureza da Ciências; iii. a perspectiva de Thomas Kuhn é hegemônica nesse campo; iv. não há convergência em termos das perspectivas de ensino-aprendizagem utilizadas, ocorrendo grande diversidade de concepções abordadas; e v. sem instrução adequada e explicitamente dirigida para aspectos epistemológicos e procedimentais do processo de medição, os estudantes evoluem timidamente em suas concepções sobre a natureza da Ciência e desenvolvem poucas habilidades de coleta, processamento e análise de dados. Em síntese, os resultados evidenciam pouca convergência das publicações em termos de resultados, visto que elas possuem grande diversidade de enfoques, ao mesmo tempo que possuem pouca diversidade em termos de referenciais epistemológicos. Conclui-se que o enfoque na medição científica na Educação Básica é um campo incipiente na área de ensino de Física, com amplo espaço para mais investigações.

Palavras-Chave: medição; revisão da literatura; ensino de física.

Abstract

The scientific measurement process is addressed by scientists and philosophers as a central element and full of subtleties. Grounded in the discussions of this field, research in science education area has analyzed the nuances of the focus on measurement in classrooms. Synthesizing these results, we present a literature review of the last 30 years of publications on the teaching of Physics with a focus on the scientific measurement process in Middle and High School. From the analysis of 34 articles published in important journals of science education field, we concluded that: i. the area has privileged empirical research, presenting few theoretical or historical analyses; ii. there is great diversity in terms of aspects of the measurement process explored, with significant focus on implications of measurement activities on students' conceptions about the nature of science; iii. Thomas Kuhn's perspective is hegemonic in this field; iv. there is no convergence in terms of the teaching and learning perspectives explored, with a great diversity of concepts addressed; v. without adequate instruction and explicitly directed towards epistemological and procedural aspects of the measurement process, students timidly evolve in their conceptions about the nature of science and develop few skills in data collection, processing and analysis. In summary, the results show little convergence of the publications in terms of results, since they have a great diversity of approaches, at the same time that they have little diversity in terms of epistemological references. It is concluded that the focus on scientific measurement in Middle and High School is an incipient field in the area of Physics teaching, with ample space for further investigation.

Keywords: measurement; literature review; physics teaching.

INTRODUÇÃO

A aparente simplicidade do ato de medir em muitas atividades de laboratório com fins didáticos encobre a grande complexidade envolvida nos procedimentos de medição científica. Debates sobre o tema foram desenvolvidos por grandes cientistas como Coulomb e Gauss (Heinicke & Heering, 2013). A busca por procedimentos adequados para se estimar incertezas experimentais e a compreensão das implicações dessas incertezas nas possíveis conclusões da atividade científica são alguns dos elementos que instigam cientistas. Naturalmente, pesquisadores das Ciências passaram a creditar grande importância para o processo de medição no laboratório didático (Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar, & Duschl, 2003), o entendendo como algo fundamental no desenvolvimento científico. Tal perspectiva ganha fôlego na medida em que estudos mostram que a medição demanda habilidades centrais como o raciocínio com dados (Kuhn, 2016), a coleta de dados (Buffler, Allie, & Lubben, 2001) e o uso de ferramentas estatísticas (Munier, Merle, & Brehelin, 2013), assim como habilidades de socialização e cidadania (Kapon, 2016). Além disso, como mostram Buffler, Lubben e Ibrahin (2009), as concepções dos estudantes sobre medição científica estão relacionadas e podem evoluir em conjunto com as suas concepções sobre a natureza da Ciência.

Laburú e Barros (2009) reforçam que a atividade experimental exige e permite desenvolver habilidades de raciocínio, analíticas e de tomada de decisões, além de permitir que o estudante reconheça a ciência como um processo. Os autores, ao realizarem uma revisão da literatura com o objetivo de entender a origem das dificuldades dos estudantes em compreender o caráter estatístico do processo de medição, constataram que, em pesquisas com estudantes em diversos níveis de ensino, os resultados apontam dificuldades em relacionar variáveis, interpretar dados e processá-los. Nesse sentido, os estudos mostram que os estudantes podem ser encaminhados a uma superação cognitiva com a instrução adequada e direcionada. Em comparação, Barolli, Laburú, & Guridi (2010), ao realizar uma revisão da literatura sobre o laboratório didático de ciências englobando trabalhos a partir da década de 90, apresentam menor preocupação da área com o processo de obtenção, organização e interpretação de dados, mesmo com resultados promissores das pesquisas realizadas.

Atualmente, autores e documentos oficiais defendem que o enfoque na medição científica precisa ser explorado na Educação Básica (e.g. Buffler *et al.*, 2001; Buffler, Lubben, & Ibrahin, 2009; MEC, 2018; Nacional Research Council, 2013) e vêm buscando entender como esse enfoque, desde os anos iniciais, pode influenciar o entendimento dos estudantes sobre a medição científica e sobre a Ciência. Em Kuhn (2010), Leblecioglu, Metin e Capkinoglu (2017) e Munier *et al.* (2013), por exemplo, estudantes do ensino fundamental demonstraram evoluir suas habilidades sobre o processo de medição, além de construírem concepções mais sofisticadas a respeito da natureza da Ciência e do conhecimento científico.

Os trabalhos de Laburú e Barros (2009) e Barolli *et al.* (2010) nos permitem compreender que o estudo da abordagem do processo de medição, além de ser de extrema relevância, possibilita amplificar e otimizar o ensino do processo de medição. Por outro lado, trabalhos e documentos oficiais mais recentes têm voltado sua atenção ao enfoque no processo de medição nas salas de aula, de modo que estudos que elucidem os resultados da literatura relacionados com iniciativas voltadas ao tema são importantes para a área de ensino de Física. Inserida nesse contexto, a investigação relatada neste artigo tem por objetivo geral analisar como o processo de medição científica vem sendo abordado na literatura nos últimos 30 anos. Para isso, realizamos uma revisão da literatura amparada nas seguintes questões:

- *Qual é o perfil da produção acadêmica a respeito do processo de medição na área de ensino de Física para a Educação Básica?*
- *Que aspectos do processo de medição são explorados?*
- *Quais perspectivas epistemológicas sobre o processo de medição são adotadas?*
- *Quais perspectivas de ensino-aprendizagem são adotadas?*
- *Quais são os resultados alcançados com diferentes formas de se abordar o processo de medição?*

No que segue, expomos a metodologia de seleção de artigos da revisão, apresentamos os resultados da análise desses artigos, e, por fim, expomos as conclusões alcançadas.

METODOLOGIA DA SELEÇÃO DE ARTIGOS

Realizamos a coleta de artigos dessa revisão em revistas especializadas em Ensino de Física e Ciências abarcando trabalhos em português, inglês e espanhol. As diferentes etapas cumpridas na seleção de artigos são discutidas a seguir.

Primeira etapa: seleção de revistas

Realizamos uma seleção de revistas que possuem grande penetração na área de Ensino de Física e de Ciências, englobando os 16 periódicos de língua portuguesa, inglesa e espanhola listados no Quadro 1.

Quadro 1 - Relação de revistas e artigos que englobam a revisão.

Revista	Qualis ¹	Artigos
Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	A2	Força, Laburú, & Silva, 2013
American Journal of Physics	A3	Sem artigos selecionados
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	A1	Gomes, 2016
Ciência e Educação	A1	Camargo Filho, Laburú, & Barros, 2015
Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências	A1	Sem artigos selecionados
Enseñanza de las Ciencias	A1	Sem artigos selecionados
International Journal of Science Education	A1	Allie, Buffler, Campbell, & Lubben, 1998; Buffler <i>et al.</i> , 2009; Buffler <i>et al.</i> , 2001; Ferguson, Tyler, & White, 2021; Morris, Masnick, Baker, & Junglen, 2015; Munier <i>et al.</i> , 2013; Pols, Dekkers, & de Vries, 2021; Séré, Journeaux, & Larcher, 1993; Toplis, 2007
Investigações em Ensino de Ciências	A1	Laburú & Barros, 2009
Journal of Research in Science Teaching (JRST)	A1	Baker & Piburn, 1991; Duggan, Johnson, & Gott, 1996; Kapon, 2016; Manz, Lerher, & Schauble, 2020; Schauble, Klopfer, & Raghavan, 1991; Sullivan, 2008; Varelas, 1996
Physical Review Special Topics - Physics Education Research	A1	Sem artigos selecionados
Revista Brasileira de Ensino de Física	A1	Laburú, Silva, & Sales, 2010; Laburú, Silva, & Força 2012
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	A1	Silva & Laburú, 2013
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	A2	Barolli <i>et al.</i> , 2010; Rosa, Rosa, & Pecatti, 2007
Revista Electrónica de Investigación de Educación em Ciencias	A2	Sem artigos selecionados
Science Education	A1	Heinicke & Heering, 2013; Kuhn, 2016; Kuhn, Arvidsson, Lesperance, & Corprew, 2017; Lubben, Campbell, Buffler, & Allie, 2001; Sandoval & Çan, 2011
Science & Education	A1	Apedoe & Ford, 2010; Farri, Dickes, & Sengupta, 2019; Leblebicioglu <i>et al.</i> , 2017; Zachos, Hick, Doane, & Sargent, 2000

Realizamos as coletas de artigos com o uso dos instrumentos de busca das próprias revistas, restringindo as pesquisas ao intervalo compreendido entre os meses de janeiro de 1990 e janeiro de 2022.

Devido ao número diminuto de artigos na produção sul-americana sobre o tema, optamos por ampliar os termos utilizados nas buscas por artigos em revistas desse contexto, o que implicou o uso de termos diferentes nas revistas de língua inglesa e de língua portuguesa e espanhola. Nas revistas de língua inglesa, utilizamos a seguinte lógica booleana para realizar a busca das palavras-chave em todo o texto: “*measurement*” AND “*secondary school*” OR “*middle school*” OR “*elementary school*” AND “*laboratory*” OR “*experimental*” OR “*empirical*”. Dessa forma, filtrava-se artigos em que pelo menos três desses termos

¹ Conforme classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020.

apareçam em qualquer lugar do texto (título, resumo, palavras-chave ou corpo do texto), podendo-se utilizar qualquer uma das combinações. Nas revistas de língua portuguesa, empregamos como descritor apenas “medida” OR “medição”; nas de língua espanhola, “medida” OR “medición”. Com esses procedimentos, selecionamos 1875 artigos.

Segunda etapa: análise de títulos e resumos

Analisamos o título e o resumo de cada um dos artigos da busca, excluindo aqueles que não se alinhavam aos objetivos do estudo. Excluimos artigos que:

- a) tratavam especificamente de Ensino de Química ou Ensino de Biologia, ou que não fossem voltados ao ensino;
- b) discutem o processo de medição de forma circunstancial, sem foco especificamente no ensino do processo de medição;
- c) não estivessem focados explicitamente na Educação Básica.

Selecionamos então 25 artigos, sendo cinco deles de língua portuguesa, um de língua espanhola, e 19 de língua inglesa. Após a leitura de todos os artigos, identificamos algumas publicações de grande impacto na área não selecionadas a partir dos procedimentos das primeiras etapas. Em função disso, ampliamos a revisão agregando ao seu corpus esses artigos, quais sejam: Allie, Buffler, Campell e Lubben (1998), Buffler *et al.* (2001), Buffler, Lubben e Ibrahim (2009), Camargo Filho *et al.* (2015), Heinicke e Heering (2013), Hug e Mcneil (2008), Lubben *et al.* (2001), Séré, Journeaux e Larcher (1993) e Silva e Laburú (2013), totalizando 34 artigos analisados na revisão. O Quadro 1 mostra as revistas que fazem parte da revisão e os artigos que foram selecionados em cada periódico. Na Figura 1, são sintetizadas as etapas do processo de seleção, assim como o número de artigos englobados em cada etapa.

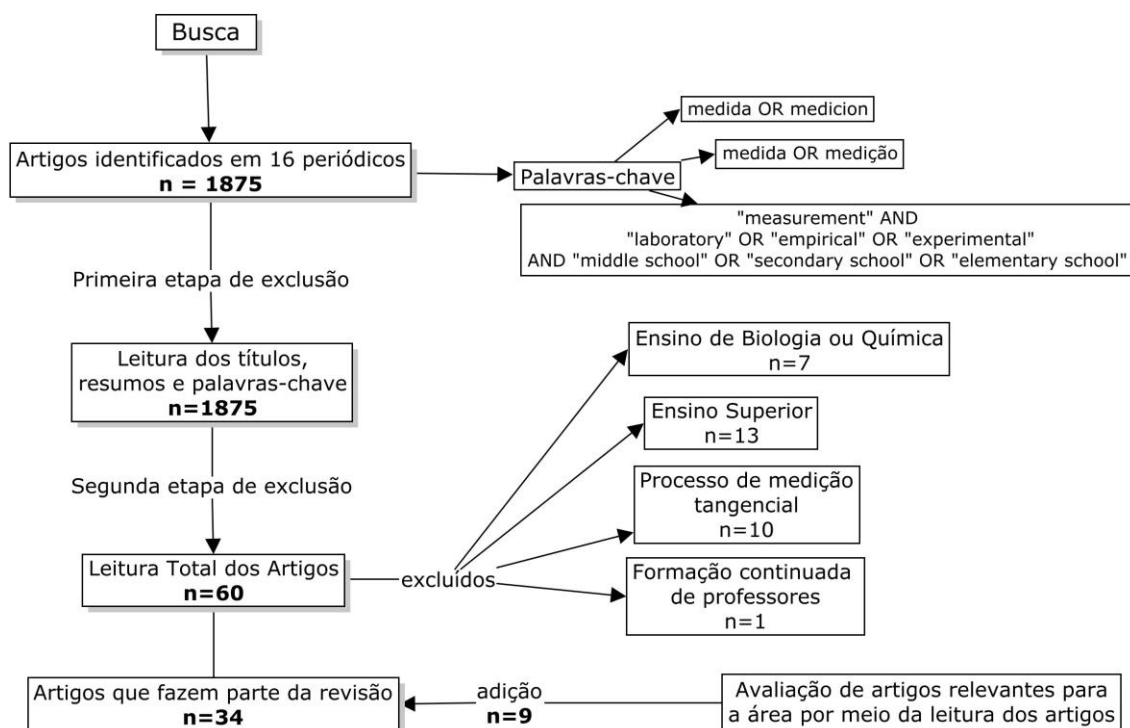


Figura 1 - Descrição das etapas de busca dos artigos englobados nessa revisão.

RESULTADOS

Os resultados provenientes da análise dos artigos podem ser agrupados em termos dos seguintes critérios relacionados às questões de pesquisa da revisão: perfil da produção acadêmica; motivações para as

pesquisas; aspectos do processo de medição discutidos; perspectivas teóricas e epistemológicas dos artigos; e principais resultados das investigações.

Produção Acadêmica

Para a análise da produção acadêmica, propomos categorias para caracterizar o estado da arte das pesquisas sobre o processo de medição no Ensino de Física, que se encontram especificadas no Quadro 2, assim como os artigos englobados em cada uma delas.

Quadro 2 - Relação das categorias e subcategorias que descrevem o perfil da produção acadêmica e especificação dos artigos englobados em cada categoria.

Categoria	Subcategoria	Artigos
Pesquisa Empírica	Com Intervenção	Apedoe & Ford, 2010; Baker & Piburn, 1991; Ferguson <i>et al.</i> , 2021; Força <i>et al.</i> , 2013; Gomes, 2016; Hug & Mcneill, 2008; Laború <i>et al.</i> , 2012; Mauro & Furman, 2016; Munier <i>et al.</i> , 2013; Schauble <i>et al.</i> , 1991; Séré <i>et al.</i> , 1993; Zachos <i>et al.</i> , 2000
	Sem Intervenção	Allie <i>et al.</i> , 1998; Buffler <i>et al.</i> , 2009; Buffler <i>et al.</i> , 2001; Duggan <i>et al.</i> , 1996; Farris <i>et al.</i> , 2019; Laború <i>et al.</i> , 2010; Leblecioglu <i>et al.</i> , 2017; Lubben <i>et al.</i> , 2001; Kapon, 2016; Sullivan, 2008; Pols <i>et al.</i> , 2021; Sandoval & Çan, 2010; Silva & Laború, 2013; Toplis, 2007; Varelas, 2002; Camargo Filho <i>et al.</i> , 2015
Análise de Publicações	Revisão da Literatura	Barolli <i>et al.</i> , 2010; Laború & Barros, 2009
	Análise de Livros Didáticos	Morris <i>et al.</i> , 2015
Reflexões	Históricas	Heinicke & Heering, 2013
	Teóricas	Kuhn <i>et al.</i> , 2017; Manz <i>et al.</i> , 2020

Na categoria “*Pesquisa Empírica*”, englobamos artigos que explicitam objetivos, questões de pesquisa e metodologias de investigação empírica. Nela podem ser encontradas pesquisas que envolvem intervenção, quando os autores avaliam implicações da aplicação de seqüências didáticas, e que não envolvem intervenção, quando os autores não procuram provocar mudanças no contexto que investigam.

Buffler *et al.* (2009), por exemplo, utilizam um questionário para investigar as relações entre as concepções dos alunos sobre natureza da Ciência com suas concepções sobre natureza da medição científica. Os estudos de Buffler e seus colaboradores (Buffler *et al.*, 2009; 2001; Lubben *et al.*, 2001) se fundamentam em questionários e entrevistas na busca por compreender e validar suas interpretações da teoria de Thomas Kuhn sobre o processo de medição.

Também englobados na categoria de pesquisas empíricas sem intervenção estão estudos de caso como os de Kapon (2016), que realizou a pesquisa sobre projetos de pesquisa extraclasse, e de Leblecioglu *et al.* (2017), que estava inserido em um *Science Camp*². Nas pesquisas exploradas, não foram identificados relatos de experiência que tratassem do processo de medição.

Nas pesquisas empíricas com intervenção estão englobados artigos que investigam implicações de seqüências didáticas. Como exemplo, o estudo de Munier *et al.* (2013) envolve a análise das implementações de duas unidades de ensino, aplicadas em 4th e 5th grades, que envolviam temas como incertezas, dispersão e ferramentas estatísticas.

Os artigos classificados em “*Análise de Publicações*” são aqueles que analisam a produção existente a respeito do ensino do processo de medição. Os artigos da subcategoria “Revisão da Literatura” têm como objetivo analisar o estado da arte de um determinado assunto. Barolli *et al.* (2010), por exemplo, realizam uma revisão da literatura sobre diversos âmbitos do laboratório de Ciências, sendo um deles englobando pesquisas sobre coleta e análise de dados. Já Laború e Barros (2009) apresentam uma revisão a respeito da

² Em tradução livre “acampamento de ciências”.

pesquisa sobre o processo de medição com o objetivo de compreender a origem de concepções equivocadas sobre o caráter estatístico do seu processo.

A subcategoria “Análise de Livros Didáticos” inclui apenas o trabalho de Morris *et al.* (2015), que apresenta uma análise de livros de Ciências utilizados por escolas estadunidenses a respeito de atividades didáticas que envolvem a análise de dados experimentais.

Classificamos os trabalhos que apresentam reflexões sobre assuntos relacionados ao processo de medição na categoria “Reflexões”. Esses artigos são em sua totalidade teóricos, discutindo sobre a aprendizagem dos alunos a respeito do processo de medição à luz de teorias, ou históricas, discutindo o processo de medição por meio de um episódio histórico.

O artigo que apresenta uma pesquisa histórica é o de Heinicke e Heering (2013), que discute e compara as abordagens sobre medição de Coulomb e Gauss, analisando ações e escolhas dos físicos demonstradas por seus artigos e/ou aulas frente ao processo de medição, e comparando com ações comuns dos alunos, como apresentação de poucos ou muitos dados em relatórios científicos. Já com reflexões teóricas, temos os artigos de Manz *et al.* (2020), em que são evocados diferentes trabalhos teóricos de cunho epistemológico e metodológico, e de Kuhn *et al.* (2017), em que eles utilizam teorias psicológicas em uma reflexão sobre o que se sabe a respeito da aprendizagem do processo de medição com estudantes de diversos níveis escolares.

Em resumo, as publicações da área estão voltadas às pesquisas empíricas, de modo que os pesquisadores buscam responder questões de pesquisa focadas especificamente ao processo de medição ou sublinhando-o de forma secundária. As pesquisas empíricas se dividem entre nove trabalhos sem intervenção e 11 com intervenção. Dos demais trabalhos, a pesquisa se mostra mais escassa, com quatro artigos de análise de publicações e três de reflexões. É importante ressaltar que não identificamos trabalhos com relatos de experiência, de modo que o foco dos autores reside em sua maioria na exploração de pesquisas empíricas, mesmo quando dizem respeito a sequências didáticas.

Aspectos do processo de medição explorados

O processo de medição é um aspecto do fazer científico multifacetado, englobando diversos elementos do conhecimento científico, desde fatores que envolvem a coleta de dados quanto à sua análise e processamento. Dessa forma, assim como os estudos da Física englobam diferentes tópicos, pode-se notar diferentes aspectos do processo de medição explorados pelos trabalhos. Classificamos os artigos em cinco categorias apresentadas no Quadro 3, dispostas em conjunto com as suas descrições e os artigos incluídos em cada uma delas.

Quadro 3 - Relação dos aspectos do processo de medição explorados pelos artigos.

Categoria	Descrição: Artigos que exploram...	Artigos
Coleta, Processamento e Comparação de Dados	...mesmo que implicitamente, a coleta, processamento e comparação de dados enquanto etapas do processo de medição científica	9 (Buffler <i>et al.</i> , 2001; Camargo Filho <i>et al.</i> , 2015; Heinicke & Heering, 2013; Hug & Mcneill, 2008; Laború <i>et al.</i> , 2010; Lubben <i>et al.</i> , 2001; Mauro & Furman, 2016; Morris <i>et al.</i> , 2015; Pols <i>et al.</i> , 2020)
Natureza Estatística	...questões epistemológicas relacionadas com a dispersão estatística de dados e/ou habilidades no uso de ferramentas estatísticas de análise de dados	6 (Allie <i>et al.</i> , 1998; Barolli <i>et al.</i> , 2010; Gomes, 2016; Munier <i>et al.</i> , 2013; Séré <i>et al.</i> , 1993; Silva & Laború, 2013)
Controle de Variáveis	...explicitamente questões relacionadas a habilidades de controle de variáveis em experimentos	4 (Duggan <i>et al.</i> , 1996; Kuhn, 2016; Schauble <i>et al.</i> , 1991; Sullivan, 2008)
Relações entre dados, realidade e teorias	...questões epistemológicas a respeito de conexões construídas entre aspectos de medições científicas e a realidade	6 (Apedoe & Ford, 2010; Força <i>et al.</i> , 2013; Laború <i>et al.</i> , 2012; Sandoval & Çan, 2011; Toplis, 2007; Varelas, 1996)
Sem foco específico	...o processo de medição em um âmbito geral, sem foco em algum elemento específico	9 (Baker & Piburn, 1991; Buffler <i>et al.</i> , 2009; Farris <i>et al.</i> , 2019; Fergusson <i>et al.</i> , 2021; Kapon, 2016; Laború & Barros, 2009; Leblebicioglu <i>et al.</i> , 2017; Manz <i>et al.</i> , 2020; Zachos <i>et al.</i> , 2000)

Buscamos englobar por meio das categorias aqui dispostas o foco mais explorado ao longo do artigo, não necessariamente todos os aspectos explicitamente focados pelos autores. Essas categorias emergentes mostram que os autores costumam tratar do processo de medição em linhas mais gerais, principalmente devido à maior concentração de artigos nas categorias “Coleta, Processamento e Comparação de Dados” e “Sem foco específico”. As demais categorias mostram também preocupações específicas com questões epistemológicas, como em “Relação entre dados, realidade e teorias”, com habilidades do processo de medição, explorados em “Ferramentas Estatísticas”, e com questões específicas, apresentados na categoria “Controle de Variáveis”.

A categoria “Coleta, processamento e análise de dados” é apresentada explicitamente em Buffler *et al.* (2001), pois são essas as categorias de análise utilizadas para avaliação das concepções dos estudantes. Eles discutem que o processo de medição é formado por esses três estágios, e que os estudantes precisam desenvolver habilidades e concepções sofisticadas em cada estágio desse processo. Tomando Buffler *et al.* (2001) como referência, Laború *et al.* (2010) e Camargo Filho *et al.* (2015) também adotam esses eixos para fundamentarem suas investigações. Os demais artigos dessa categoria não exploram explicitamente esses termos, porém empregam e analisam o processo de medição em uma sequência de etapas que envolve a coleta, processamento e análise de dados, tratando a compreensão do processo de medição como desenvolvida em estágios. Essa categoria engloba nove dos 34 artigos e mostra que a análise e o ensino do processo de medição constituído em etapas é bastante legitimado na área. Mesmo publicações que não mobilizam explicitamente essas etapas parecem concordar com essa concepção.

Os seis artigos da categoria “Natureza Estatística” apresentam, ainda que em alguns casos de forma implícita, preocupações com a aprendizagem sobre análise de dados e a natureza estatística de conjuntos de dados. Em Gomes (2016), a pesquisa tem seu foco exclusivamente no desenvolvimento de habilidades de análise de dados. Já em Munier *et al.* (2013), vemos uma preocupação principal com concepções epistemológicas e interpretações sobre a natureza estatística de um conjunto de dados. Ainda que as publicações englobadas na categoria “Coleta, Processamento e Análise de dados” também se preocupem com a natureza estatística dos dados, elas tratam do tema de forma circunstancial dentro das etapas do processo de medição.

Quando analisamos as publicações, identificamos que quatro delas abordam especificamente o processo de controle de variáveis no trabalho experimental. Um exemplo é o estudo de Kuhn (2016), que se concentra na análise do que os estudantes das séries iniciais precisam e são capazes de aprender sobre o controle de variáveis. O objetivo do estudo é investigar, de uma perspectiva psicológica, como os estudantes aprendem, diferenciando-se dos demais trabalhos que se concentram em aspectos didáticos. O controle de variáveis, ainda que essencial no fazer experimental, é uma nuance específica do processo de medição, e esses foram os estudos mais direcionados encontrados nessa revisão da literatura, sendo que os demais exploram o processo de medição por meio de aspectos elementares.

Uma discussão que também se faz central quando se trata de experimentação é sobre as relações entre dados, realidade e teorias. Identificamos que seis das 34 publicações voltam seu foco a essas relações e às concepções dos estudantes sobre elas. Força *et al.* (2013) e Laború *et al.* (2012) se preocupam com a acurácia dos dados obtidos por estudantes quando eles sabem os valores esperados nos experimentos e discutem as preocupações deles com a adequação com as teorias em diferentes situações. Já Toplis (2017) analisa as avaliações dos resultados de experimentos realizadas por estudantes de Ensino Fundamental e a forma como eles lidam com dados anômalos, que não são coerentes com os outros dados dos experimentos e/ou com as teorizações que fundamentam suas investigações.

Uma parcela significativa das publicações (9 das 34 analisadas) não apresenta foco específico em algum aspecto do processo de medição, abordando-os de modo geral. Como já discutido, os artigos assim categorizados tendem a dar mais ênfase em algum aspecto do processo de medição, tendo em vista que é um assunto bastante amplo, porém as suas análises e discussões não demonstram essa tendência como objetivo. Como exemplo, Manz *et al.* (2020) traz debates epistemológicos com o objetivo de discutir a ciência como prática de forma geral.

Em resumo, os artigos exploram aspectos gerais do processo de medição, trazendo à tona discussões que permeiam a natureza do processo de medição. Os quatro artigos classificados em “Controle de Variáveis” são os únicos que exploram aspectos específicos. São mais recorrentes os artigos que discutem compreensões de aspectos epistemológicos do processo de medição, sendo a principal preocupação dos artigos englobados em “Relações entre dados, Realidade e Teoria” e se mostrando uma preocupação lateral

encontrada em todas as classificações. Poucos trabalhos discutem apenas habilidades do processo de medição e esses estão encontrados na categoria “Natureza Estatística”.

Perspectivas epistemológicas e teóricas empregadas

O processo de medição é uma faceta da prática científica ao qual, assim como para todo o domínio das Ciências, são dadas diferentes interpretações. Assim, podem ser empregados diferentes autores para reflexões a respeito do viés epistemológico e teórico do processo de medição científica. Avaliando, primeiramente, as perspectivas epistemológicas, existem epistemólogos que dedicam espaços dos seus trabalhos para tratar especificamente do processo de medição, como Mario Bunge (2009), enquanto que outros tratam do processo de medição de forma circunstancial, direcionando suas reflexões ao conhecimento científico como um todo, como faz Thomas Kuhn. Sobre esse autor, os artigos que explicitam suas perspectivas epistemológicas apresentam também interpretações para as concepções utilizadas sobre o processo de medição (e.g., Lubben *et al.*, 2009).

A análise dos artigos mostrou que 11 deles não explicitam a concepção epistemológica utilizada, de modo que aqui limitaremos a discussão aos que tratam explicitamente das perspectivas empregadas. Não é nosso objetivo aqui analisar as concepções que permeiam as conclusões dos autores.

Dentre os autores que discutem explicitamente epistemologias da Ciência, Thomas Kuhn é o mais utilizado nas publicações, sendo citado em 12 dos 34 artigos. Desse modo, dos 23 artigos que explicitam as perspectivas empregadas, a kuhniana é utilizada em 52% deles. Quando analisamos a produção brasileira, esse número se torna ainda mais expressivo, já que a totalidade dos artigos que explicitam o uso de uma perspectiva epistemológica citam os trabalhos de Kuhn como uma referência.

O conceito de Kuhn mais mobilizado é o de paradigma, e foi primeiramente empregado por Buffler e colaboradores. Eles assumem que a compreensão do processo de medição envolve a aproximação do indivíduo com um conjunto de conhecimentos compartilhados relacionados com um paradigma. Uma concepção ingênua é vinculada com um paradigma denominado Pontual, sintetizado na crença de um valor verdadeiro para qualquer tipo de medição, enquanto que uma visão mais sofisticada, resumida na noção de que medidas costumam envolver dispersões estatísticas e que demandam análises em termos de conjuntos de dados, é representada por um paradigma denominado de Conjunto. Segundo Buffler *et al.* (2001, p. 1139, tradução nossa), o “*termo paradigma é usado aqui no sentido de ‘[...] constelação de crenças, valores, técnicas e assim por diante compartilhadas por membros de uma dada comunidade’ (Kuhn, 1970)*”. O Quadro 4 resume as ações e raciocínios característicos de cada paradigma, e foi adaptado da tradução de Camargo Filho *et al.* (2015) do trabalho de Buffler *et al.* (2001).

No Quadro 4, as fases da medição representam o que os autores consideram como os aspectos principais do conhecimento procedimental, sendo eles a coleta, o processamento e a comparação de dados. Os autores que utilizam essa interpretação do processo de medição colocam as fases como o foco da discussão, como visto na seção “Aspectos do processo de medição”. Como se pode notar pelo quadro a seguir, o Paradigma Pontual diz respeito principalmente à ideia de unicidade de medições, envolvendo a concepção da existência de um valor verdadeiro para qualquer medida. No quadro também notamos que o Paradigma de Conjunto envolve concepções mais sofisticadas do processo de medição, em que o aluno compreende o viés estatístico das medições. Buffler *et al.* (2001), ainda, definem a compreensão do processo de medição como um espectro, em que os alunos flutuam entre uma compreensão científica, que diz respeito ao Paradigma de Conjunto, e uma compreensão alternativa, correspondente ao Paradigma Pontual, e que muitas vezes eles possuem visões que envolvem uma relação dos dois.

A concepção de Kuhn está atrelada aos paradigmas de medição propostos por Buffler e seus colaboradores na maioria dos artigos, porém três dos que se valem das discussões de Buffler não reforçam a perspectiva kuhniana. Por outro lado, Laború *et al.* (2009), Força *et al.* (2013) e Munier *et al.* (2013) citam Thomas Kuhn explorando a importância que ele atribui à experimentação, destacando, por exemplo, que “*muita teoria é necessária antes dos resultados da medição obterem sentido*” (Laború, 2009, p. 2). Além de Kuhn, Karl Popper, um autor clássico da epistemologia da Ciência, é citado em Zachos *et al.* (2000). Os autores evocam especificamente o livro *A Lógica da Descoberta Científica* (1975), utilizando-o para discutir sobre “*o que é descoberta científica*”. O processo de medição entra em foco quando explanam sobre a “*testagem de conceitos*”. Os autores concordam com a argumentação de Popper (1975 *apud* Zachos *et al.* 2000) quando ele destaca que os cientistas apresentam e testam afirmações, construindo hipóteses e teorias

e as comparando com experimentos e observações. Para os autores, o processo de medição se mostra particularmente relevante principalmente nessa fase de testagem de afirmações.

Quadro 4 - Ações e Raciocínios correspondentes aos paradigmas pontual e de conjunto.

Fase da medição		Ação	Raciocínio
Paradigma Pontual	Coleta	Não é necessário repetir a medição. Repete-se para encontrar um valor recorrente; repete-se para praticar.	A medição direciona a um único valor, ao invés de contribuir para um intervalo. Uma única boa medição é suficiente.
	Processamento <i>via cálculo</i>	Uma única medição é selecionada para representar o valor verdadeiro.	Cada medição é independente de todas as outras e pode, a princípio, ser o valor verdadeiro.
	Processamento <i>via gráfico linear</i>	Todos os pontos unidos por múltiplos segmentos de linha ou uma única linha por meio de dados selecionados.	A tendência dos dados é mais bem representada quando são selecionados certos valores particulares.
	Comparação <i>conjunto de dados</i>	Comparação de valor por valor de dois conjuntos, ou uma comparação baseada na “proximidade” das médias (se fornecidas).	Não há necessidade de repetir as medições, portanto, as comparações são feitas sobre os valores individuais.
Paradigma de Conjunto	Coleta	Repetir a medição da mesma quantidade é necessário em consequência da dispersão inerente dos dados.	Cada medição é apenas uma aproximação do valor verdadeiro, e os desvios do valor verdadeiro são aleatórios. Várias medições são necessárias para formar uma distribuição que irá se agrupar em torno de algum valor em particular.
	Processamento <i>via cálculo</i>	Um conjunto de medições é representado por um constructo teórico, como a média e o desvio padrão.	A melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo.
	Processamento <i>via gráfico linear</i>	Todas as medições são levadas em consideração para o ajuste linear dos dados por meio do método dos mínimos quadrados.	A melhor representação gráfica de um conjunto de medidas é obtida pela modelagem da tendência dos dados.
	Comparação <i>qualidade dos dados</i>	Para o mesmo conjunto de medidas, é considerado o melhor resultado aquele associado ao menor desvio padrão.	O desvio padrão está relacionado à precisão da medição.
	Comparação <i>conjunto de dados</i>	O acordo de duas medições está relacionado com o nível de sobreposição de seus intervalos.	A média e o desvio padrão definem um intervalo de confiança, o qual está relacionado tanto com melhor estimativa quanto à confiabilidade da medição.

Adaptado de: Camargo Filho *et al.* (2015)

Outro enfoque explorado é a concepção de que a ciência é construída por meio da modelagem científica. Dos artigos analisados, são dois os que citam o uso de modelos como o cerne da ciência (Farris *et al.*, 2019; Manz *et al.*, 2020). Porém, esses autores discutem aspectos diferentes da modelagem científica.

Manz *et al.* (2020) conceitualizam “a ciência como um empreendimento da modelagem” citando autores como Giere (1999), Hesse (1966), Longino (1994), Nersessian (2008) e Windschitl, Thompson e Braaten (2008). Nessa concepção, modelos são estabilizados nas comunidades científicas e constantemente refinados, e envolvem comunicações de avaliação e refinamento entre modelos novos e aqueles já estáveis. Os autores, aqui, utilizam a modelagem científica como base para uma visão da ciência como prática (*science-as-practice*), buscando ressignificar as aulas experimentais. Eles acreditam que, assim como a Ciência, o ensino deveria ser voltado para a construção, avaliação e refinamento de modelos científicos, envolvendo o processo de medição para todas as fases da modelagem.

A modelagem científica também é enfatizada relacionada à computação, como faz Farris *et al.* (2019). Para os autores, a modelagem inclui a “geração, avaliação e teste de modelos” e “é a linguagem pela qual os cientistas transformam a natureza em representações compartilháveis”. Assim como Manz *et al.* (2020),

acreditam que a modelagem científica exige o compartilhamento de ideias entre a comunidade científica, porém eles reforçam o papel do aprendiz na modelagem, com as adaptações que ele realiza para entender os modelos científicos, e buscam compreender como alunos e professores pensam sobre a modelagem quando ela passa para a abstração da computação.

Por outro lado, Morris *et al.* (2015) discutem o renomado trabalho de Deanna Kuhn (2010), autora que discute a respeito da aprendizagem do processo de medição no âmbito psicológico, sobre raciocinar com dados, pontuando que isso envolve conceitos científicos, coleta de dados, estratégias de análise de dados, interpretação de dados e previsões. Essas ideias vão ao encontro da visão de modelagem científica da autora. Além disso, Morris *et al.* (2015) evocam a epistemologia para discutir o papel dos livros didáticos, foco da pesquisa. Para eles, os livros didáticos podem ser vistos como ferramentas culturais e a forma que o processo de medição é discutido nos livros é capaz de refletir a cultura da área sobre o assunto.

Outros dois artigos trazem uma discussão epistemológica explícita: Duggan *et al.* (1996) e Apedoe e Ford (2010). O primeiro discute uma concepção de ciência que se divide entre conceitual e procedimental, e que a parte procedimental da ciência está envolta em habilidades e conceitos de evidência científica, que foi herdada de Gott e Duggan (1995 *apud* Duggan *et al.*, 1996). Já Apedoe e Ford (2010) discutem as atitudes empíricas, e acreditam, em acordo com a visão de Bogen e Woodward (1988 *apud* Apedoe & Ford, 2010), que dados expressam fenômenos e fenômenos expressam nossas ideias a respeito da natureza, e que a atitude empírica está na construção dessas relações.

É importante destacar que não identificamos artigos que apresentem discussões explícitas sobre o processo de planejamento de uma medição. Como pode ser constatado no Quadro 4, as preocupações de Buffler e seus colaboradores parte da coleta de dados. O planejamento experimental passa por diversas fases, como a definição do fenômeno a ser medido, do referencial teórico que será utilizado, dos instrumentos e das grandezas que serão controladas. Como visto, artigos como o de Kuhn (2016) apresentam uma preocupação explícita no controle de variáveis, porém não explicita perspectivas epistemológicas para amparar seus estudos.

Notamos grande impacto de Thomas Kuhn nos artigos que exploram concepções epistemológicas explicitamente, sendo as suas ideias explicitadas em 12 dos 34 trabalhos estudados. A grande influência dos trabalhos de Buffler e seus colaboradores é inegável nesse sentido, principalmente na literatura brasileira (Pigosso & Heidemann, 2021), em que a totalidade dos artigos utiliza suas ideias como referencial teórico. Com relação aos outros referenciais explorados, é pouco comum o uso das ideias de um único autor como base para as discussões epistemológicas. Manz *et al.* (2020) e Apedoe e Ford (2010), por exemplo, apesar de apresentarem uma perspectiva epistemológica bem definida, discutem suas concepções epistemológicas baseados em uma coletânea de autores. Nesse sentido, a exploração de concepções de novos autores que discutam explicitamente o processo de medição e, em consequência, novas concepções, como faremos nesse trabalho, pode fortalecer a área e ampliar os aspectos que são discutidos no processo de medição.

Por outro lado, ao avaliar as perspectivas de ensino-aprendizagem utilizadas pelos autores, identificamos 17 artigos que explicitam perspectivas teóricas de aprendizagem ou metodologias de ensino. Definimos aqui metodologia de ensino como sendo possíveis estratégias apresentadas pelos autores para a abordagem do processo de medição ou estratégias utilizadas por eles na implementação de atividades. Como perspectivas de aprendizagem, consideramos artigos que apresentem, explícita ou implicitamente, teorias que explorem a forma como os estudantes aprendem.

A respeito das metodologias de ensino, o Quadro 5 sintetiza as que foram identificadas.

Quadro 5 - Metodologias de ensino e artigos em que são discutidas.

Metodologia de ensino	Artigos
Aprendizagem baseada em modelos (e. g. Goodwin 1994; Keller 1984; Ochs, Gonzales, & Jacobs 1996; Lehrer, 2009)	Farris <i>et al.</i> , 2019 e Ferguson <i>et al.</i> 2021
Movimento Ciência como prática (e. g. Schwarz, Passmore, & Reiser, 2017; Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008)	Manz <i>et al.</i> , 2020
Investigações abertas e estendidas	Sullivan, 2008
Experimentação por paradigmas (Millar, 1987)	Força <i>et al.</i> , 2013; Laburú <i>et al.</i> , 2012

Por meio do Quadro 5, podemos notar que não existem padrões quanto à metodologia utilizada pelos trabalhos. Duas delas são exploradas por dois artigos cada, enquanto as demais por um. A experimentação por paradigmas de Millar (1987 *apud* Força *et al.*, 2013) é a que chama mais atenção nesse quesito por ser explorada pelo mesmo grupo de pesquisa com objetivos diferentes. Ela pode ser sintetizada na orientação de se expor os paradigmas de experimentação, como resultados esperados por experimentos exemplares, a fim de orientar as observações dos alunos. Dessa forma, a metodologia prevê que atividades experimentais nas quais os estudantes conhecem o valor da grandeza que se busca mensurar seriam mais proveitosas para a aprendizagem. Força *et al.* (2013), por exemplo, utilizam essa metodologia em uma sequência dos trabalhos de Laború *et al.* (2012).

A aprendizagem baseada em modelos explorada por Farris *et al.* (2019) e Fergusson *et al.* (2021) foca na construção de modelos pelos alunos com o objetivo de estimular a construção de explicações alinhadas com a ciência, focando na participação dos estudantes por meio da exploração da linguagem científica, de atividades de modelagem e pelo uso de ferramentas próprias da Ciência. Já no movimento ciência como prática, discutido em Manz *et al.* (2010), a atividade empírica da ciência é interligada com as atividades conceituais, e inicia com a compreensão de que a ciência é um produto, evoluindo para o entendimento de como a ciência é desenvolvida, inclusive conhecendo o trabalho de cientistas em contextos particulares. Por último, as investigações abertas e estendidas explorada por Sullivan (2008) trata de explorar questões e situações em que o professor não guia excessivamente os estudantes, propondo apenas a atividade e dirigindo-os o mínimo possível no caminho de uma das possíveis respostas.

Quanto ao contexto pesquisado, Força *et al.* (2013), Laború *et al.* (2012), Farris *et al.* (2019) e Sullivan (2008) apresentam as metodologias de ensino no contexto de aplicação de aulas. Os três primeiros desenvolveram aulas baseadas nas metodologias, enquanto que Sullivan (2008) discute uma atividade já existente em um curso de robótica em um programa de verão para “jovens talentosos”. Sullivan (2008) e Farris *et al.* (2019) discutem cursos voltados aos aspectos tecnológicos do conhecimento científico, porém o segundo explora a aprendizagem baseada em modelos em um caso em que uma plataforma de modelagem computacional foi inserida nas aulas de estudantes de nono ano.

Manz *et al.* (2020) apresenta uma discussão teórica das metodologias de ensino, sem aplicações ou coleta de dados em sala de aula. O primeiro artigo discute a inserção do ponto de vista da Ciência como prática (*science-as-practice*) em sala de aula apontando suas potencialidades e essa metodologia como uma forma de repensar investigações empíricas por meio de modelagem científica.

Já em se tratando das perspectivas teóricas de aprendizagem, nove artigos apresentam explicitamente alguma referência, sendo que os autores de cinco artigos se identificam como alinhados com perspectivas cognitivistas (Kuhn, 2016; Laború *et al.*, 2010; Laború & Barros, 2009; Schauble *et al.*, 1991; Silva & Laború, 2013), baseados principalmente nas orientações de Piaget. Kapon (2016), Sandoval e Çam (2011) e Varelas (1996) evocam as orientações de Vygotsky. Schauble *et al.* (1991), Morris *et al.* (2015) e Fergusson *et al.* (2021) utilizam conceitos de modelagem mental para explorar como os estudantes aprendem e, por fim, Heinicke e Hering (2013) se autointitulam socioconstrutivistas. Os teóricos de aprendizagem mais citados nos artigos analisados são Piaget e Vygotsky.

Com relação aos autores que evocam a teoria de Vygotsky, os autores discutem diferentes âmbitos das concepções do autor, como a zona de desenvolvimento proximal (Kapon, 2016), a necessidade de aprendizagem de ferramentas culturais em contextos diversos (Varelas, 2002), e a concepção de que a educação se coloca entre elementos socioculturais e a prática científica, unindo ambos. Heinicke e Hering (2013) também concordam com o caráter social da aprendizagem científica, declarando-se socioconstrutivistas, destacando a necessidade de se levar em consideração o desenvolvimento histórico de um método para o seu entendimento. Kapon (2016), empregando conceitos de Vygotsky, evoca a construção do conhecimento como comunidades de prática, concordando com autores como Wenger que dizem que a aprendizagem só acontece com a ação em comunidade, visão compartilhada por Sandoval e Çam (2011).

Laború e Barros (2009) evocam conceitos de Piaget, destacando que “*uma transformação conceitual do Paradigma Pontual para o de Conjunto torna-se dependente de uma superação cognitiva*” (Laború & Barros, 2009 p. 158), de modo que podem ser caracterizados como construtivistas. Silva e Laború (2013) e Laború *et al.* (2010) concordam com Laború e Barros (2009) e se declaram construtivistas ao longo do trabalho, relacionando esse aporte teórico principalmente ao aspecto do protagonismo do estudante na construção do próprio conhecimento.

Schauble *et al.* (1991) citam o uso da modelagem, se propondo a discutir a mudança de modelos experimentais dos alunos, se direcionando a discussões sobre modelagem mental. Os autores assumem que a compreensão de alunos sobre investigações provém do modelo que os alunos constroem do processo. Nessa concepção, os modelos são individuais e determinados dependendo de objetivos e regras próprias do estudante ou pesquisador. Segundo os autores, modelos de experimentação correspondentes a uma visão “de engenharia” são aqueles que buscam apenas um resultado esperado, enquanto que modelos correspondente a uma visão científica buscam entender a relação entre causas e efeitos. Fergusson *et al.* (2021) também evocam a modelagem mental, usando especificamente a modelagem de dados e sua relação com aspectos estéticos da aprendizagem. Eles se valem de um ensino baseado em modelos de acordo com Lehrer e Kim (2009 *apud* Fergusson *et al.*, 2021) e Lehrer e Schauble (2012 *apud* Fergusson *et al.*, 2021), o que nos leva a concluir que ele concorda com a concepção de modelagem mental de Schauble.

Em resumo, pode-se perceber que não existem padrões associados aos referenciais teóricos de aprendizagem empregados pelos autores. No que diz respeito às metodologias, cada autor que faz uso delas evoca um método diferente, de modo que conclusões mais gerais sobre o uso de alguma metodologia não podem ser inferidas. Já nos referenciais teóricos, a perspectiva cognitivista é a que tem maior influência nos artigos, com cinco autores que assim se posicionam. Por outro lado, os aspectos explorados pelos autores que evocam perspectivas de aprendizagem são heterogêneos. Esse perfil demonstra mais uma vez a diversidade presente nos estudos sobre o processo de medição, de modo que se pode avaliar a área por diferentes pontos de vista.

Principais resultados das investigações

Nesta seção, apresentamos e debatemos os resultados alcançados e discutidos pelas publicações que compõem essa revisão da literatura. Para isso, apresentamos os resultados em termos de discussões procedimentais e epistemológicas, em que o primeiro conjunto trata da discussão dos resultados em termos de habilidades de medição que os alunos construíram, e o segundo, da evolução da concepção dos estudantes a respeito do, e a relação dela com as suas concepções de Ciências. Identificamos artigos que abrangem as duas categorias do conhecimento do processo de medição, enquanto que alguns exploram a discussão de apenas um dos âmbitos. Compreendemos que dificilmente a discussão procedimental aparece desvinculada da discussão epistemológica, e vice-versa. Porém, com o objetivo de tornar a compreensão do texto mais clara ao leitor, escolhemos expor os resultados separados nesses dois eixos (procedimental e epistemológico), pontuando as discussões que aparecem explícitas nos artigos.

A respeito das discussões epistemológicas, se segue a tendência ditada pelos referenciais epistemológicos, em que a maioria dos trabalhos que apresentam teorias da área da epistemologia é realizada em torno dos conceitos de Paradigma Pontual e de Conjunto. Artigos como Buffler *et al.* (2001), Lubben *et al.* (2001) e Buffler *et al.* (2009) apresentam aportes teóricos que sustentam a teoria, como as categorias de compreensão conceitual da medição apresentada em Buffler *et al.* (2001). Nesse trabalho, por exemplo, conclui-se que a maioria dos estudantes entram na universidade com concepções consistentes com o Paradigma Pontual e que, mesmo após instrução de laboratório, a maioria dos estudantes não atinge completamente o Paradigma de Conjunto, demonstrando não internalizarem o caráter estatístico dos intervalos de medidas. Assim, os autores concluem que o curso oferecido pela Universidade não foi suficiente para providenciar os links necessários entre a natureza estatística da medição e as técnicas de processamento de dados. Em Lubben *et al.* (2001), porém, os autores concluem que a evolução da concepção dos estudantes em direção ao Paradigma de Conjunto depende do contexto do procedimento, e o Paradigma de Conjunto se mostrou mais facilmente adaptado no contexto de coleta e processamento de dados, deixando a desejar em questão de análise de dados.

O trabalho de Camargo Filho *et al.* (2015) adapta a discussão de Buffler *et al.* (2001), discutindo que existem cinco níveis de compreensão conceitual de medição, desde concepções alternativas à compreensão científica. Eles concluem que, mesmo que em um conjunto de aulas de laboratório todos os participantes tenham evoluído na direção do Paradigma de Conjunto, a maioria dos estudantes ainda mantiveram fragmentos de concepções alternativas em seus discursos. Tendo em vista a evolução existente, o autor aponta a importância da abordagem de temas como probabilidade e incerteza “*o mais cedo possível no processo de ensino dos fundamentos da Física, com destaque para a incerta e provisória, porém quantificável, natureza do conhecimento científico*” (Camargo Filho *et al.* 2015, p. 831). Laburú *et al.* (2010) e Silva e Laburú (2013) endossam os resultados positivos para a introdução do processo de medição no contexto brasileiro, em que as sequências didáticas aplicadas permitiram que a maioria dos estudantes em ambos os trabalhos

rompessem com o Paradigma Pontual e obtivessem fragmentos de compreensão a respeito do Paradigma de Conjunto.

Os demais artigos que apresentam resultados voltados à concepções de natureza da Ciência dos estudantes não relacionam os resultados com alguma concepção epistemológica determinada, apesar de realizarem essa discussão ao longo dos textos. Um consenso entre as publicações é a dificuldade que os estudantes apresentam ao relacionar os procedimentos do processo de medição com a natureza da medição e o seu papel no conhecimento científico. Estudos como o de Kapon (2016) e Kuhn (2016) mostram que compreensões epistemológicas não são construídas naturalmente; no contexto discutido por Kapon (2016), o *background* de educação em Física auxiliou no desenvolvimento de atitudes a respeito do processo de medição que podem ser consideradas científicas.

Apedoe e Ford (2010), Farris *et al.* (2019), Kapon (2016), Leblecioglu *et al.* (2017), Schauble *et al.* (1991) e Varelas (1996) buscam, por meio da análise de episódios didáticos, formas de proporcionar aos estudantes situações para que eles criem relações entre os procedimentos da ciência e seus aspectos epistemológicos. Kapon (2016) e Leblecioglu *et al.* (2017), especificamente, analisam casos em que os estudantes estão em contato com pesquisas científicas, o que se mostrou um campo produtivo, principalmente no caso em que as pesquisas estão unidas com discussões explícitas de aspectos de natureza da Ciência.

A discussão explícita de aspectos de natureza da Ciência pode ser uma forma eficiente de possibilitar que os estudantes construam concepções epistemológicas mais sofisticadas. Schauble *et al.* (1991), por exemplo, concluem que, para que os estudantes aprendam a pensar cientificamente, eles precisam ser expostos a momentos pedagógicos que demandem esses aspectos. Indo ao encontro disso, Duggan *et al.* (1996, p. 472, tradução nossa) discutem que

“é difícil ver como os pupilos podem desenvolver uma ideia clara de como os dados quantitativos podem ser usados como parte de uma base de evidências ou como podem ser interpretados e validados se ele ou ela não conseguem compreender que os dados são relacionados com a realidade”.

Nesse caso, os autores defendem que, além da necessidade de uma discussão explícita, os alunos precisam compreender o uso de dados quantitativos como uma forma de relação entre teoria e realidade.

O trabalho de Varelas (1996) mostra como a instrução do professor pode influenciar nas concepções de natureza da Ciência dos estudantes. Mesmo com o trabalho conjunto entre a professora e a pesquisadora para estudos e desenvolvimento das atividades, tanto a professora quanto os estudantes desenvolveram uma postura indutivista frente à unidade, de modo que os estudantes pouco relacionavam a teoria com a coleta e análise de dados. Assim, Varelas (1996) expõe a necessidade de repensar o ensino da relação teoria e realidade nos cursos de formação de professores. Manz *et al.* (2020) vai ao encontro pontuando que, para que os estudantes possam ter contato com atividades empíricas por meio da concepção de ciência-como-prática, é necessário mais suporte aos professores.

O trabalho de Buffler *et al.* (2009) apresenta resultados marcantes para a discussão a respeito da importância do ensino do processo de medição. Os autores buscam relacionar as visões de natureza da Ciência dos estudantes com as suas concepções sobre a natureza do processo de medição científica. A partir de um questionário que foi respondido por 179 estudantes de Física no seu primeiro ano de graduação, os autores concluem que existem relações estatisticamente significativas entre as concepções. Os resultados apontam que os estudantes classificados pelos autores como “modeladores” (compreendem o conhecimento científico como um processo de modelagem entre teoria e realidade) têm mais probabilidade de relacionar o processo de medição a uma visão probabilística (Paradigma de Conjunto), e que os alunos classificados como “descobridores” (creem que a natureza segue seus próprios padrões e que as leis da natureza devem ser descobertas por cientistas) têm maior probabilidade de ter uma visão da natureza da medição caracterizada pelo Paradigma Pontual. Os autores concluem, portanto, que *“a relação entre o conhecimento científico e a experimentação científica (que se baseia na medição científica) parece sustentar a visão de que um aluno terá sobre a natureza da Ciência”* (Buffler *et al.*, 2009, p. 1149, tradução nossa). Neste trabalho admitimos que a exposição explícita sobre natureza da Ciência e da medição científica auxiliam no desenvolvimento de concepções mais sofisticadas sobre o tema e podem ajudar no desenvolvimento da relação necessária entre as teorias científicas e os dados experimentais. Além disso, acreditamos que o enfoque na modelagem

científica pode auxiliar no desenvolvimento por parte dos estudantes de concepções coerentes com o que Buffler *et al.* (2009) caracterizam como “modeladores”.

Quando avaliamos as discussões procedimentais, é importante salientar que, como discutido na seção “Aspectos do Processo de Medição”, ações no processo de medição exigem diversas habilidades, tais como a inferência, coleta de dados, análise de dados e estimativa, e é o que entendemos aqui por aspectos procedimentais, um dos pilares do Ensino de Ciências.

Em se tratando do uso de ferramentas de medição, como réguas e trena, a maioria dos artigos identificou melhora nas habilidades dos participantes nos estudos realizados. Duggan *et al.* (1996), por exemplo, reconhecem esse padrão em estudos anteriores e o reforçam com os seus resultados com alunos de 11 a 14 anos. Destacamos que tal resultado foi alcançado tanto quando os estudantes enfrentaram situações em que a medição era o foco do trabalho, como em Gomes (2016) e Baker e Piburn (1991), como situações em que a medição era uma etapa do objetivo, como em Kapon (2016) e Sullivan (2008). O trabalho de Seré *et al.* (1993), porém, vai na direção contrária das demais publicações e aponta que, por mais que desenvolveram habilidades, os estudantes de Ensino Superior que participaram da pesquisa não dominaram todo o trabalho laboratorial após um curso que envolvia procedimentos experimentais. O objetivo central do trabalho, porém, não era o ensino do processo de medição, mas sim analisar as concepções e dificuldades dos estudantes a respeito do trabalho laboratorial. Além disso, a metodologia do curso era tradicional, assim como os roteiros de experimentos completamente fechados, fatores que podem ter influenciado nos resultados, tendo em vista que trabalhos (e. g. Hofstein & Luneta, 2003; Hodson, 1994) trazem reflexões nesse sentido e discutem que existem metodologias de ensino mais eficientes para proporcionar a aprendizagem significativa em contextos experimentais.

Os artigos que demonstram que os estudantes evoluem ou apresentam habilidades em procedimentos mecânicos do processo de medição, porém, concordam que os estudantes têm dificuldades em relacionar a medição com o papel que elas apresentam em uma investigação, além de comumente demonstrarem dificuldades na análise de dados. Gomes (2016) mostra que menos de 10% dos estudantes de Ensino Médio que tiveram um ano letivo com atividades com enfoque no processo de medição demonstraram, após o ano letivo, concepções adequadas sobre a importância e o papel da média na análise de dados experimentais.

Habilidades pontuais são discutidas nos trabalhos de Laború *et al.* (2009), Força *et al.* (2013), Toplis (2007), Munier *et al.* (2013) e Hug e McNeill (2008). Os dois primeiros discutem acurácia de medições realizadas por alunos e pontuam que, em atividades que os alunos foram informados do valor buscado nos experimentos, eles conseguiram coletar dados com maior acurácia, principalmente devido à realização de experimentos com maior cuidado na busca por obter o valor “correto”. Toplis (2007) traz uma discussão sobre a identificação e manipulação de dados anômalos em conjuntos de medidas e mostra que os estudantes em *4th grade* demonstraram habilidades de identificar dados anômalos tanto em tabelas quanto em gráficos.

Por outro lado, Hug e McNeill (2008) discutem habilidades apresentadas pelos alunos com o uso de dados de primeira (coletados por ele) ou segunda mão (coletados por outra pessoa). Os alunos de *7th* e *8th grade* tiveram contato com ambas as formas de dados e, com dados de primeira mão, identificaram melhor a fonte dos dados e desenvolveram habilidades de coleta de dados de forma mais profunda. Os dados de segunda mão facilitaram a manipulação dos dados pelos alunos, assim como aumentaram a frequência de realizações de inferências sobre padrões e tendências, porém as manipulações e as inferências se mostraram mais adequadas e completas nas aulas em que os estudantes coletaram os dados. As autoras também apontam que os estudantes tiveram dificuldades em explorar gráficos em ambas as situações e que esse é um problema recorrentemente discutido na literatura. Elas destacam que:

“Estudos indicaram que existem três fatores que podem levar à dificuldade dos alunos em compreender gráficos (revisado em Shah & Hoeffner, 2002). Esses fatores estão conectados à compreensão dos próprios alunos sobre gráficos, o tipo de gráfico que é usado (ou seja, o uso de gráfico de barra ou de linha) e o conhecimento dos alunos sobre o conteúdo que o gráfico está representando (McDermott, Rosenquist, & van Zee, 1987). Todos esses fatores podem influenciar o sucesso dos estudantes em interpretar corretamente dados representados em tabelas ou gráficos” (Hug & McNeill, 2008, p. 1730, tradução nossa).

Munier *et al.* (2013) trazem resultados importantes em se tratando de habilidades de análise de dados. Os autores realizaram um conjunto de atividades com foco exclusivo no processo de medição e concluem que os estudantes de 10 a 12 anos desenvolveram habilidades sobre a incerteza de medições e o uso de histogramas, sendo capazes de identificar a incerteza de uma medição e a sua importância assim como utilizar histogramas em uma faixa de valores. Além disso, os estudantes demonstraram compreender a necessidade de coletarem de dados em uma faixa de valores, realizando mais de uma medição em procedimentos de coleta de dados. Esse trabalho mostra que, apesar de os estudantes apresentarem dificuldades nesses quesitos, o uso de atividades e metodologias que envolvem a discussão explícita sobre a análise de dados e incertezas tem potencial para influenciar, de forma positiva, o desenvolvimento dessas habilidades. Além disso, o estudo ainda mostrou que, após um ano, os estudantes retornaram à concepção de medição única em uma coleta de dados, mostrando a necessidade de reforço contínuo a respeito do processo de medição nas aulas de Ciências.

CONCLUSÕES

A análise de 34 artigos de produção nacional e internacional dos últimos 30 anos mostrou que a pesquisa sobre medição no ensino de Ciências ainda é incipiente, principalmente no Brasil, que contabilizou a produção de apenas oito artigos. Nos artigos selecionados, identificamos mais produções com pesquisas empíricas, englobando 18 dos 34 artigos. Foram identificados também artigos com reflexões históricas, teóricas e que fazem análises de publicações da área, como revisões da literatura e análises de livros didáticos. Esses artigos, porém, constituem uma minoria entre os selecionados (uma reflexão histórica, uma análise de livros didáticos, duas reflexões teóricas e três revisões da literatura), demonstrando maior enfoque em pesquisas empíricas, que realizam ou não intervenções didáticas para atingir seus objetivos. Essa homogeneidade, porém, é vista apenas ao avaliarmos o perfil da produção acadêmica. No que diz respeito aos referenciais teóricos e metodológicos, aos processos estudados e aos resultados, identificamos estudos e reflexões heterogêneas, com pouca convergência quando os analisamos em conjunto, como podemos ver na Figura 2. Assim como constatado na revisão da literatura de Barolli *et al.* (2010), a área de ensino de Física ainda apresenta pouca preocupação com o ensino do processo de medição, e aqueles que o fazem acabam por focar na coleta e interpretação dos dados experimentais, sendo o processo de planejamento da medição o menos explorado. A Figura 2 sintetiza o perfil dos 34 artigos encontrados em termos das questões exploradas.

Indo ao encontro com os resultados de Barolli *et al.* (2010), ao avaliarmos os enfoques dos artigos sobre as diferentes nuances do processo de medição, pudemos separar os artigos em quatro categorias, englobando os que se debruçam sobre a “Coleta, Processamento e Análise de Dados”, sobre a “Natureza Estatística”, sobre a “Relação entre Dados, Realidade e Teoria” e sobre o “Controle de Variáveis”, além dos trabalhos sem foco específico. Os artigos se dividem entre as categorias sem prevalência significativa e podemos notar que, dentre as categorias, três delas se limitam ao trabalho experimental após a coleta de dados, não explorando o planejamento experimental e a sua importância nos resultados de uma medição. Os estudos sobre controle de variáveis possuem um foco mais restrito, enquanto os outros apresentam focos gerais, com artigos que tratam do processo de medição como uma sequência de etapas (coleta, processamento e análise de dados), que exploram o desenvolvimento de habilidades para o uso de ferramentas estatísticas e a compreensão da natureza estatística da medição, e que apresentam discussões voltadas à natureza da Ciência, relacionando o processo de medição com a realidade. Existem sobreposições entre as categorias identificadas, porém foram levadas em conta as discussões realizadas explicitamente pelos artigos. Além disso, a maioria dos trabalhos apresenta relações com concepções sobre a natureza da Ciência em algum nível, por mais que não realizem a discussão explicitamente.

Quando analisamos as perspectivas epistemológicas dos artigos, os resultados vão ao encontro do proposto no artigo de Laburú *et al.* (2009), concluindo que o autor mais influente na área é Thomas Kuhn, citado em 13 dos 34 artigos. Desses artigos, 11 associam a concepção de Kuhn aos trabalhos de Buffler e colaboradores, como Buffler *et al.* (2001), e discutem as concepções dos estudantes em termos de Paradigmas Pontual e de Conjunto. No trabalho de Laburú *et al.* (2009), pode-se notar que o trabalho de Buffler propõe uma teorização especificamente voltada ao processo de medição que permite a interpretação de resultados com um embasamento teórico bem construído, sendo os únicos artigos do grupo que encontramos que o fazem. Esse pode ser o motivo da tendência ao uso das teorias de Kuhn e de Buffler e seus colaboradores. Há convergências nos demais trabalhos que apresentam referencial epistemológico. Três trabalhos discutem a modelagem científica como viés epistemológico seguido, porém exploram aspectos e linhas divergentes. Aqui, nota-se que há um campo frutífero para discussões epistemológicas a respeito do

processo de medição, em que o desenvolvimento de pesquisas com outros referenciais teóricos pode trazer à discussão outros pontos de vista, além de fortalecer conclusões obtidas pelas investigações já existentes.

Essa necessidade de ampliação dos estudos também engloba o que tange às perspectivas teóricas e metodológicas utilizadas pelos artigos, já que as metodologias empregadas pelos autores não convergem, além de serem usualmente implícitas, sendo que, nos cinco artigos que a explicitaram, foram identificadas três metodologias diferentes. Quanto aos referenciais teóricos de aprendizagem, cinco artigos se posicionam como cognitivistas e três como socioculturalistas. Nesses, porém, não foram identificados padrões quanto ao objetivo dos artigos no emprego das teorias.

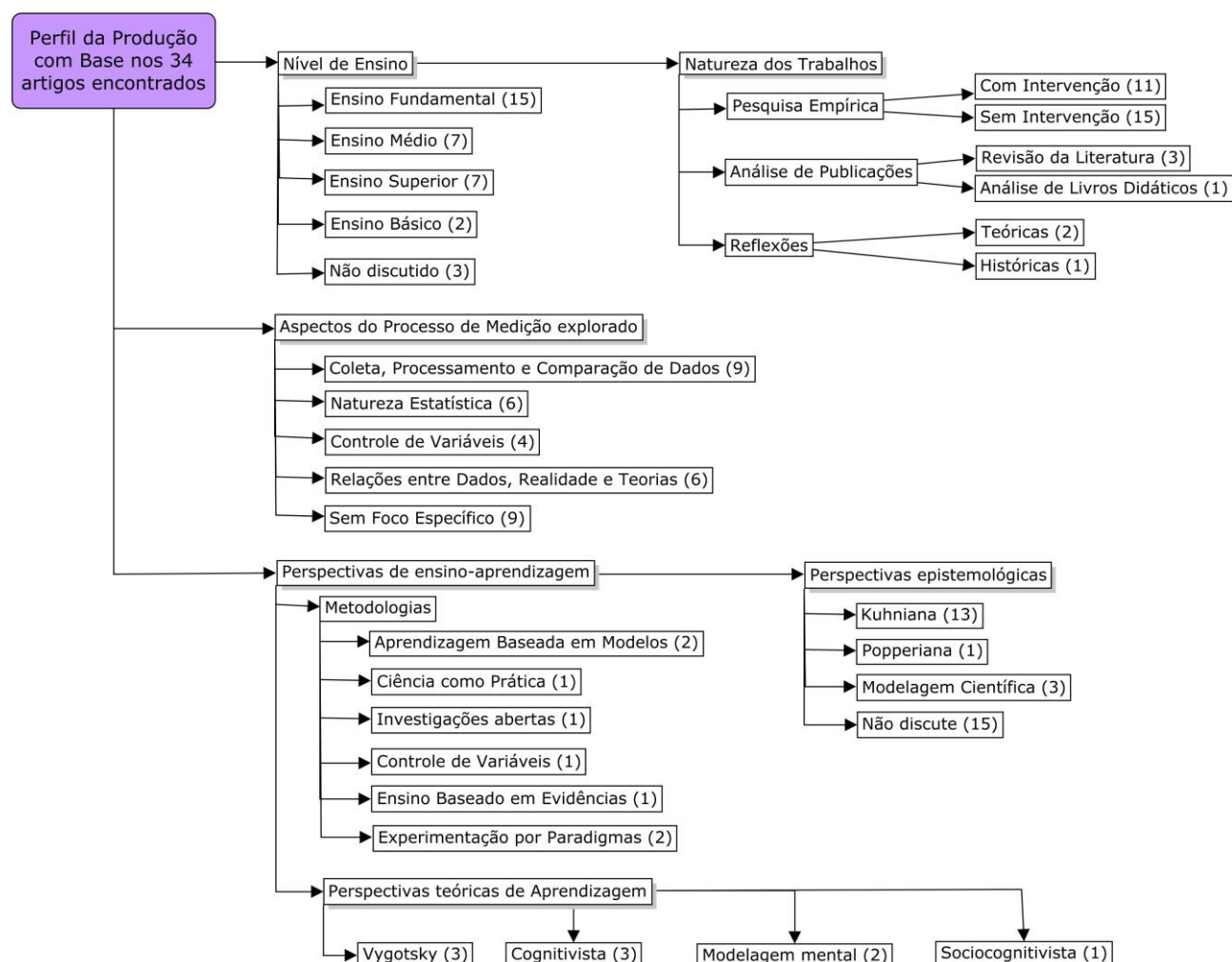


Figura 2 - Perfil da Produção Acadêmica sobre Processo de Medição no Ensino de Ciências

Quando avaliamos, portanto, os resultados dos artigos, notamos uma evolução lenta no processo de ensinar sobre medição. Trabalhos como o de Buffler *et al.* (2001) representaram um marco importante na área, já que desenvolvem uma teoria específica para o estudo do tema, além de formas de avaliação dos paradigmas assumidos pelos estudantes. Desde então, porém, a pesquisa em Ensino de Física teve grande evolução, principalmente no que diz respeito à variedade de concepções epistemológicas difundidas, o que não tem refletido nos estudos sobre medição. Além disso, resultados frutíferos, como o de Munier *et al.* (2013), e discussões, como de Manz *et al.* (2020), são capazes de trazer novas discussões à área do ensino do processo de medição. Dessa forma, constatamos que a abordagem do processo de medição na educação básica é de extrema importância, principalmente pelas habilidades que ele é capaz de promover, e a pesquisa nessa área, ainda que tenha apresentado uma tímida evolução, deve ser ampliada e difundida de modo que novas interpretações do processo e de seus resultados possam surgir.

Concluindo, os artigos selecionados demonstram que a área apresenta um perfil heterogêneo em diversos dos seus aspectos, exceto pelo formato das pesquisas, em que a maioria dos autores desenvolveram

pesquisas empíricas. Essa diversidade teórica estabelece uma falta de conexão entre os referenciais utilizados em diferentes trabalhos, até mesmo porque tais referenciais, na maioria dos casos, não são especificamente dirigidos a discussões sobre o processo de medição científica. Tal cenário dificulta a realização de comparações entre os resultados, limitando inclusive a identificação clara de lacunas na área. Além disso, os trabalhos que evocam elementos epistemológicos do processo de medição o fazem com grande foco em elementos estatísticos do processo, vide os significados dos paradigmas de Conjunto e Pontual evocados por Buffler *et al.* (2001). O foco em elementos estatísticos, apesar de extremamente relevante nesse contexto, acaba encobrindo as nuances do processo de medição, como o papel dos modelos científicos no delineamento de medições, que não costuma ser tratado nos estudos com suficiente precisão.

A ausência de discussões sobre especificidades epistemológicas do processo de medição na Educação Básica pode ser decorrente do uso de referenciais voltados a aspectos gerais da experimentação, que tratam do processo de medição de forma tangencial, de modo que detalhes desse processo são negligenciados. Questões como “por que quando medimos algo diversas vezes, os dados ficam dispersos?”, “como médias e desvios padrão sintetizam a flutuabilidade dos dados?”, “o que influencia na incerteza de um instrumento de medição?”, dentre outras, acabam diminuídas em detrimento da compreensão dos elementos estatísticos vinculados à medição. Assim, reforçamos a importância de ampliação da pesquisa na área, com o desenvolvimento de mais estudos que explorem diferentes aspectos do processo de medição com diferentes linhas de pesquisa.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado graças ao apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., & Lubben, F. (1998). First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *Internacional Journal of Science Education*, 20(4), 447–459. <https://doi.org/10.1080/0950069980200405>
- Apedoe, X., & Ford, M. (2010). The Empirical Attitude, Material Practice and Design Activities. *Science and Education*, 19, 165–186. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9185-7>
- Baker, D. R., & Piburn, M. (1991). Process Skills Acquisition, Cognitive Growth, and Attitude Change of Ninth Grade Students in a Scientific Literacy Course. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(5), 423–436. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280506>
- Barolli, E., Laburú, C. E., & Guridi, M. V. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 9(1), 88–110. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART6_VOL9_N1.pdf
- Buffler, A., Allie, S., & Lubben, F. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *Internacional Journal of Science Education*, 23(11), 1137–1156. <https://doi.org/10.1080/09500690110039567>
- Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The Relationship between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement. *Internacional Journal of Science Education*, 31(9), 1137–1156. <https://doi.org/10.1080/09500690802189807>
- Camargo Filho, P. S., Laburú, C. E., & Barros, M. A. (2015). Para além dos paradigmas da medição. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21(4), 817–834. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150040003>
- Duggan, S., Johnson, P., & Gott, R. (1996). A Critical Point in Investigative Work: Defining Variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 461–474. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199605](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199605)

- Farris, A. V., Dickes, A. C., & Sengupta, P. (2019). Learning to Interpret Measurement and Motion in Fourth Grade Computational Modeling. *Science and Education*, 28(8), 927–956. <http://doi.org/10.1007/s11191-019-00069-7>
- Ferguson, J. P., Tytler, R., & White, P. (2021). The role of aesthetics in the teaching and learning of data modelling. *International Journal of Science Education*, 44(5), 753-774. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1875514>
- Força, A. C., Laburú, C. E., & Silva, O. H. M. (2013). Uma Proposta de Estratégia Pedagógica Para Iniciação aos Conceitos de Medição por Avaliação de Dois Métodos Alternativos. *Alexandria: Revista de Educação Em Ciência e Tecnologia*, 6(3), 87–105. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/38011>
- Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. Chicago, United States of America: University of Chicago Press.
- Goodwin, C. (1994). Professional vision. *American Anthropologist*, 96(3), 606–633
- Gomes, A. D. T. (2016). Concepções de estudantes do Ensino Médio sobre os conceitos de média e dispersão de dados. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 51–71. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p51>
- Heinicke, S., & Heering, P. (2013). Discovering Randomness, Recovering Expertise: The Different Approaches to the Quality in Measurement of Coulomb and Gauss and of Today's Students. *Science and Education*, 22(3), 483–503. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9430-8>
- Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame, United States of America: University of Notre Dame Press. Recuperado de <http://mechanism.ucsd.edu/teaching/models/hesse.pdf>
- Hug, B., & Mcneill, K. L. M. (2008). Use of First-hand and Second-hand Data in Science: Does data type influence classroom conversations? *International Journal of Science Education*, 30(13), 1725–1751. <https://doi.org/10.1080/09500690701506945>
- Kapon, S. (2016). Doing Research in School : Physics Inquiry in the Zone of Proximal Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1172-1197. <https://doi.org/10.1002/tea.21325>
- Keller, E. F. (1984). *A feeling for the organism, 10th anniversary edition: the life and work of Barbara McClintock*. Macmillan.
- Kuhn, D. (2010). *What is Scientific Thinking and How Does it Develop?* Teachers College Columbia University. Recuperado de https://www.tc.columbia.edu/faculty/dk100/faculty-profile/files/10_whatisscientificthinkingandhowdoesitdevelop.pdf
- Kuhn, D. (2016). What Do Young Science Students Need to Learn About Variables? *Science Education*, 100(2), 392–403. <https://doi.org/10.1002/sce.21207>
- Kuhn, D., Arvidsson, T. S., Lesperance, R., & Corprew, R. (2017). Can Engaging in Science Practices Promote Deep Understanding of Them? *Science Education*, 101(2), 232–250. <https://doi.org/10.1002/sce.21263>
- Laburú, C. E., & Barros, M. A. (2009). Problemas com a compreensão de estudantes em medição: razões para a formação do paradigma pontual. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14(2), 151–162. Recuperado de <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/353>
- Laburú, C. E., Da Silva, O. H. M., & Força, A. C. (2012). Acurácia na retirada da medida instigada por uma estratégia de ensino de orientação kuhniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(2), 1–6. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172012000200014>

- Laburú, C. E., Silva, O. H. M., & Sales, D. R. (2010). Superações conceituais de estudantes do ensino médio em medição o a partir de questionamentos de uma situação experimental problemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(1), 1–15. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000100012>
- Leblebicioglu, G., Metin, D., Capkinoglu, E., Cetin, P. S., Dogan, E. E., & Schwartz, R. (2017). Changes in Students' Views about Nature of Scientific Inquiry at a Science Camp. *Science and Education*, 26, 889–917. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9941-z>
- Lehrer, R. (2009). Designing to develop disciplinary dispositions: Modeling natural systems. *American Psychologist*, 64(8), 759–771. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.64.8.759>
- Longino, H. (1994). *The fate of knowledge in social theories of science*. London, England: Rowman & Littlefield Publishers.
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471–492. <https://doi.org/10.1080/00131911.2011.628748>
- Lubben, F., Campbell, B., Buffler, A., & Allie, S. (2001). Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. *Science Education*, 85(4), 311–327. <https://doi.org/10.1002/sce.1012>
- Manz, E., Lehrer, R., & Schauble, L. (2020). Rethinking the classroom science investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(7), 1148–1174. <https://doi.org/10.1002/tea.21625>
- Mauro, F. M. Di, & Furman, M. (2016). Impact of an inquiry unit on grade 4 students' science learning. *International Journal of Science Education*, 38(14), 2239–2258. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1234085>
- MEC – Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Recuperada de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf
- Millar, R. (1987) Towards a Role for Experiment in the Science Teaching Laboratory. *Studies in Science Education*, 14(1), 109–118. <https://doi.org/10.1080/03057268708559941>
- Morris, B. J., Masnick, A. M., Baker, K., & Junglen, A. (2015). An Analysis of Data Activities and Instructional Supports in Middle School Science Textbooks. *International Journal of Science Education*, 37(16), 2708–2720. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1101655>
- Munier, V., Merle, H., & Brehelin, D. (2013). Teaching Scientific Measurement and Uncertainty in Elementary School. *International Journal of Science Education*, 35(16), 2752–2783. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.640360>
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. Cambridge, United States of America: The MIT Press.
- National Research Council (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, United States of America: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Ochs, E., Gonzales, P., & Jacoby, S. (1996). “When I come down I'm in the domain state”: grammar and graphic representation in the interpretive activity of physicists. *Studies in Interactional Sociolinguistics*, 13, 328–369
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>

- Pigosso, L. T., & Heidemann, L. A. (2021). O processo de medição no Ensino de Física : uma revisão da literatura brasileira. *Anais do XIII Encontro Nacional de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 1–7. Recuperado de <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/75993>
- Pols, C. F. J., Dekkers, P. J. J. M., & de Vries, M. J. (2021). What do they know? Investigating students' ability to analyse experimental data in secondary physics education. *International Journal of Science Education*, 43(2), 274–297. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1865588>
- Rosa, C. W., Rosa, Á. B., & Pecatti, C. (2007). Atividades experimentais nas séries iniciais: relato de uma investigação. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 263–274. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen6/ART3_Vol6_N2.pdf
- Sandoval, W. A., & Çan, A. (2011). Elementary Children's Judgments of the Epistemic Status of Sources of Justification. *Science Education*, 95(3), 383–408. <https://doi.org/10.1002/sce.20426>
- Schauble, L., Klopfer, L. E., & Raghavan, K. (1991). Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 859–882. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280910>
- Schwarz, C. V., Passmore, C., & Reiser, B. J. (2017). Helping students make sense of the world using next generation science and engineering practices. Arlington, United States of America: NSTA Press
- Séré, M.-G., Journeaux, R., & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427–438. <https://doi.org/10.1080/0950069930150406>
- Silva, O. H. M., & Laború, C. E. (2013). Um encaminhamento didático fundamentado na formulação de perguntas como auxílio ao processo educacional de medição. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(3), 195–213. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4277>
- Sullivan, F. R. (2008). Robotics and Science Literacy : Thinking Skills , Science Process Skills and Systems Understanding. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 373–394. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20238>
- Toplis, R. (2007). Evaluating Science Investigations at Ages 14 – 16: Dealing with anomalous. *International Journal of Science Education*, 29(2), 127–150. <https://doi.org/10.1080/09500690500498278>
- Varelas, M. (1996). Between Theory and Data in a Seventh-Grade Science Class. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(3), 229–263. Recuperado de https://www.academia.edu/17046190/Between_theory_and_data_in_a_Seventh_grade_science_class
- Zachos, P., Hick, T. L., Doane, W. E. J., & Sargent, C. (2000). Setting Theoretical and Empirical Foundations for Assessing Scientific Inquiry and Discovery in Educational Programs. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 938–962. Recuperado de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000JRScT..37..938Z/abstract>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>

Recebido em: 08.02.2023

Aceito em: 04.07.2023