

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA

UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS COM
ENFOQUE NO PROCESSO DE MEDIÇÃO NO ENSINO FUNDAMENTAL

Letícia Tasca Pigosso

Dissertação realizada sob a orientação do Prof. Dr. Leonardo Albuquerque Heidemann, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2022

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho se deu em um contexto especificamente difícil: a sua totalidade foi realizada em regime remoto, de modo que houve momentos em que estive fisicamente mais sozinha do que nunca. Porém, tive pessoas que nunca deixaram que eu me sentisse emocionalmente sozinha. Agradeço especialmente:

Ao meu orientador, Leonardo Heidemann, que acreditou em mim e no meu trabalho mesmo com os percalços que passamos e me orientou de forma profissional e apaixonada. A ele eu tenho imensa gratidão e admiração.

Aos meus pais, Nilva e Osmar, que foram um apoio físico e emocional durante esse período, principalmente à minha mãe, que sempre esteve disposta a me ouvir e nunca mediu esforços pra me ajudar no que fosse necessário. Sou a pessoa que sou hoje graças ao carinho e esforço com que fui criada.

Ao meu namorado, Cleimar, que foi um apoio em todas as crises e dúvidas, muitas vezes me protegendo de mim mesma. Estaremos juntos nas dificuldades e nas conquistas.

Às minhas colegas de mestrado e de vida, Gabriela e Priscila, que, mesmo com a distância física, estiveram ao meu lado e formaram uma rede de apoio fundamental na conclusão desse trabalho. A amizade de vocês me inspira e tenho certeza que é graças a ela que chegamos tão longe.

A todos os professores que fizeram parte da minha jornada, especialmente os professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS, que sempre fizeram o seu trabalho linda e arduamente, motivando a todos ao seu redor.

À comunidade escolar do meu Colégio de origem, que acolheu a mim e a minha pesquisa de braços abertos, mesmo em um momento tão complicado, principalmente à professora regente das turmas em que lecionei e meus antigos professores que me fizeram me sentir bem-vinda novamente.

Muito obrigada!

Por fim, sou grata a tudo que vivi até aqui e aos momentos que esse caminho me possibilitará viver no futuro, e especialmente grata a minha persistência que me permitiu concluir esse trabalho.

RESUMO

O processo de medição é apontado por pesquisadores e documentos oficiais como um dos temas mais importantes ao ensino de Ciências. O enfoque nesse processo em anos iniciais da escolarização, por exemplo, pode favorecer o amadurecimento das concepções dos estudantes sobre a natureza e a construção do conhecimento científico, assim como na construção de habilidades de coleta e análise de dados experimentais. Indo ao encontro dessa perspectiva, é relatada nesta dissertação uma investigação sobre o ensino de Física com enfoque no processo de medição científica no Ensino Fundamental. Pautada na versão expandida da Modelagem Didático-Científica (MDC+), de Heidemann, Araujo e Veit, a pesquisa foi fundamentada na noção de que a modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física, e de que o conceito de medição científica pertence a esse campo. As seguintes questões de pesquisa foram respondidas: *i)* Como atividades fundamentadas na Modelagem Didático-Científica contribuíram para que os estudantes de Ensino Fundamental ampliassem seus domínios do campo conceitual da modelagem, especificamente evoluindo em seus conhecimentos relacionados com o conceito de medição científica? *ii)* Como situações do campo conceitual da MDC+ particularmente relacionadas com o conceito de medição científica contribuíram para que os estudantes evoluíssem em suas concepções epistemológicas? Foram delineadas e implementadas quatro atividades (nove horas-aula) que enfocam a medição de diferentes grandezas, explorando diversos conceitos da modelagem científica, mas especialmente o conceito de medição. Apesar de não ter sido oportunizado aos estudantes a coleta de dados, em função das restrições impostas pela pandemia de COVID-19, todas as atividades envolveram problemas instigantes que demandam análises de conjuntos de dados experimentais. Foi realizado um estudo de caso de natureza exploratória, na acepção de Yin, cuja unidade de análise foi uma turma de sétimo ano de uma escola particular de Caxias do Sul (RS). Como fontes de evidência, utilizamos gravações das aulas lecionadas, diário de bordo da pesquisadora, respostas dos estudantes a quatro tarefas realizadas em horário extraclasse, e gravações de entrevistas semiestruturadas. Pudemos concluir que: *i)* os estudantes alcançaram avanços moderados em seus domínios do campo conceitual da modelagem, principalmente a partir da vinculação do processo de medição o conceito de média, mas demonstraram dificuldades para compreender o sentido e o significado das incertezas de medições; *ii)* as situações abordadas pelos estudantes contribuíram para que eles amadurecessem em suas concepções epistemológicas, particularmente em suas noções sobre a natureza e construção do conhecimento científico.

Palavras-chave: medição científica; modelagem científica; ensino fundamental; Física experimental.

ABSTRACT

The measurement process is pointed out as one of the most important themes for Science education by research and official documents. The focus on the process of scientific measurement in basic education, for example, can favor the maturation of students' conceptions about the nature and construction of scientific knowledge, in addition to building the analysis skills and the nature of experimental data. In line with this perspective, an investigation is reported on the teaching of physics with a focus on the process of scientific measurement in elementary school. Grounded on the expanded version of Didactic-Scientific Modeling (CDM+), by Heidemann, Araujo and Veit, the research was based on the notion that scientific modeling constitutes a conceptual field underlying the conceptual fields of Physics, and that the concept of scientific measurement belongs to that field. The following research questions were answered: *i)* How activities based on Didactic-Scientific Modeling can help elementary school students expand their domains in the conceptual field of modeling, specifically their knowledge related to the concept of scientific measurement? *ii)* How do the situations in the conceptual field of CDM+ particularly related to the concept of scientific measurement contribute to their epistemological conceptions? To conduct the investigation, a didactic sequence was designed with four activities that focus on the measurement of different magnitudes, exploring concepts of scientific modeling, but especially the concept of scientific measurement. Although the students were given the opportunity to collect data, depending on the circumstances of experimental data, all activities were interfered by COVID-19 provoked problems that prohibit the collection of experimental datasets. A case study of an exploratory nature was carried out, in the sense of Yin, whose unit of analysis was a seventh grade class from a private school in Caxias do Sul, Brazil. As research instruments, we used the record of the classes, the researcher logbook carried out daily, students answers for four extraclass activities and the record from semi-structured interviews. In conclusion, we point out that: *i)* students achieved moderate advances in their domains of the conceptual field of modeling, mainly from the linking of the measurement process with statistical procedures related to the concept of averaging, but they demonstrated difficulties in understanding the meaning and significance of measurement uncertainties; *ii)* the situations addressed by the students contributed for them to mature in epistemological conceptions, particularly notions about the nature and construction of scientific knowledge.

Keywords: scientific measurement; scientific modeling; elementary School; experimental Physics.

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Revisão da Literatura.....	13
2.1.1. Primeira etapa: seleção de revistas.....	13
2.1.2. Segunda etapa: análise de títulos e resumos.....	14
2. 2. Resultados.....	17
2.2.1. <i>Perfil da produção acadêmica</i>	17
2.2.1.1. Pesquisa Empírica.....	18
2.2.1.2. Análise de Publicações.....	19
2.2.1.3. Reflexões.....	19
2.2.2. Motivações para as pesquisas.....	20
2.2.3. Aspectos do processo de medição explorados.....	22
2.2.4. Perspectivas epistemológicas e teóricas empregadas.....	24
2.2.4.1. Perspectivas epistemológicas.....	25
2.2.4.2. Perspectivas de ensino-aprendizagem.....	28
2.2.5. Principais resultados das investigações.....	31
2.2.5.1. Discussões epistemológicas.....	32
2.2.5.2. Discussões procedimentais.....	34
2.3. Conclusões.....	36
3. Referencial Teórico.....	42
3.1. A Modelagem Didático-Científica e o processo de medição científica.....	42
3.2. Aspectos da medição que foram explorados em aula.....	54
4. Metodologias de Ensino e de Pesquisa.....	56
4.1. Estrutura das atividades: proporcionando situações sobre medição científica a partir da perspectiva da modelagem científica.....	56
4.2. Sequência de atividades.....	61
4.3. Metodologia de Pesquisa.....	64
5. Resultados.....	71
5.1. Observações do contexto de investigação.....	71
5. 2. Domínio dos estudantes sobre o conceito de média em uma medição científica.....	74
5.3. Domínio dos estudantes sobre o conceito de Incerteza em medições científicas.....	79
5.4. Concepções dos estudantes a respeito da Construção do Conhecimento Científico.....	85
5.5. Concepções dos estudantes sobre Natureza do Conhecimento Científico.....	93

6. Conclusões.....	100
Referências.....	105
Apêndice A - Planejamento de Aula da Atividade “Que Animal é Esse?”.....	111
Apêndice B – Tarefas de Aula.....	121
Apêndice C – Planejamento de Aula da Atividade “Quem é mais rápido no gatilho?”.....	128
Apêndice C – Planejamento de Aula da Atividade “Medicando seu pet”.....	135
Apêndice E – Planejamento de Aula da Atividade “Faltou bebida no bar!”.....	140
Apêndice F – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	147
Apêndice G – Termos de Assentimento Livre e Esclarecido.....	148
Apêndice H – Entrevistas.....	149

1. Introdução

O segundo turno das eleições de 2020 para a prefeitura de Porto Alegre gerou uma disputa acirrada entre candidatos; a última pesquisa¹ de intenção de votos antes da eleição previa que uma candidata obteria 51% dos votos válidos, sendo eleita prefeita de Porto Alegre. Com a apuração dos votos das urnas², porém, a candidata recebeu 45,37% dos votos, perdendo a eleição. Tal resultado deflagrou comentários em redes sociais, por exemplo, demonstrando descrédito e descontentamento com as pesquisas prévias e levantando, mais uma vez, desconfianças sobre os interesses e/ou métodos dos institutos de pesquisa, gerando debates sobre o tema também nos grandes grupos de mídia³. Ainda que tais pesquisas possam ser manipuladas, a forma como significativa parcela da população reagiu à diferença entre as previsões e os votos computados evidencia a dificuldade dessas pessoas de compreenderem um processo de medição, entendendo como os dados e as implicações das margens de erro dos resultados podem ser interpretados. Essa dificuldade fica clara também quando pesquisas mostram diferenças de intenção de voto de 1% entre candidatos e, a despeito das margens de erro maiores do que essa diferença, eleitores assumem que um dos concorrentes está à frente do outro.

Medições de intenção de voto, assim como qualquer medição sobre um evento real, refletem um estado particular de um evento, limitado no espaço e no tempo, e sempre são acompanhadas de uma incerteza. A pesquisa publicada no dia anterior à eleição, por exemplo, deve refletir as intenções de voto no momento em que as entrevistas foram realizadas, sendo possível que, entre a coleta dos dados e a votação, eventos tenham interferido na decisão das pessoas. Além disso, no caso da pesquisa eleitoral tratada aqui, divulgou-se uma margem de erro de três pontos percentuais. Ainda que a previsão de votos válidos não tenha se confirmado, o instituto identificou que 45% dos entrevistados apresentavam intenção de voto na candidata derrotada, o que significa que as intenções de voto nessa candidata estariam dentro do intervalo entre 42% e 48% dos votos totais, o que de fato aconteceu na eleição.

É claro que o descontentamento da população com as pesquisas eleitorais é resultado de uma complexa rede de fatores que envolve, entre outras coisas, aspectos emocionais e cognitivos. No entanto, as reações de parte da população evidenciam também que as dificuldades de interpretação

1 Pesquisa do Ibope disponível em <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/eleicoes/2020/noticia/2020/11/28/pesquisa-ibope-para-2o-turno-em-porto-alegre-votos-validos-manuela-51percent-melo-49percent.ghtml>> Acesso em 01/04/2022.

2 Resultado disponível em <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/eleicoes/2020/resultado-das-apuracoes/porto-alegre.ghtml>> Acesso em 01/04/2022.

3 Reportagem disponível em <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/politica/eleicoes/noticia/2020/11/diferenca-entre-resultados-de-pesquisa-e-de-eleicao-nao-implica-fraude-como-apontou-ex-deputado-ao-mencionar-porto-alegre-ckhw104ig0020014n5db4ppbm.html>> Acesso em 01/04/2022.

de medições empíricas são, neste e em outros tantos contextos da sociedade, um elemento importante para o posicionamento das pessoas. Por trás da simplicidade aparente dos dados de uma pesquisa eleitoral existem procedimentos complexos relacionados com medições que envolvem conhecimentos distantes de significativa parcela da população. As implicações desse desconhecimento refletem também nas dificuldades dessas pessoas para interpretar dados um pouco mais complexos, como os resultados dos testes de vacina para a COVID-19, também divulgados em 2020. Evidencia-se em casos como esses a importância da compreensão dos processos de medição para que a população se posicione em questões com grande influência nas suas vidas, e por isso tais procedimentos precisam ser explorados e debatidos na Educação Básica, como é preconizado na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018). Frente a isso, o presente trabalho busca explorar o ensino de Física com enfoque no processo de medição, especificamente o ensino desse processo nas séries finais do Ensino Fundamental.

Em virtude da sua importância tanto para a interpretação de dados cotidianos como de questões científicas, o processo de medição tem assumido uma posição de destaque na área de pesquisa em Ensino de Ciências. Autores (e. g. Leblebicioglu, Metin, Capkinoglu, Cetin, Dogan & Schwartz, 2017; Munier, Merle & Brehelin, 2013; Toplis, 2007; Varelas, 1996) mostram que os estudantes, em diversos níveis de ensino, apresentam dificuldades em compreender a natureza das medições e os resultados delas. Além disso, os alunos demonstram ser capazes de realizar as operações matemáticas envolvidas nas análises de dados das medições, porém não são capazes de interpretá-las de forma adequada (Duggan, Johnson & Gott, 1996).

Percebendo essas dificuldades, autores têm enfatizado a discussão sobre o processo de medição. Buffler, Allie & Lubben (2001), por exemplo, em uma pesquisa com alunos do Ensino Superior, alegam que os estudantes apresentam dificuldades em compreender o âmbito estatístico do processo de medição. Os autores concluem que nenhum dos grupos de estudantes apresentaram concepções plenamente adequadas sobre o processo de medição. Buffler e seus colaboradores apresentam uma forma de avaliar as concepções dos estudantes baseada nas ideias de Thomas Kuhn. Para isso, propõem a existência de dois paradigmas: um denominado de Paradigma Pontual, sintetizado na crença ingênua de que existe um valor verdadeiro para qualquer tipo de medição e de que tal valor pode ser alcançado em uma 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.

Autores brasileiros (Camargo Filho & Barros, 2015; Gomes, 2015; Laburú, Silva & Sales, 2010; Laburú & Barros, 2009) também buscam compreender concepções de natureza da Ciência

dos estudantes. A pesquisa sobre o processo de medição nesse contexto têm demonstrado avanços nas concepções de estudantes de nível Médio e Superior, tanto em habilidades que dizem respeito ao processo de medição, como discutido em Gomes (2015), quanto em concepções epistemológicas sobre esse processo, como visto em Laburú *et al.* (2010).

Camargo Filho *et al.* (2015), por exemplo, realizam uma adaptação do trabalho de Buffler *et al.* (2001) propondo cinco níveis de compreensão dentro dos paradigmas do processo de medição. Tendo isso em conta, os autores concluem que os estudantes apresentam trajetórias características e não atingem o Paradigma de Conjunto, porém evoluem em direção a ele. Concluindo que existe uma evolução significativa dos estudantes quando defrontados com atividades que demandam o processo de medição científica, os autores defendem a inserção 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).

Ainda que não tenhamos identificado estudos sobre o processo de medição no Ensino Fundamental no contexto brasileiro, estudos estrangeiros têm se debruçado sobre a aprendizagem de crianças sobre a medição científica (e. g. Munier *et al.*, 2013; Leblecioglu *et al.*, 2017 e Sullivan, 2008). Constatamos que esses estudos não costumam explicitar a corrente epistemológica na qual se apoiam (mais detalhes podem ser vistos no Capítulo 2 dessa dissertação). Além disso, entre os trabalhos que explicitam suas perspectivas epistemológicas, identificamos a predominância das ideias de Thomas Kuhn, com pouca diversidade na área em termos dos fundamentos epistemológicos que sustentam a exploração do processo de medição no ensino de Ciências. Elementos importantes desse processo, como o papel dos modelos científicos no delineamento e na condução de medições e na construção de relações entre teorias e realidade, são pouco ou nada explorados nos trabalhos da área, que dão maior enfoque ao caráter estatístico das medições.

Frente ao exposto, a exploração de mais referenciais que discutam com profundidade o conceito de medição científica, trazendo diversidade aos estudos, são necessários na área. Devido ao enfoque dado ao processo de medição na modelagem científica, a expansão da Modelagem Didático-Científica proposta por Heidemann, Araujo e Veit (2016) se mostra uma candidata para pluralizar esse campo de pesquisa, como argumentamos no que segue.

O enfoque no processo de modelagem científica tem sido apontado como uma forma promissora para a promoção de um encadeamento entre teoria e prática (Greca & Moreira, 2002; Heidemann, Araujo & Veit, 2018; Justi, 2015; Louca & Zacharia, 2012). No contexto da experimentação científica, a conceitualização do real, realizada a partir da construção de modelos científicos, guia os processos de medição, dirigindo o delineamento dos instrumentos de medição,

determinando as relações entre grandezas investigadas, indicando os parâmetros e variáveis que devem ser controladas, e, a partir da análise das aproximações e idealizações consideradas, possibilitando a estimação e compreensão das incertezas envolvidas.

Por exemplo, em um experimento didático que visa a compreensão do conceito de período em um pêndulo, o próprio conceito de período é sustentado dentro de uma rede de modelos científicos, tendo sentido em uma série de situações exploradas a partir dessa rede. A medição dessa grandeza pode ser realizada pela medição direta do tempo de oscilação de um pêndulo real. No entanto, o período de um pêndulo real pode ser, dependendo das condições, predito, utilizando-se o modelo de pêndulo simples, a partir da medição do comprimento do fio do pêndulo real. Destaca-se que, nessa situação, dirigidos pelo modelo de pêndulo simples, consideramos desnecessária a medição da massa do corpo suspenso, contanto que o fio de sustentação possua massa muito menor do que o corpo que ele sustenta. Também dirigidos pelo modelo de pêndulo simples, assumimos que a amplitude de oscilação do pêndulo precisa ser controlada, de tal forma que possamos considerar que ela é suficientemente pequena para que o evento seja adequadamente representado pelo modelo de referência.

Em suma, a partir da análise do modelo teórico que dirige a medição e/ou experimentação, são delineadas ações de controle de variáveis, coleta de dados, delineamento de investigações, entre outras ações. Discussões sobre esses nuances do processo de medição podem oportunizar momentos em que os estudantes debatam sobre eventos físicos mobilizando discursos científicos. Dessa forma, a partir desses debates, o ensino focado nos aspectos da modelagem científica pode enriquecer a compreensão dos estudantes sobre o processo de medição, além de estimular que os alunos apreendam as relações entre as medições e os modelos científicos.

Uma construção teórica que foca nesses aspectos é a expansão da Modelagem Didático Científica (MDC+) proposta por Heidemann *et al.* (2016). Trata-se de uma ampliação da Modelagem Didático Científica proposta por Brandão, Araujo e Veit (2012), que é uma costura teórica entre as orientações epistemológicas de Mario Bunge (1974, 2010) e a teoria de aprendizagem de Gerard Vergnaud (2009, 2013). Seus autores mostram que a modelagem científica pode ser entendida como um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física, caracterizando os invariantes operatórios de referência que são mobilizados pelos alunos quando lidam com situações que dão sentido a conceitos de modelagem científica. Heidemann *et al.* (2018), na MDC+, englobam aspectos do fazer experimental ao campo conceitual da modelagem científica. Nessa construção, a medição se conecta com os outros conceitos do campo conceitual da modelagem científica, de modo que a MDC+ pode ser vista como um referencial teórico frutífero para a investigação a respeito do significado e sentido que os alunos dão ao processo de medição.

Utilizando a MDC+ como referencial teórico, conduzimos, nesta dissertação, um estudo de caso pautado pela implementação de quatro atividades focadas no processo de medição conduzidas em uma turma de sétimo ano do Ensino Fundamental de uma escola particular. As questões de pesquisa do estudo são:

1. *Como atividades fundamentadas na Modelagem Didático-Científica contribuíram para que os estudantes de Ensino Fundamental ampliassem seus domínios do campo conceitual da modelagem, especificamente evoluindo em seus conhecimentos relacionados com o conceito de medição científica?*
2. *Como situações do campo conceitual da MDC+ particularmente relacionadas com o conceito de medição científica contribuíram para que os estudantes evoluíssem em suas concepções epistemológicas?*

Para responder às questões de pesquisa, desenvolvemos uma sequência didática composta por quatro atividades delineadas à luz da MDC+. Nela, foi dado enfoque a medições de quatro grandezas físicas, fomentando debates tanto sobre análises de dados como sobre natureza e construção do conhecimento científico. Em função da pandemia de COVID-19, as atividades foram implementadas no regime de ensino híbrido, e consistem em sequências de discussões e ações despertadas a partir de um problema inicial. Pautados pelas ideias de Yin (2005, 2011), realizamos um estudo de caso exploratório de caso único.

Nos próximos capítulos, apresentamos uma revisão da literatura sobre o processo de medição (Capítulo 2), expomos o referencial teórico utilizado (Capítulo 3), a MDC+, explicamos as metodologias de ensino e de pesquisa utilizadas (Capítulo 4), e apresentamos os resultados obtidos no estudo de caso realizado (Capítulo 5). Por fim, finalizamos a dissertação com as conclusões da investigação (Capítulo 6), sintetizando as respostas às questões de pesquisa.

2. Revisão da Literatura

Devido à importância da abordagem do processo de medição nas salas de aula e a necessidade de compreensão do ensino desse tema, estudos que elucidem os resultados da literatura relacionados com iniciativas voltadas ao assunto são fundamentais para a área de Ensino de Física. Inserida nesse contexto, a revisão relatada neste capítulo 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?*
- *Quais são as motivações desses artigos para justificarem pesquisas sobre o processo de medição?*
- *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?*

2.1. 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.

2.1.1. Primeira etapa: seleção de revistas

Realizamos uma seleção de revistas que possuem grande penetração na área de Ensino de Física e de Ciências, englobando 16 periódicos de língua portuguesa, inglesa e espanhola listados no Quadro 1. 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 as palavras-chave “*measurement*”, “*secondary school*” OR “*middle school*” OR “*elementary school*”, “*laboratory*” OR “*experimental*” OR “*empirical*”. Nas revistas de língua portuguesa e espanhola, empregamos como descritor apenas “*medida*” OR “*medição*” e “*medida*” OR “*medición*”, respectivamente. Com esses procedimentos, selecionamos 1875 artigos.

2.1.2. Segunda etapa: análise de títulos e resumos

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

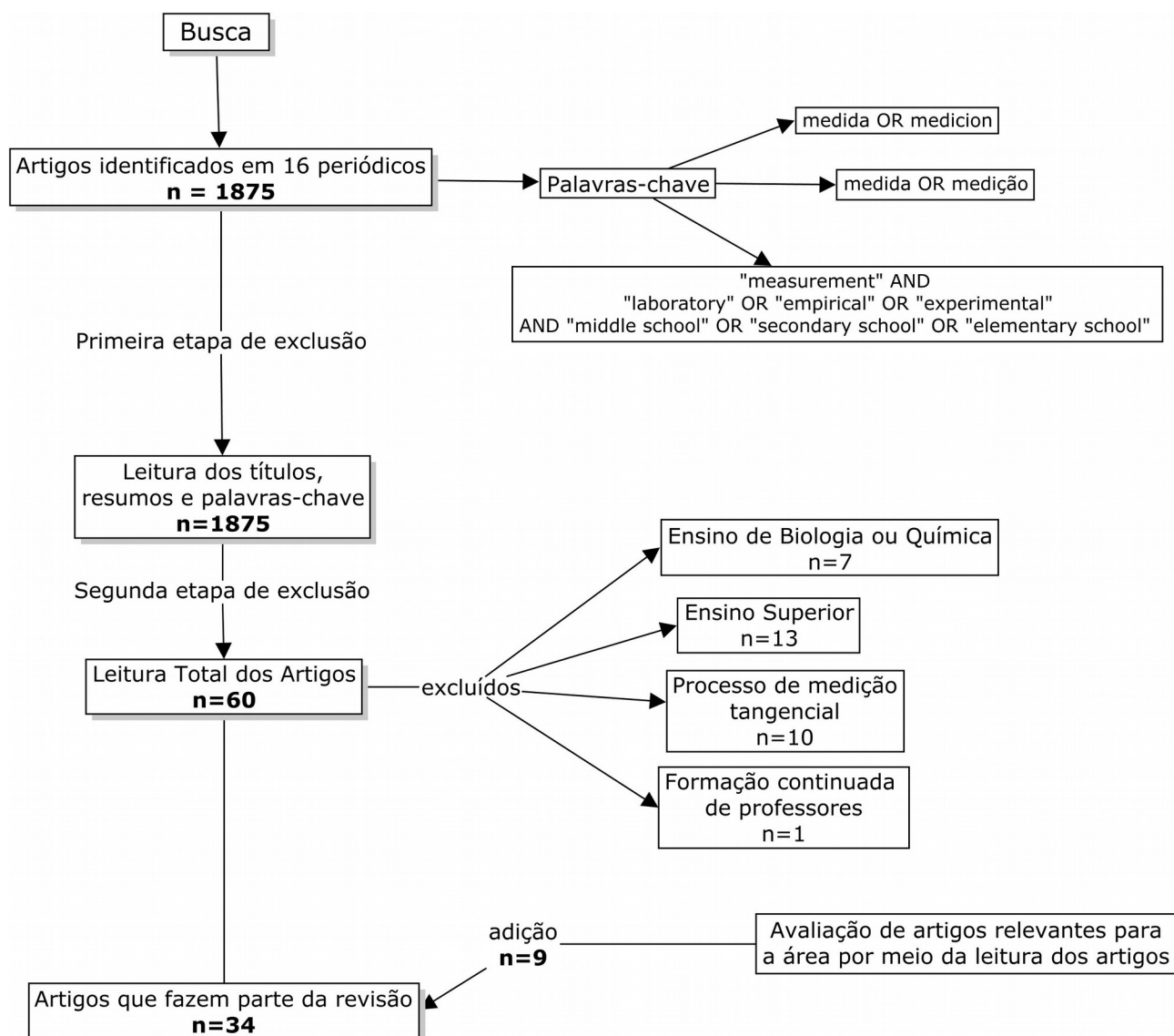
- a) tratavam especificamente de Ensino de Química ou Ensino de Biologia, ou que não fossem voltados ao ensino (e.g., Hug e McNeill, 2008);
- b) discutem o processo de medição de forma circunstancial, sem foco especificamente no ensino do processo de medição (e.g., Silva Junior, Ramos & Gama, 2016);
- c) não estivessem focados na Educação Básica (e.g., Lin, 2007).

Selecionamos então 25 artigos, sendo 5 deles de língua portuguesa, 1 de língua espanhola, e 19 de língua inglesa. Após a leitura de todos os artigos, identificamos algumas publicações de grande impacto na área que não foram selecionados nas primeiras etapas. Em função disso, ampliamos a revisão agregando ao seu corpus esses artigos, quais sejam: Allie, Buffler, Campell & Lubben, (1998), Buffler *et al.* (2001), Buffler Lubben & Ibrahim (2009b), Camargo Filho *et al.* (2015), Heinicke & Heering (2013), Hug & Mcneil (2008), Lubben *et al.* (2001), Séré, Journeaux & Larcher (1993) e Silva & 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.

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

Revista	Qualis	Artigos
Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	B1	(Força et al., 2013)
American Journal of Physics	A1	Sem artigos selecionados
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	B1	(Gomes, 2016)
Ciência e Educação	A1	(Camargo Filho et al., 2015)
Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências	A2	Sem artigos selecionados
Enseñanza de las Ciencias	A1	Sem artigos selecionados
International Journal of Science Education	A1	(Allie et al., 1998; Buffler et al., 2009b; Buffler, Allie, & Lubben, 2001; Ferguson et al., 2021; Morris et al., 2015; Munier et al., 2013; Pols et al., 2021; Séré et al., 1993; Toplis, 2007)
Investigações em Ensino de Ciências	A2	(Laburú & Barros, 2009)
Journal of Research in Science Teaching (JRST)	A1	(Baker & Piburn, 1991; Duggan et al., 1996; Kapon, 2016; Manz et al., 2020; Schauble et al., 1991; Sullivan, 2008; Varelas, 1996)
Physical Review Special Topics - Physics Education Research	Sem Qualis	Sem artigos selecionados
Revista Brasileira de Ensino de Física	A1	(Laburú et al., 2010, 2012)
Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências	A2	(Silva & Laburú, 2013)
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	A2	(Barolli et al., 2010; Rosa et al., 2007)
Revista Electrónica de Investigación de Educación em Ciências	A2	Sem artigos selecionados
Science Education	A1	(Heinicke & Heering, 2013; Kuhn, 2016; Lubben et al., 2001a; Sandoval & Çan, 2010)
Science & Education	A1	(Apedoe & Ford, 2010; Farris et al., 2019; Leblebicioglu et al., 2017; Zachos et al., 2000)

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

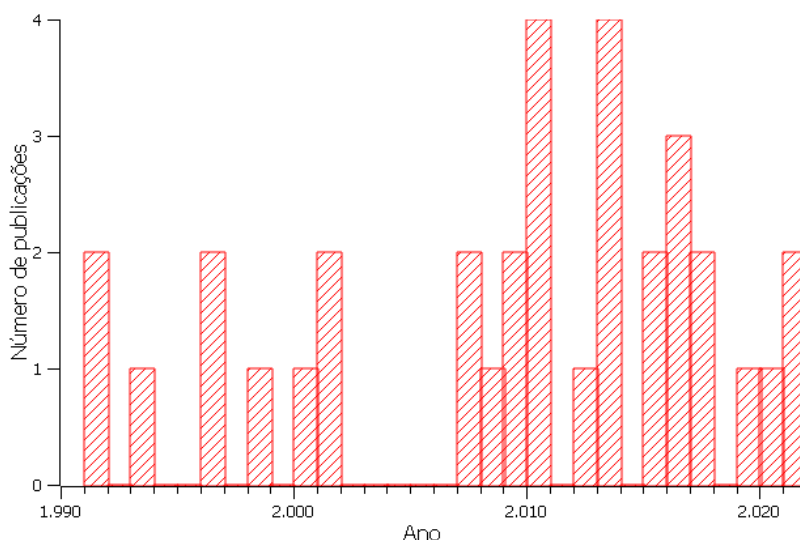


O disposto na Figura 2 apresenta uma relação do número de artigos encontrados por ano, de 1990 a 2022. Pode-se identificar um número considerável de artigos nos anos 90, o que possivelmente é uma implicação da publicação do documento “*Science for All Americans*”, desenvolvido pela *American Association for the Advancement of Science* (1990; 1993), em que eram preconizados temas relacionados com o processo de medição no currículo da Educação Básica dos Estados Unidos da América. A preocupação da área no processo de medição retorna em 2007, após uma pausa em artigos que tratassem do tema. Os anos de 2010 e 2013 foram os que apresentaram maior número de publicações, com 4 publicações em cada. Na Figura 2, podemos perceber pequenas variações no número de publicações com o passar dos anos que indica uma estabilização no interesse da área pelo tema.

2. 2. Resultados

Os resultados provenientes da análise dos artigos são apresentados 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.

Figura 2: Número de artigos publicados por ano entre os selecionados na revisão da literatura.



2.2.1. Perfil da produção acadêmica

Para facilitar a compreensão do estado da arte das pesquisas sobre o processo de medição no Ensino de Ciências, propomos categorias para sintetizar a produção acadêmica. O Quadro 2 apresenta essas categorias e os artigos englobados em cada uma delas. Nas próximas seções, explicamos como definimos cada categoria e especificamos alguns elementos sobre os artigos inseridos nelas.

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; Laburú <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, Buffler, Campbell & Lubben, 1998; Buffler <i>et al.</i> , 2009a; Buffler <i>et al.</i> , 2001; Duggan <i>et al.</i> , 1996; Farris, Dickes & Sandoval, 2019; Laburú <i>et al.</i> , 2010; Leblecioglu <i>et al.</i> , 2017; Lubben <i>et al.</i> , 2001a; Kapon, 2016; Sullivan, 2008; Pols <i>et al.</i> , 2021; Sandoval & Çan, 2010; Silva & Laburú, 2013; Toplis, 2007; Varelas, 2002
Análise de Publicações	Revisão da Literatura	Barolli <i>et al.</i> , 2010; Camargo Filho <i>et al.</i> , 2015; Laburú & 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

2.2.1.1. Pesquisa Empírica

Nesta categoria 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 sequências didáticas, e que não envolvem intervenção, quando os autores não procuram provocar mudanças no contexto que investigam.

Buffler *et al.* (2009a), 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.*, 2009a; 2001; Lubben *et al.*, 2001b) se fundamentam em questionários e entrevistas na busca por compreender e validar suas interpretações da teoria de 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*⁴. 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 sequências didáticas. Como exemplo, o estudo de Munier *et al.* (2013) envolve a

⁴ Science Camp é um ambiente de aprendizagem voltado aos estudos de Ciências que ocorre durante as férias escolares no contexto pesquisado, que no caso de Leblecioglu *et al.* (2017), ocorreu na Turquia.

análise das implementações de duas unidades de ensino, aplicadas em *4th* e *5th grades*, que envolviam temas como incertezas, dispersão e ferramentas estatísticas.

2.2.1.2. *Análise de Publicações*

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” tem 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 Laburú e Barros (2009) apresentam uma revisão a respeito da pesquisa sobre o processo de medição.

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.

2.2.1.3. *Reflexões*

Nesta categoria, classificamos os trabalhos que apresentam reflexões sobre assuntos relacionados ao processo de medição. As reflexões que encontramos são teóricas, 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.

2.2.2. *Motivações para as pesquisas*

Uma análise das motivações para as pesquisas que envolvem o processo de medição nos possibilita compreender o foco que os autores têm dado em suas pesquisas, assim como seus objetivos. Analisamos esse aspecto por meio da leitura dos artigos, especialmente das justificativas dos autores para a realização das pesquisas. A análise dessas motivações e justificativas possibilitam, também, a compreensão do perfil da produção acadêmica em se tratando de formas de pesquisa, anos de publicação e países em que foram publicadas.

Percebemos motivações variadas para a realização das pesquisas, porém, nas pesquisas realizadas nos Estados Unidos da América, é comum se utilizar como justificativa o fato de que documentos oficiais do país orientam a inserção do ensino do processo de medição no currículo de todo o Ensino Básico. Onze dos 34 artigos analisados citam as orientações oficiais como justificativa para a realização do trabalho. Morris *et al.* (2015, p. 2, tradução nossa), por exemplo, argumenta que:

“um importante componente da ciência e matemática é raciocinar com dados. Apesar dessa ênfase ser forte nas orientações recentes dos Estados Unidos (Common Core Standards, 2011, measurement & data; Next Generation Science Standards (NGSS), National Research Council, 2012, data and interpretation), têm sido também uma parte das recomendações ao ensino de ciência e matemática antes da proposição das orientações atuais (National Council of Teachers of Mathematics, 2000; National Science Education Standards, National Research Council, 1996)”.

Essa citação mostra que são diversos os documentos que determinam como relevante o ensino do processo de medição, mais especificamente o raciocínio com dados. Também é amplamente citada (e.g., em Gomes, 2016; Sullivan, 2008) a publicação da *American Association for the Advancement of Science* (1990).

Além disso, é comum que os artigos apresentem também motivações relacionadas aos conhecimentos envolvidos no processo de medição (e.g., análise e coleta de dados, uso de instrumentos, compreensão da construção do conhecimento científico). Algumas publicações apresentam enfoque em conhecimentos procedimentais ou epistemológicos do processo de medição, enquanto outras exploram ambas dimensões. Passamos a falar sobre elas.

Os artigos focados em aspectos epistemológicos do processo de medição têm como objetivo compreender as concepções de Ciência e sobre natureza da medição científica dos alunos, e potenciais relações entre essas concepções. Leblecioglu *et al.* (2017), por exemplo, destacam a

importância do entendimento da natureza das práticas científicas para o desenvolvimento de capacidades de avaliação de discursos científicos. Seguindo nessa linha, Buffler *et al.* (2009a) visam compreender especificamente a relação entre concepções sobre a natureza da Ciência e concepções sobre a medição científica. Nesse estudo, eles mostram que a relação entre conhecimento e experimentação científica parece sustentar as concepções dos alunos sobre natureza da Ciência, justificando relações que outros autores fazem para explorar aspectos epistemológicos do conhecimento científico para o estudo do processo de medição.

A compreensão dos alunos sobre o processo de medição são frequentemente avaliadas a partir das noções de paradigma Pontual e de Conjunto (Camargo Filho *et al.*, 2015; Gomes, 2016; Laburú *et al.*, 2010; Silva & Laburú, 2013). A proposição de tais paradigmas foi realizada por Buffler e seus colaboradores (e.g, Buffler *et al.*, 2001), assumindo que a compreensão do processo de medição envolve a aproximação do indivíduo com um conjunto de conhecimentos compartilhados relacionados com um paradigma (veremos mais detalhes no Quadro 4). 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.

Nesta revisão, tomamos como aspectos procedimentais do processo de medição aqueles relacionados com habilidades envolvidas, por exemplo, no uso de instrumentos de coleta, processamento e análise de dados. Mauro e Furman (2016, p. 2240, tradução nossa), por exemplo, apontam a “*habilidade de planejar, implementar, analisar e avaliar experimentos*” como um dos principais objetivos da educação mundial, tomando tal objetivo como o que justifica a análise dos resultados da implementação de uma unidade de pesquisa com foco no design de experimentos a estudantes de *4th grade*. É comum, porém, que os estudos voltados aos aspectos procedimentais do processo de medição envolvam também elementos epistemológicos, de modo que raramente as justificativas dos artigos sejam limitadas a um dos âmbitos aqui tratados. Mauro e Furman (2016) é um dos poucos exemplos em que se objetiva apenas a compreensão das habilidades procedimentais dos estudantes.

Uma parcela significativa (14 dos 34 artigos analisados) dos artigos do exterior apresentam em suas justificativas orientações de documentos oficiais, com maior ou menor enfoque. Desses, quatro trazem a discussão em conjunto a aspectos procedimentais e/ou epistemológicos do processo de medição. Nos demais, as motivações estão permeadas por aspectos procedimentais e epistemológicos, com enfoques heterogêneos. Sete dão maior enfoque a aspectos procedimentais,

sete a aspectos epistemológicos, e seis possuem enfoques intermediários entre procedimentais e epistemológicos. Esses padrões demonstram que as motivações dos pesquisadores estão bastante divididas, garantindo uma cobertura satisfatória de aspectos do processo de medição pelos trabalhos que o exploram.

2.2.3. 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 a 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, as 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; Laburú <i>et al.</i> , 2010; Lubben <i>et al.</i> , 2001b; 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 & Laburú, 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; Laburú <i>et al.</i> , 2012; Sandoval & Çan, 2010; 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> , 2009a; Farris <i>et al.</i> , 2019; Fergusson <i>et al.</i> , 2021; Kapon, 2016; Laburú & 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, Laburú *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 9 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.

Dentre as publicações analisadas, quatro têm enfoque no processo de controle de variáveis no trabalho experimental. Kuhn (2016), por exemplo, busca analisar o que os estudantes de séries iniciais precisam e são capazes de aprender sobre o controle de variáveis com o foco voltado a um estudo psicológico acerca de como os estudantes aprendem, diferentemente dos demais trabalhos que tem seu foco 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 Laburú *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”.

2.2.4. Perspectivas epistemológicas e teóricas empregadas

Nesta seção, passamos à discussão sobre os referenciais epistemológicos mobilizados nos artigos, assim como sobre suas perspectivas teóricas de ensino-aprendizagem, englobando tanto referenciais teóricos de aprendizagem como metodologias de ensino utilizadas pelos autores. Mais uma vez, nos limitamos nesta seção a análise das perspectivas empregadas explicitamente, sem nos dedicarmos à interpretação de possíveis concepções subjacentes. Seguimos primeiro com a discussão das perspectivas epistemológicas.

2.2.4.1. *Perspectivas epistemológicas*

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 do processo de medição científica. 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 epistemologias da Ciência, Thomas Kuhn é o mais utilizado nas publicações, sendo citado em 12 dos 34 artigos, de modo que a sua perspectiva é utilizada em 52% dos artigos que explicitam o viés epistemológico adotado. Quando analisamos a produção brasileira, esse número se torna ainda mais expressivo, já que a totalidade dos artigos que explicitam o uso de uma epistemologia 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, que, como já mencionado, propuseram os termos paradigma Pontual e de Conjunto para sintetizar visões compartilhadas a respeito do processo de medição. Segundo Buffler *et al.* (2001, p. 1139, tradução nossa), “*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.

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)

A concepção de Kuhn está atrelada aos paradigmas de Buffler na maioria dos artigos, porém três dos que evocam o autor não utilizam essa visão. Laburú *et al.* (2009), Força *et al.* (2013) e Munier *et al.* (2013) citam o autor destacando a importância que ele atribui à experimentação, destacando, por exemplo, que “*muita teoria é necessária antes dos resultados da medição obterem sentido*” (Laburú, 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 afirmações e testam elas, 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.

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 *et al.* (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, p. 1, tradução nossa). 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 & Duggan (1995 *apud* Duggan *et al.*, 1996). Já Apedoe & Ford (2010) discutem as atitudes empíricas, e acreditam, em acordo com a visão de Bogen & 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.

Nos artigos que exploram concepções epistemológicas explicitamente notamos grande impacto do autor Thomas Kuhn, pois 12 dos 34 trabalhos explicitam a sua aplicação. 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 de um único autor como base para as discussões epistemológicas, como podemos notar em trabalhos como o de Manz *et al.* (2020) e Apedoe e Ford (2010) que, apesar de apresentarem uma linha 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.

2.2.4.2. Perspectivas de ensino-aprendizagem

Nesta seção, discutiremos as perspectivas de ensino-aprendizagem utilizadas pelos autores, abarcando tanto perspectivas teóricas de aprendizagem quanto metodologias de ensino. Identificamos 18 artigos que explicitam perspectivas teóricas ou metodologias de ensino, e um deles explicita ambos.

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

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 Laburú *et al.* (2012).

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 et al. 1996; Lehrer, 2009)	(Farris et al., 2019) e Fergusson et al. (2021)
Movimento Ciência como prática (e. g. Schwarz, Passmore, & Reiser, 2017; Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008)	(Manz et al., 2020)
Investigações abertas e estendidas	(Sullivan, 2008)
Estratégia de Controle de Variáveis	(Kuhn, 2016)
Ensino baseado em evidências	(Morris et al., 2015)
Experimentação por paradigmas (Millar, 1987)	(Força et al., 2013; Laburú et al., 2012)

Força *et al.* (2013) e Laburú *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) e Kuhn (2016) apresentam 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 Kuhn (2016), a abordagem passa pela crítica à estratégia de

controle de variáveis, em que os autores apontam a grande difusão dessa estratégia apesar de não ser suficiente para o ensino de variáveis. Tendo isso em vista, é discutido teoricamente o que estudantes de diversas idades precisam e podem aprender a respeito de variáveis. Por fim, Morris *et al.* (2015) abordam a metodologia denominada ensino baseado em evidências em que avaliam como o uso da metodologia poderia ser inserida nas atividades propostas pelos livros didáticos analisados, que são as estratégias que os autores buscaram evidenciar em sua pesquisa.

Já em se tratando das perspectivas teóricas, nove artigos apresentam explicitamente alguma referência, sendo que a maioria dos autores se identificam como alinhados com perspectivas cognitivistas (Kuhn, 2016; Laburú *et al.*, 2010; Laburú & Barros, 2009; Schauble *et al.*, 1991; Silva & Laburú, 2013), baseados principalmente nas orientações de Piaget. Kapon (2016), Sandoval & Çan (2010) e Varelas (1996) evocam as orientações de Vygotsky. Schauble *et al.* (1991), Morris *et al.* (2015) e Fergusson *et al.* (2021) se utilizam dos conceitos de modelagem mental para explorar como os estudantes aprendem e, por fim, Heinicke & Heering (2013) se autointitulam socioconstrutivistas. Os teóricos de aprendizagem mais citados nos artigos analisados são Piaget e Vygotsky. Um dos artigos explicita referenciais de teoria de aprendizagem e metodologia de ensino (Kuhn, 2016), que se declara cognitivista ao discutir outras formas de ensinar a manipulação de variáveis.

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 (2010).

Laburú 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*” (Laburú, Barros, 2009 p. 158), de modo que podem ser caracterizados como construtivistas. Silva e Laburú (2013) e Laburú *et al.* (2010) concordam com Laburú 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 & Kim (2009 *apud* Fergusson *et al.*, 2021) e Lehrer & 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.

2.2.5. Principais resultados das investigações

Nesta seção, apresentamos e debatemos os resultados alcançados e discutidos pelas publicações que compõem essa revisão da literatura. Para isso, assim como feito a respeito das motivações dos trabalhos, 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 do processo de medição dos alunos, 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.

2.2.5.1. Discussões epistemológicas

Seguindo a tendência ditada pelos referenciais epistemológicos, a discussão dos resultados na maioria dos trabalhos que apresentam tendências epistemológicas 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.* (2009a) 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. A presente investigação vai ao encontro desses resultados, buscando formas de inserir o processo de medição no Ensino Fundamental nesse contexto.

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 situações didáticas, 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 situações em que os estudantes estão em contato com situações de pesquisas científicas, o que se mostrou um campo produtivo, principalmente no caso em que as pesquisas científicas 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 isso é relacionado 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 presente trabalho leva em conta esses resultados e utiliza uma sequência didática que apresenta discussões explícitas sobre a natureza da Ciência com enfoque na modelagem científica a fim de avaliar a influência dessas discussões na compreensão de aspectos do processo de medição.

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”.

2.2.5.2. Discussões procedimentais

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 trenas, 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 & 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. Tomando como base esses resultados, o presente trabalho busca avaliar a relação que os estudantes constroem entre os procedimentos e as suas funções, além de reservar na sequência didática momentos em que essa relação é construída explicitamente.

Habilidades pontuais são discutidas nos trabalhos de Laború *et al.* (2009), Força *et al.* (2013), Toplis (2007), Munier *et al.* (2013) e Hug & 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 & 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 e 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.

2.3. 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, inclusive no Brasil, em que foram encontrados apenas oito artigos. Nesses artigos, identificamos estudos e reflexões heterogêneas, com pouca convergência quando os analisamos em conjunto. Além disso, é evidente a

estagnação quanto ao número de artigos anuais com estudos sobre o assunto, mesmo com a publicação de documentos oficiais que preconizam o ensino de aspectos da medição científica como a Base Nacional Comum Curricular (2012) no Brasil, e os Common Core Standards (2011) e Next Generation Science Standards (2012) nos Estados Unidos. Na sequência, discutiremos os achados em termos das questões que guiaram essa pesquisa.

- *Qual é o perfil da produção acadêmica a respeito do processo de medição na área de ensino de Física para a Educação Básica?*

Nos artigos selecionados, identificamos mais produções com pesquisas empíricas, englobando 18 dos 34 artigos. Desses, nove artigos buscam responder a questões de pesquisa por meio da implementação de atividades particularmente delineadas para dar enfoque no processo de medição, ou seja, são pesquisas empíricas com intervenções no contexto em que investigam. Os demais artigos fazem estudos de caso em contextos educacionais ou realizam entrevistas e/ou aplicam questionários. Nas pesquisas empíricas sem intervenção, Buffler e seus colaboradores (e.g. Buffler *et al.* 2001) têm bastante influência, principalmente no que diz respeito à sua interpretação das ideias de Thomas Kuhn para o processo de medição científica. Essas ideias tiveram grande impacto no contexto brasileiro, o que não foi observado em artigos do exterior.

Foram identificados também artigos com reflexões históricas, teóricas e que fazem análises de publicações da área, como revisões da literatura e análise 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). Assim, conclui-se que a produção da área está voltada para pesquisas empíricas.

- *Quais são as motivações desses artigos para justificarem pesquisas sobre o processo de medição?*

Identificamos a preocupação de alguns artigos com orientações oficiais que têm direcionado suas atenções a aspectos do fazer Ciência, como para o raciocínio com dados. Também identificamos motivações voltadas às habilidades que o processo de medição exige e às potencialidades de discussões sobre esse processo para fomentar evoluções das concepções epistemológicas dos estudantes. É destacado que o processo de medição demanda habilidades centrais como o raciocínio com dados (Kuhn, 2016), a coleta de dados (Buffler *et al.*, 2001) e o uso de ferramentas estatísticas (Munier *et al.*, 2013), além de habilidades de socialização e cidadania (Kapon, 2016), de modo que os pesquisadores reconhecem a pesquisa nessa área como frutífera para o ensino e compreensão de aspectos procedimentais da aprendizagem de Física. Além disso,

como visto em Buffler *et al.* (2009b), as concepções dos estudantes sobre medição científica estão relacionadas com as suas concepções sobre a natureza da Ciência. Os autores, reconhecendo isso, buscam analisar os aspectos epistemológicos dos conhecimentos dos estudantes vinculados com o processo de medição, assim como procuram avaliar possíveis evoluções nas suas concepções potencializadas por unidades didáticas sobre medição científica.

- *Que aspectos do processo de medição são explorados?*

Identificamos quatro categorias, sendo elas “Coleta, Processamento e Análise de Dados”, “Natureza Estatística”, “Relação entre Dados, Realidade e Teoria” e “Controle de Variáveis”, além dos trabalhos sem foco específico. Os artigos se dividem entre as categorias sem prevalência significativa. 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 mais voltadas à natureza da Ciência, relacionando o processo de medição com a realidade. Existem correlações 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 de natureza da Ciência em algum nível, por mais que não realizem a discussão explicitamente.

- *Quais perspectivas epistemológicas sobre o processo de medição são adotadas?*

Quando analisamos as perspectivas epistemológicas dos artigos, concluímos que o autor mais influente na área é Thomas Kuhn, sendo 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. Não há convergências nos demais trabalhos que apresentam referencial epistemológico. Três trabalhos discutem a modelagem científica como viés epistemológico seguido, porém exploram aspectos e linhas diferentes dessa concepção. A tendência do uso de Kuhn pode ser devida ao grupo de Buffler e seus colaboradores ser o único identificado que propõe uma teorização especificamente voltada ao processo de medição, o diferenciando da experimentação como um todo. 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.

- *Quais perspectivas de ensino-aprendizagem são adotadas?*

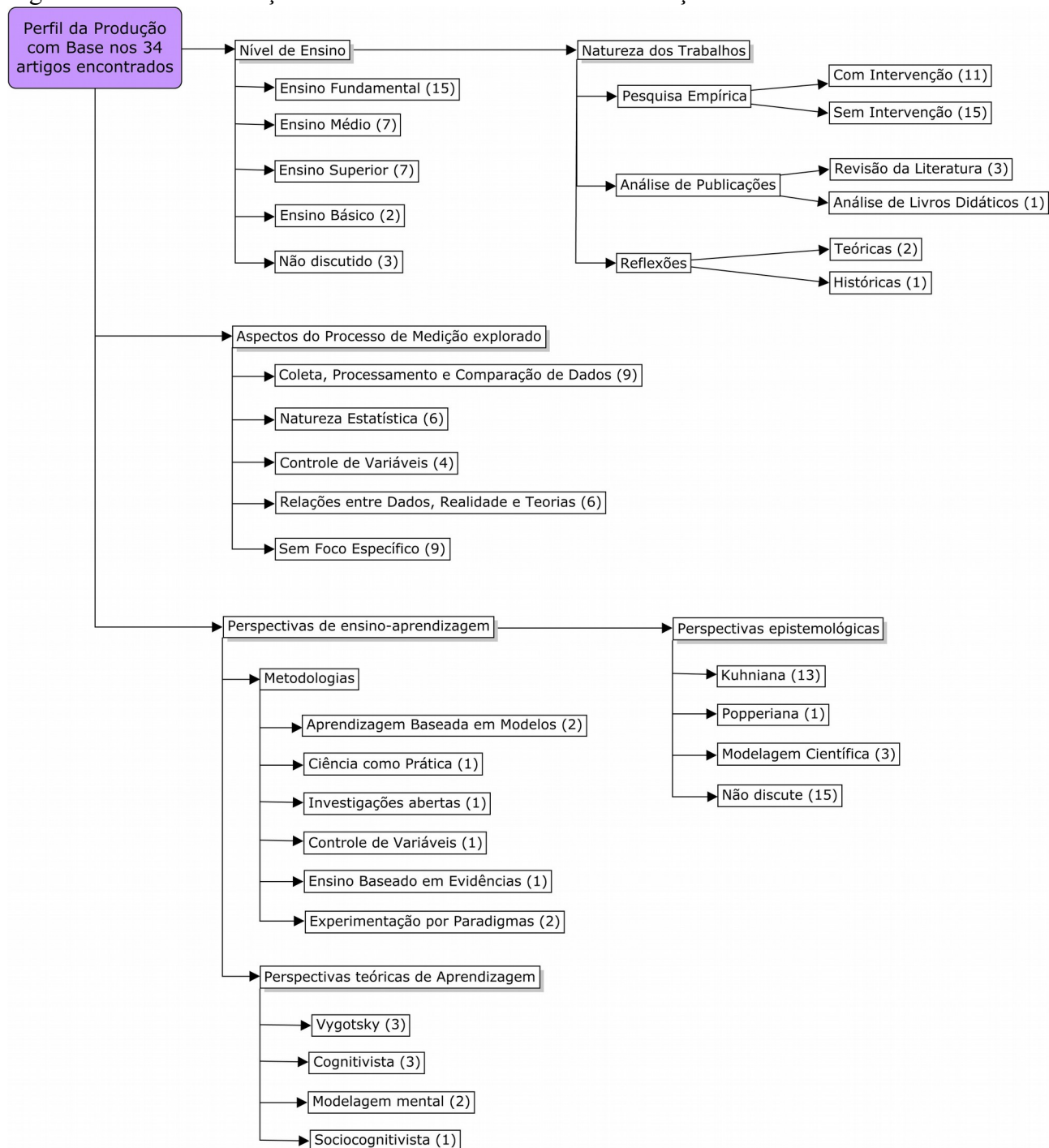
Levamos em conta os artigos que discutiram explicitamente as teorias empregadas. Em relação às perspectivas de ensino-aprendizagem, as metodologias empregadas pelos autores não convergem, sendo que, nos sete artigos que a explicitaram, foram identificadas cinco metodologias diferentes. Todas as metodologias, porém, têm foco na ação dos estudantes. 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.

- *Quais são os resultados alcançados com diferentes formas de se abordar o processo de medição?*

Por fim, os resultados dos trabalhos mostram que esse é um campo frutífero de pesquisa que, apesar de apresentar pouca convergência entre os estudos, possui pouca diversidade em termos de teorizações especificamente voltadas para o ensino de Física com enfoque no processo de medição científica. Os trabalhos mostraram que, sem instrução adequada e explicitamente dirigida para aspectos tanto epistemológicos quanto procedimentais do processo de medição, os estudantes evoluem com dificuldade para concepções sofisticadas e desenvolvem poucas habilidades de coleta, processamento e análise de dados.

A Figura 3 sintetiza o perfil dos 34 artigos encontrados em termos das questões aqui exploradas.

Figura 3: Perfil da Produção Acadêmica sobre Processo de Medição no Ensino de Ciências



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 encobrendo 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 fluuabilidade 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.

Procurando preencher essa lacuna, mobilizamos, nesta dissertação, um referencial teórico epistemológico, a MDC+, em que são debatidos aspectos particulares do processo de medição e a sua relação tanto com a experimentação quanto com a teorização da Ciência. Esse referencial possibilita a discussão do processo de medição com maior profundidade, relacionando-o com a modelagem científica de objetos e/ou eventos reais. Com isso, os estudantes podem dar sentido ao processo de medição, sem perder de vista os elementos estatísticos e habilidades necessárias à condução de medições e análise de dados.

3. Referencial Teórico

Para conduzirmos a investigação, nos amparamos em discussões sobre o processo de medição atreladas à modelagem científica. Particularmente, nos fundamentamos na Modelagem Didático-Científica, especialmente no que se relaciona ao processo de medição e ao fazer experimental.

3.1. A Modelagem Didático-Científica e o processo de medição científica

O fazer científico possui diversas perspectivas. Frente a isso, pesquisadores em Ensino de Física e de Ciências vêm discutindo sobre aspectos desse processo que são relevantes para a alfabetização científica, concluindo que, entre outras coisas, a inserção de temas sobre epistemologia da Ciência em sala de aula contribuem para a aprendizagem de e sobre Ciências (e.g. Sasseron, 2015; Justi, 2015; Clementi, 2013). Lubben *et al.* (2009), por exemplo, indicam que as concepções dos estudantes sobre natureza da Ciência influenciam as suas interpretações sobre medições científicas, fundamentais para o desenvolvimento de habilidades de medição.

A preocupação com a inserção de elementos epistemológicos particularmente vinculados com o fazer científico origina diferentes enfoques para o ensino de Ciências (e.g. Louca & Zacharia, 2012; Manz et al., 2020; Santos, 2019; Sandoval, 2014). Um deles é o enfoque no processo de medição científica, considerado fundamental por cientistas. Osborn *et al.* (2003), por exemplo, identificaram que o processo de medição é considerado um dos sete temas mais relevantes ao Ensino de Ciências por cientistas atuantes. No entanto, apesar da variedade de discussões sobre o processo de medição científica no campo da filosofia da Ciência, identificamos, como visto no Capítulo 2, que a área de pesquisa em Ensino de Ciências é pouco diversa em relação aos fundamentos epistemológicos utilizados para explorar a medição, sendo as orientações de Thomas Kuhn hegemônicas nesse meio. Kuhn, no entanto, direciona as suas reflexões a aspectos sociais da atividade científica, sem o objetivo de se aprofundar em discussões sobre as relações entre teorias e medições, ou entre medições e realidade. Entendemos a falta de diversidade de enfoques epistemológicos nas pesquisas sobre o processo de medição científica com uma lacuna da área de ensino de Ciências a ser preenchida.

Uma alternativa para se abordar a construção de conhecimentos científicos amplamente explorada na área de ensino de Ciências é o enfoque no processo de modelagem científica. Autores (Manz et al., 2020; Heidemann et al., 2018; Brandão et al., 2012) apontam que o trabalho científico

pode ser entendido como um processo cíclico de construção, avaliação e reconstrução de modelos científicos. Nessa perspectiva, a modelagem está por trás também da contrastação entre teorias e realidade, de modo que experimentos, observações e medições são sempre realizados embasados em modelos teóricos e teorias científicas (Bunge, 2004). Cabe ressaltar que a compreensão da Ciência como uma rede complexa de modelos é permeada pela concepção de que o empreendimento científico é humano, mutável e representacional.

A modelagem científica envolve o uso e/ou criação de uma rede de conceitos e habilidades interligados que possibilitam que um conhecimento seja construído, contrastado e/ou apreendido. Tendo em vista suas potencialidades, o enfoque na modelagem científica em contextos didáticos vêm ganhando notoriedade (Koponen, 2007; Oh & Oh, 2011; Louca & Zacharia, 2012; Brandão et al., 2012; Heidemann et al. 2016, 2018; Weber, Heidemann & Veit, 2020) e sendo visto como uma forma promissora de auxiliar os estudantes na mobilização de aspectos epistemológicos e conceituais da Física. Louca e Zacharia (2012), em uma revisão da literatura, identificaram que o enfoque na modelagem científica possibilitou aos estudantes evoluções em: *i.* Compreensões conceituais de conhecimentos científicos; *ii.* Compreensões da natureza operatória da Ciência; *iii.* Habilidades procedimentais e resolução de problemas; e *iv.* Apropriações de pensamentos e linguagem científica.

Inseridos nesse contexto, Brandão, Araujo & Veit (2012) desenvolveram uma costura teórica entre a Teoria dos Campos Conceituais, de Gerárd Vergnaud (2009; 2013), e a concepção de Modelagem Científica, de Mario Bunge (1974; 2010). Os autores mostram que a modelagem científica pode ser tratada como um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física, estabelecendo o que é chamado de Modelagem Didático-Científica (MDC). Trata-se de um referencial teórico com o objetivo de “*favorecer o desenvolvimento de concepções e competências associadas a natureza, à construção, à validação, à exploração e à revisão de modelos didático-científicos*” (Brandão, 2012, p. 7).

Na MDC, entende-se que um sujeito, quando defrontado com um problema que demanda a tomada de decisão sobre simplificações do mundo real (ou suposto como tal) para responder questões de pesquisa, necessita evocar uma série de conhecimentos e ações que estão relacionados ao campo conceitual da modelagem científica. Essas ações se organizam em esquemas invariantes frente a classes de situações de modelagem, ou seja, frente a um conjunto de situações semelhantes. Uma situação, aqui, não é tomada com o mesmo sentido de uma situação didática, como propostas por Brousseau, mas como uma “*tarefa, sendo que toda situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas, para as quais é importante conhecer suas naturezas e dificuldades próprias*” (Moreira, 2002, p. 11).

Os esquemas englobam, entre outras coisas, conceitos e teoremas que possibilitam que o sujeito reconheça aspectos pertinentes da situação e o guiem no seu enfrentamento (Heidemann *et al.*, 2016). Esses conhecimentos (conceitos e teoremas-em-ação) são denominados por Vergnaud de invariantes operatórios. Como exemplo, vamos supor uma atividade didática dirigida pelo seguinte problema: como podemos prever os ciclos das marés? Para atacar esse problema, é necessário saber que a variação das marés decorre da influência gravitacional dos corpos celestes na Terra. Assim como fazemos em qualquer problema científico, precisamos estabelecer simplificações da realidade para tornarmos o objeto/evento abordável frente as teorias disponíveis. Nesse caso, é usual, para compreendermos as marés no nosso planeta, limitarmos a discussão às interações no sistema Terra-Lua, desprezando efeitos de outros astros⁵. Desse modo, idealizamos que a influência dos demais planetas e do Sol é nula, não sendo necessária para o objetivo traçado. O conceito de *idealização*, portanto, se mostra central no processo de apreensão da realidade. Por isso, Brandão *et al.* (2012, p. 529) o identificam como um dos conceitos do campo conceitual da modelagem científica, associando a ele o seguinte invariante operatório de referência (teorema-em-ação): “*Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender*”.

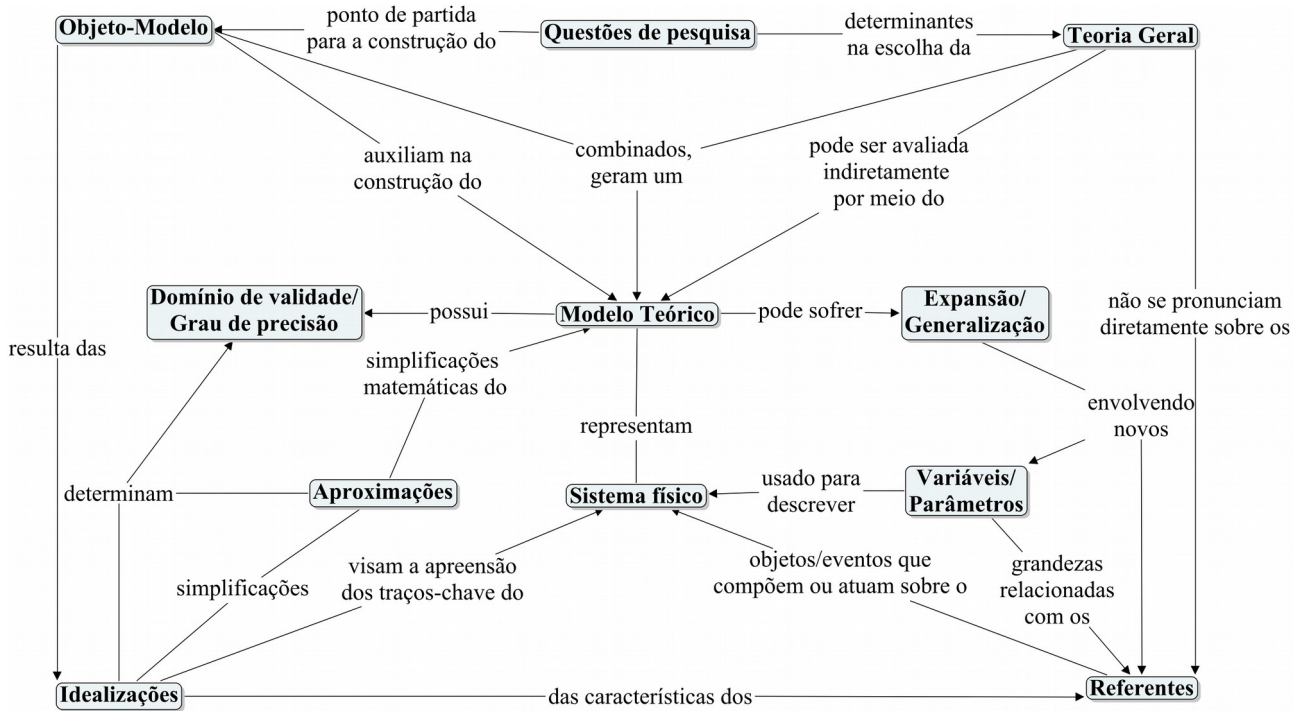
Em síntese, Brandão *et al.* (2012) argumentam que, para o enfrentamento de uma situação de modelagem como a exemplificada, é necessário que o estudante mobilize uma gama entrelaçada de conceitos, teoremas, habilidades, conhecimentos e esquemas de ação específicos da modelagem científica. Esse conjunto constitui o campo conceitual da modelagem didático-científica. Mais precisamente, Brandão *et al.* (2012, p. 277) definem o campo conceitual da modelagem didático-científica com uma tríade:

- i) um conjunto de situações físicas que dão sentido aos conceitos associados às noções sobre modelos e modelagem científica em Física;*
- ii) um conjunto de invariantes operatórios de: a) caráter geral, associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física, e b) caráter específico, associados aos conceitos da estrutura conceitual de referência;*
- iii) um conjunto de representações simbólicas que podem ser usadas para indicar esses invariantes.*

Tendo isso em vista, Brandão *et al.* (2012) propõem uma Estrutura Conceitual de Referência (ECR) (Figura 4) que sintetiza os conceitos e suas relações dentro do campo conceitual da modelagem científica. Esses conceitos, em conjunto com as operações de pensamento e situações que organizam as ações do sujeito frente ao processo de modelagem científica, compõem o campo conceitual da modelagem didático-científica.

⁵ Segundo Silveira (2003), a força de maré máxima causada pela lua em um corpo de 1 kg é de $1,12 \cdot 10^{-6}$ N. Já a do Sol é de $0,5 \cdot 10^{-6}$ N, metade da provocada pela Lua.

Figura 4: Estrutura conceitual de referência do campo conceitual da modelagem científica.



Fonte: Brandão *et al.* (2012)

Na Figura 4 estão dispostos 11 conceitos considerados principais pelos autores a respeito do processo de modelagem científica. Nesta dissertação, não esgotaremos a discussão desses conceitos, que pode ser consultada de forma detalhada em Brandão *et al.* (2012). Nos limitamos a explorar apenas aqueles que consideramos ter maior influência no processo de medição científica.

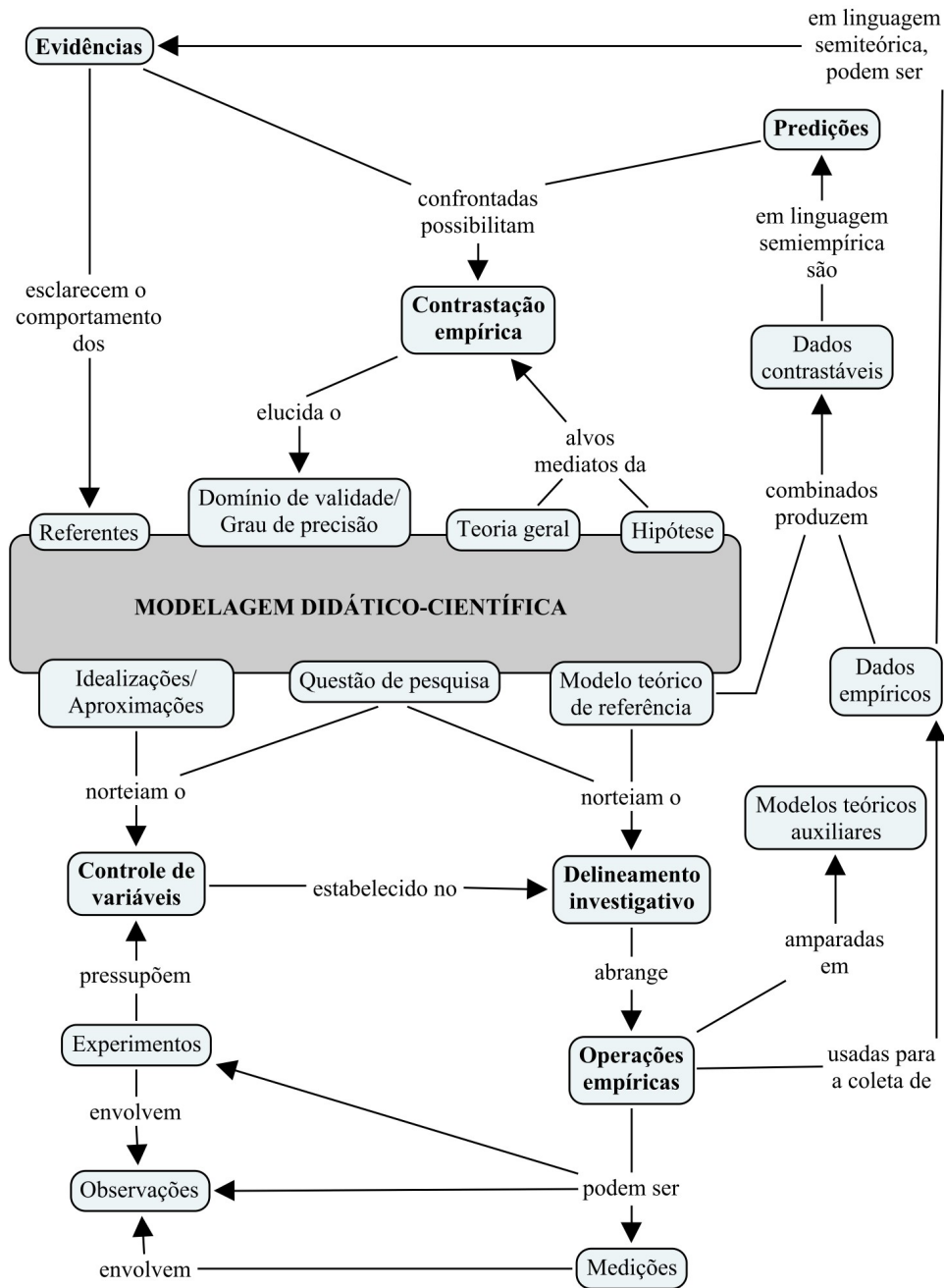
Na ECR da Figura 4, Brandão *et al.* (2012) sintetizam o fato de que um modelo teórico é, essencialmente, uma combinação entre um objeto-modelo e uma teoria geral. Discutiremos esses conceitos a partir de um exemplo. Vamos supor uma atividade didática dirigida pela seguinte questão: Comparando o período de rotação da Terra ao redor do Sol como o de outros planetas do Sistema Solar, ele é menor, maior ou igual? Por quê? Para respondermos essa pergunta, tomamos como *referentes* todos os planetas do Sistema Solar. Tendo em vista que precisamos estudar o movimento dos planetas, a Mecânica Newtoniana se mostra uma *Teoria Geral* adequada. Tal escolha vai nos dirigir na construção do *objeto-modelo* que utilizaremos para representar os planetas. Esse processo envolve o estabelecimento de uma descrição do referente do modelo estabelecida a partir de idealizações e aproximações do sistema alvo. Nesse exemplo, podemos desprezar a interação gravitacional entre os planetas, assim como desprezar a influência de outros corpos celestes do Sistema Solar (e.g., cinturão de asteroides). Além disso, podemos idealizar o Sol e os planetas como corpos pontuais, assim como considerar que os planetas realizam órbitas circulares ao redor do Sol. Essas *idealizações* possibilitam a construção de um modelo teórico

didaticamente útil para se explorar o período de translação dos planetas com suficiente precisão. Tomamos então como objeto-modelo um sistema composto por oito corpos pontuais (planetas) transladando ao redor de outro corpo pontual (Sol) com trajetórias perfeitamente circulares.

Porém, pouco adianta estabelecer uma descrição simplificada e não explicá-la à luz de teorias gerais bem definidas. Nesse caso, podemos mobilizar a Mecânica Newtoniana (a Lei da Gravitação Universal e a Segunda Lei de Newton) e, igualando a força centrípeta sofrida pelos planetas em seus movimentos circulares com a força gravitacional entre eles e o Sol, inferir a frequência angular das órbitas e, conseqüentemente, o período sideral dos planetas. Destaca-se que a Mecânica Newtoniana, sendo uma Teoria Geral, não se pronuncia sobre objetos/eventos específicos. Apenas quando utilizada no modelo teórico construído a partir de um objeto-modelo é que passamos a fazer previsões sobre os períodos dos planetas. Destaca-se também que as simplificações consideradas no objeto-modelo são carregadas pelo modelo teórico, determinando o seu grau de precisão e domínio de validade. Em outras palavras, o modelo teórico apresentará imprecisões devido às simplificações consideradas no objeto-modelo que lhe dá origem, limitando o seu *grau de precisão*, assim como delimitando as situações em que é adequado utilizá-lo para representar um objeto/evento real.

Não estava nos objetivos da MDC explorar os aspectos específicos do fazer experimental dentro da modelagem científica. Identificando as potencialidades desses aspectos, Heidemann, Araujo e Veit (2016) propõem uma expansão à MDC, denominada de MDC+, em que aprofundam o entendimento do campo conceitual da modelagem, identificando novos conceitos e invariantes operatórios relacionados particularmente com o trabalho experimental. Nessa expansão, os autores também construíram uma ECR, que está disposta na Figura 5. Tendo em vista que o processo de medição está inserido no fazer experimental, utilizamos as orientações de Heidemann *et al.* (2016) como referencial teórico dessa dissertação.

Figura 5: Estrutura conceitual de referência da MDC+.



Fonte: Heidemann *et al.*, 2016, p. 22

Na ECR da Figura 5, os conceitos que tangenciam o quadro “modelagem didático-científica” devem ser entendidos como conceitos interligados por meio da ECR da Figura 4. Na ECR da MDC+, é destacado que, quando buscamos delinear uma investigação experimental, amparamo-nos em modelos teóricos (Heidemann *et al.*, 2016). O modelo teórico de referência guia as ações de controle do experimentador sobre o objeto ou evento investigado, como o controle das variáveis que precisam ser mantidas constantes. Vejamos um exemplo em um caso em que um indivíduo quer avaliar a variação da temperatura de um gás em um recipiente fechado em função da

variação da sua pressão. Baseando-se no modelo de gás ideal, o indivíduo pode tomar a decisão de controlar o volume do gás, mantendo-o constante, pois ele influencia na temperatura do gás. Caso não faça isso, não poderá atribuir variações de temperatura exclusivamente a mudanças de pressão. Ao mesmo tempo, ele não despenderá atenção para controlar a iluminação do ambiente, pois o modelo teórico de referência prevê que esta variável não influencia no fenômeno estudado. Em suma, o modelo teórico de referência dirige a tomada de decisão sobre quais grandezas precisam ser analisadas em um delineamento experimental. Heidemann *et al.* (2018, p. 356) destaca tal fato dizendo que “*o trabalho experimental é sempre delineado, conduzido e avaliado dentro de um corpo teórico composto por teorias, modelos, hipóteses, etc.*”.

Apoiado em um modelo teórico, o delineamento experimental engloba as decisões sobre as operações empíricas que precisarão ser realizadas para se alcançar respostas para a questão de pesquisa do processo de modelagem científica conduzido. Por sua vez, as operações empíricas possibilitam o desenvolvimento de evidências que permitem a contrastação empírica. Elas possibilitam a contrastação de previsões construídas com base em modelos teóricos, que foram construídos com base em teorias gerais, com o comportamento dos referentes desses modelos.

Bunge (2004) argumenta que existem três tipos de operações empíricas: observações, medições e experimentos. As *observações* são as operações empíricas básicas, e, segundo o autor, são uma percepção da realidade intencionada e ilustrada, ou seja, feitas com um objetivo e guiadas por um corpo de conhecimentos. Elas, porém, são feitas sem precisão quantitativa. Segundo Bunge (*idem*), uma observação envolve tomar consciência do objeto, reconhecê-lo e, por fim, descrevê-lo. Na Ciência, observações são raras. No cotidiano, no entanto, são comuns. Por exemplo, quando olhamos para o céu para, analisando as nuvens, prever as condições climáticas futuras, estamos realizando uma observação. Destaca-se que, como qualquer operação empírica, tal observação é dirigida por um modelo, que pode ser científico ou não.

Observações, quando quantificadas, tornam-se *medições*. Em alguns casos, elas são realizadas em condições naturais, não controladas, como em medições da temperatura ambiente em estações meteorológicas. Em outros casos, elas são realizadas em ambientes artificiais, controlados a partir de procedimentos dirigidos por modelos teóricos. Nos casos controlados, fazemos *experimentos*. Bunge (*idem*) explica que experimentos demandam alterações no ambiente planejadas e objetificadas, de modo que exigem planejamento, construções, conceitos, hipóteses e teorias. Assim, experimentos, que podem ser qualitativos ou quantitativos, exigindo medições, demandam o desenvolvimento de técnicas experimentais que permitam o controle do ambiente.

Por exemplo, quando procuramos mensurar o período orbital de um Quasar, utilizamos medições de grandezas características desse objeto, como do seu brilho aparente. Nesse caso não

somos capazes de manipular o evento investigado; podemos apenas acessar e quantificar características do objeto investigado. Já quando buscamos avaliar a variação do período de um pêndulo, podemos controlar o evento investigado, construindo, guiado pelo modelo de pêndulo simples, um pêndulo real com um fio pouco extensível e com massa muito menor do que a massa do corpo suspenso, por exemplo. Podemos então realizar um experimento quantitativo, já que construímos o aparato experimental com o objetivo de realizar a medição do período controlando o comprimento e a massa do pêndulo real.

Segundo Bunge (idem), a medição é um dos principais processos na experimentação, de modo que o seu entendimento é muito importante na compreensão do processo de modelagem científica e de operações empíricas no geral. Tendo em vista que a medição pressupõe a observação, para algo ser medido precisa ser direta ou indiretamente observável. O autor destaca que se algo é observável, então é assumido como real, de modo que a existência é uma necessidade para a observabilidade de um ente. Em outras palavras, “*se algo é observado efetivamente com a ajuda de instrumentos empíricos adequados, então pode-se adiantar provisoriamente a hipótese de sua existência física*” (Bunge, 2004, p. 603). Nessa passagem, Bunge aponta que a utilização de instrumentos empíricos pode ser necessária para uma observação, de modo que podem existir entes observáveis que ainda não dispomos do aparato necessário para sua observação.

Medições são formas de atribuir valores numéricos a propriedades de um objeto (Bunge, idem). Denominamos essas propriedades que buscamos acessar por meio da medição de *mesurando*; ele representa o estado de uma propriedade de um sistema concreto. No Quadro 6, vemos os níveis do processo de medição acompanhados de um exemplo.

Quadro 6: O mensurando e seus níveis. Adaptado de Bunge (2004, p. 638)

Entidade	Símbolo	Exemplo	Nível
Mensurando (estado de uma propriedade)	\dot{r}	Comprimento <----->	Realidade
Valor medido de uma propriedade	$m(\dot{r})$	(100,0 ± 0,1) cm	Experiência
Valor numérico de uma propriedade	r	100 cm	Teoria

O mensurando é o “recorte” da realidade ao qual se busca atribuir um valor. No caso da grandeza “comprimento”, podemos estar interessados em mensurar o comprimento de uma varinha; nesse caso, a varinha é a realidade, e o comprimento da varinha (mensurando) é um valor numérico atribuído a uma propriedade da realidade, ou seja, é um recorte da realidade. Se o objetivo é utilizar a varinha como escala para definir o comprimento de um metro, então, no nível de teoria, temos o

valor numérico dessa propriedade, definido como 100 cm. Já quando passamos ao valor medido dessa propriedade, estamos no nível de experiência, e o valor passa a ser acompanhado de uma incerteza, podendo, como exemplo, estar no intervalo $(100,0 \pm 0,1)$ cm. Para a associação de uma propriedade de um objeto ou evento a um valor numérico, é necessário que exista alguma teorização sobre o conceito que dá sentido a essa propriedade, de modo que, sem teoria, a propriedade, caracterizada por uma grandeza, não poderá se tornar um mensurando.

Segundo Bunge (idem), como visto no Quadro 6, todo valor medido deve estar acompanhado de sua incerteza, originada pelo próprio ato de medir. Isso porque uma medição, em nível de experiência, é um processo físico que supõe pelo menos um sistema macroscópico, e nesses sistemas não existem duas coisas idênticas, de modo que é improvável a obtenção de dois resultados iguais em uma medição. Assim como Hieráclito dizia que a mesma pessoa não pode entrar no mesmo rio duas vezes, as mesmas propriedades do rio não poderão ser medidas igualmente duas vezes (Bunge, idem).

Podemos aprofundar o exemplo do rio imaginando que desejamos mensurar a velocidade da sua correnteza. Para fins didáticos, podemos coletar medidas dessa velocidade repousando sobre a água uma boia e, assumindo que ela se desloca na mesma velocidade da correnteza, inferir tal velocidade pela taxa de variação da posição da boia em função do tempo. A incerteza da medição, produto de um conjunto de dados coletados, decorrerá principalmente de dois fatores aqui. Primeiramente, decorre da idealização de que a velocidade do rio é constante em toda sua extensão e profundidade, assim como que a boia se desloca com a mesma velocidade da água com que ela tem contato, além do fato de que a velocidade do rio varia com o tempo, ou seja, em cada medida coletada, o rio estará com uma velocidade distinta. Fica claro aqui que as idealizações consideradas nos modelos teóricos de referência e auxiliares nas operações empíricas influenciam nas incertezas das medições.

Em alguns casos, a relação entre os modelos teóricos contrastados e os instrumentos de medida são muito diretas. As réguas, por exemplo, medem um construto definido em uma rede de modelos teóricos utilizados para representar objetos e/ou eventos: o conceito de comprimento. Já em outros casos, os instrumentos são concebidos com base em modelos teóricos auxiliares. Para medirmos temperaturas, por exemplo, é comum utilizarmos modelos de dilatação linear para construirmos termômetros de mercúrio, assumindo que a altura do líquido no termômetro é diretamente proporcional à temperatura registrada, o que é uma idealização.

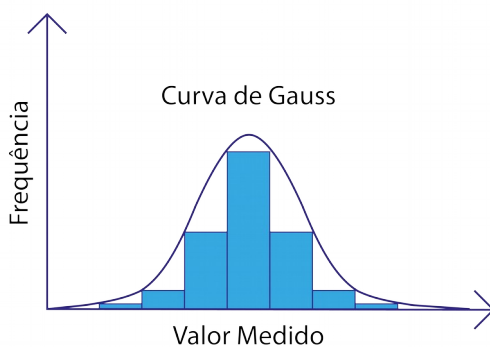
Os instrumentos de medição definem as técnicas que são usadas tanto na medição quanto na experimentação, e elas dependem da natureza do mensurando, do conhecimento disponível, dos requisitos de precisão e da habilidade do operador (Bunge, 2004). Dependendo da técnica de

medição utilizada, ela pode ser direta, quando é feita por meio da comparação direta do mensurando com um padrão ou unidades de uma escala natural, ou indireta, quando o mensurando é inferido da medição de uma outra grandeza correlata a partir de relações estabelecidas em um modelo teórico auxiliar, como veremos adiante.

Mesmo em casos de medição direta, é necessária a admissão de diversos pressupostos, tanto da natureza dos corpos quanto da natureza dos modelos evocados. Por exemplo, a medição do comprimento de um objeto com o uso de uma régua é uma medição direta. No entanto, para a realizarmos essa medição, costumamos supor que o comprimento do objeto é constante, assim como o comprimento da escala registrada na régua. Por outro lado, a medição de uma temperatura com o uso de um termômetro de mercúrio, por exemplo, é indireta. Pressupõe-se no seu uso uma relação entre a altura do líquido no termômetro e a temperatura medida estabelecida em um modelo teórico auxiliar pautado em noções sobre dilatação linear. O que medimos, de fato, em um termômetro de mercúrio é uma altura da coluna de mercúrio; somente de maneira indireta inferimos a temperatura a partir dessa altura. Por isso tudo, segundo Bunge (idem), a medição propriamente dita só começa após o projeto, construção e calibração dos instrumentos necessários.

Como discutido acima, os resultados de qualquer conjunto de medidas, mesmo que cuidadosas, são diferentes, pois os sistemas constituintes desses processos estão submetidos a diversos tipos de perturbações. Para que se absorvam as diferenças individuais e se produza alguma estabilidade, são necessárias representações de séries de dados para uma medição. Se todos os dados forem distribuídos em um histograma, obteremos um padrão de frequência de dados, como exemplificado na Figura 6. Em histogramas de conjuntos de muitos dados pode-se ajustar uma curva normal.

Figura 6: Padrão formado por um conjunto de dados em um gráfico de frequência em função do valor medido.



Tendo em vista que todos os dados obtidos dizem respeito a uma mesma propriedade e foram medidos cuidadosa e precisamente, os erros deverão flutuar em torno de um valor

estatisticamente mais provável. Em uma grande quantidade de valores medidos, a probabilidade dos erros se distribuírem para valores maiores ou menores do que o valor mais provável é igual, de forma que a distribuição dos valores medidos passa a ser simétrica (Lima Júnior, Silva, Silveira & Veit, 2012).

Uma das formas lógicas de representar um conjunto de valores variáveis em um único valor é o uso da média $\bar{m}(\dot{r})$ deles (Bunge, 2004), sendo ela também um conceito estatístico:

$$\bar{m}(\dot{r}) = \frac{m_1(\dot{r}) + m_2(\dot{r}) + \dots + m_n(\dot{r})}{N}$$

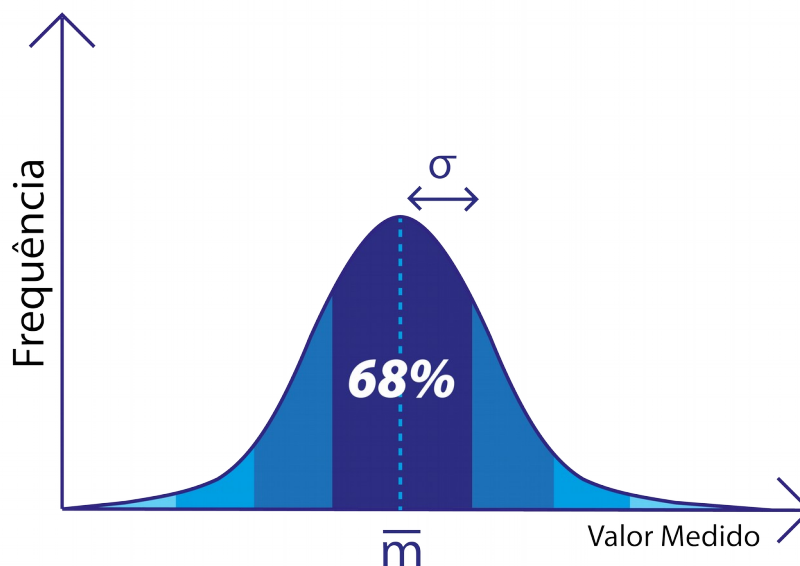
Aqui, $m_n(\dot{r})$ é o n ésimo valor medido do mensurando, e N , o número de dados coletados. Em um conjunto de medidas, toma-se o valor médio como sendo o valor mais provável de ser medido em outra medição nas mesmas condições, no caso de medições precisas, revisadas e cuidadosas (Bunge, 2004).

Precisamos representar também a variabilidade dos valores medidos, de modo que o valor de uma medição deve ser acompanhado da sua incerteza da seguinte forma:

$$m(\dot{r}) = \bar{m}(\dot{r}) \pm \sigma$$

onde σ é a incerteza da medição. Para um conjunto de dados, costuma-se estimar a incerteza a partir do desvio padrão dos valores medidos. Assim como o valor médio é proveniente do valor mais provável da curva normal, o desvio padrão também é um conceito estatístico proveniente dessa curva teórica, como é ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Representação do desvio padrão e do valor médio de um conjunto de medidas sintetizados em uma curva normal.



Na Figura 7, vemos uma distribuição normal em que está representado o valor médio das medições. O desvio padrão dos dados σ_d é definido de modo que a probabilidade de uma medida qualquer estar entre $\bar{m}-\sigma_d$ e $\bar{m}+\sigma_d$ é de 68%, enquanto que a probabilidade de estar entre $\bar{m}-2.\sigma_d$ e $\bar{m}+2.\sigma_d$ é de 95%. Visto que, quando calculamos a média de um conjunto de dados, diluímos dados anômalos, em um histograma em que representamos médias de conjuntos de dados no lugar dos dados isoladamente, temos uma distribuição mais concentrada em torno do valor mais frequente no gráfico. Desse modo, considerando que também podemos representar a distribuição das médias dos dados com uma curva normal, essa curva apresentará uma variabilidade menor, com desvio padrão menor. Chamamos o desvio padrão do histograma contendo médias dos conjuntos de n dados de desvio padrão da média, e pode-se demonstrar que esse desvio padrão é igual ao desvio padrão dos dados dividido pela raiz quadrada de n . Costuma-se assumir que a incerteza provável de uma medição experimental é de um desvio padrão da média, porém podendo ser aumentada a sua precisão com o uso de dois desvios padrão (mais detalhes podem ser consultados em Lima Junior & Silveira, 2011).

A incerteza de uma medição pode ser calculada de três formas: por meio da precisão do instrumento de medição, por meio do cálculo do desvio padrão ou pelas incertezas propagadas quando uma grandeza é inferida a partir de outras das quais conhecemos suas incertezas (Lima Júnior *et al.*, 2012). A primeira é utilizada principalmente quando não temos a oportunidade de coletarmos mais de uma medida. Para mais detalhes, consultar Lima Junior & Silveira (2011).

Concluindo, Bunge (2004) discute que o processo de medição passa por uma cadeia de processos e operações teóricas e empíricas para a obtenção de um valor de medição, podendo ser resumidos em: *i)* Concepção clara do mensurando e dos objetivos da medição amparados em um modelo teórico; *ii)* Objetificação do mensurando utilizando conceitos e modelos bem estabelecidos; *iii)* Concepção de uma escala de medição e realização de uma escala material baseada nessa escala teórica; *iv)* Projeto e construção de um equipamento de medição; *v)* Contratação e correção do equipamento por meios empíricos; *vi)* Medição; *vii)* Normalização dos dados amparados em uma teoria de modo que eles se tornem comparáveis; *viii)* Sistematização dos dados por meio de gráficos e tabelas; *ix)* Avaliação e exclusão de dados anômalos; *x)* Cálculo do valor médio e do desvio padrão.

3.2. Aspectos da medição que foram explorados em aula

Tendo em vista que o público das atividades desenvolvidas no âmbito desta dissertação eram crianças de 12 anos, escolhemos e simplificamos alguns dos aspectos discutidos pela MDC+ e por Bunge (2004) sobre o processo de medição para a sua exploração em um contexto didático. Passaremos a discutir os aspectos do referencial teórico que foram discutidos em aula e como eles foram traduzidos a fim de serem entendidos pelos estudantes.

O objetivo principal da sequência didática era o de explorar os conceitos de média e incerteza em contextos de medição científica, centralizando neles a discussão dos demais conceitos do campo conceitual da modelagem. Para a exploração desses conceitos, foram utilizados, em diversos momentos, o uso de histogramas. Por meio da análise dos gráficos os estudantes poderiam compreender a necessidade de um valor médio e de uma incerteza que dessem conta das flutuações inerentes ao processo de medição. A discussão dos conceitos de média e incerteza foi feita reforçando-se a concepção de que é desejável que as medições sejam feitas a partir de conjuntos de dados, destacando o caráter estatístico das medições, já que existe uma flutuabilidade inerente aos dados.

Tendo em vista que o conceito de média está inserido na matriz curricular da disciplina de matemática no sétimo ano, o exploramos nas análises de conjuntos de dados a partir dos conhecimentos construídos nessa disciplina. Pôde-se explorar com profundidade a importância deste valor dentro de abordagens epistemológicas, por meio de reflexões sobre as variações inerentes a sistemas macroscópicos que não podem ser controladas ou previstas, e sobre as variações decorrentes das idealizações dos modelos teóricos auxiliares subjacentes aos instrumentos de medição. Para a condução das discussões sobre a variabilidade inerente às medições, por exemplo, foram explorados dados de tempo de reação dos alunos e da professora, buscando-se atribuir um valor de tempo de reação da turma de alunos. Trata-se de um exemplo concreto, cuja variabilidade dos dados é facilmente constatável, evidenciando a necessidade de um valor médio para a representação do conjunto de valores.

Já a discussão de incertezas de medições foi explorada de duas formas: por meio de discussões sobre a precisão de instrumentos de medição e sobre a dispersão de dados, analisada principalmente em histogramas. Sobre a precisão dos instrumentos de medição, exploramos principalmente medidas de comprimento com uma régua. Analisamos a precisão da régua, estimando a incerteza dela como sendo a menor divisão da escala do instrumento de medição, a fim de minimizar a dificuldade enfrentada pelos alunos na determinação numérica da incerteza. Já na discussão sobre a dispersão de dados, destacamos a importância de se analisar a dispersão das medidas de uma mesma grandeza para que possamos avaliar a confiabilidade da medição,

argumentando que a confiabilidade no valor médio da medição diminui conforme a dispersão dos dados for maior. Novamente, nesses pontos, foi destacado que a variabilidade natural dos sistemas macroscópicos e as idealizações provenientes dos modelos utilizados nas medições são a fonte da dispersão dos dados.

Uma das principais discussões sobre dispersão de dados em histogramas se deu na atividade que envolveu a medição de temperaturas, já que tal grandeza, no caso explorado, variava facilmente, pois o ambiente influenciava fortemente no seu valor. Destacamos a importância da análise da dispersão dos dados e da coleta de um conjunto de dados no problema investigado. Essa atividade também possibilitou a discussão sobre o uso de modelos teóricos auxiliares na construção de instrumentos de medição. Tendo em vista que alguns termômetros são construídos usando o modelo de dilatação linear, pode-se conduzir uma discussão de que são necessários o desenvolvimento de teorias e modelos antes da possibilidade de medições.

Também exploramos fortemente discussões sobre o caráter representacional da Ciência. Procuramos proporcionar uma evolução dos estudantes em suas compreensões de que a Ciência se desenvolve a partir da construção de redes de modelos científicos, ou seja, de representações simplificadas da realidade, e de que podemos representar um mesmo objeto ou evento com diferentes representações. Em uma atividade, exploramos uma imagem de uma pegada de um animal, argumentando que, frente à questão da atividade, ela pode ser representada por um desenho no qual apreendemos apenas duas das suas características: comprimento e largura. Destacamos que, nesse caso, não apreendemos na representação a profundidade da pegada, por exemplo.

Em diversas aulas foi debatido o caráter humano do empreendimento científico, chamando atenção para a necessidade da compartilhabilidade de tudo que é construído na Ciência. Para essas discussões, foram realizadas comparações entre medições compartilhadas por diferentes pessoas, a partir de histogramas dos dados coletados.

Por fim, destacamos que esses conceitos foram explorados essencialmente por meio de discussões iniciadas e concluídas por um encadeamento de perguntas e respostas. Por exemplo, a discussão sobre o caráter representacional da Ciência se iniciou com a apresentação de uma imagem e a pergunta “*O que essa imagem nos informa?*”, seguida de novas perguntas baseadas nas respostas dos estudantes como “*Essa imagem é a única forma que podemos representar uma pegada?*”, dando sequência até alcançarmos uma resposta para a questão geradora da atividade de modelagem.

4. Metodologias de Ensino e de Pesquisa

Esta pesquisa foi conduzida no contexto de aulas de Ciências em uma turma de sétimo ano do Ensino Fundamental de uma escola particular da cidade de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul. As aulas de Ciências que fazem parte dessa dissertação foram lecionadas pela própria pesquisadora, em um total de 9 horas-aula. Além disso, a pesquisadora realizou 15 horas-aula de observação para familiarização do contexto. Os resultados das observações e das aulas estão dispostos no capítulo “Resultados”. Para o desenvolvimento das aulas e da pesquisa, adotamos metodologias de ensino e pesquisa alinhadas, respectivamente, com a MDC+ e com estudos de caráter qualitativo. Nas próximas seções elucidamos essas metodologias.

4.1. Estrutura das atividades: proporcionando situações sobre medição científica a partir da perspectiva da modelagem científica

Para um delineamento epistemologicamente coerente da sequência didática, desenvolvemos as atividades fundamentados na MDC+, especificamente no que se refere ao processo de medição científica. Tendo em vista que a aplicação da sequência didática se deu em agosto de 2021, no contexto de uma pandemia global de COVID-19, as atividades contaram com restrições sanitárias, de modo que a metodologia utilizada levou em conta o contexto de aulas híbridas, com possibilidades muito restritas de trabalho experimental, individualmente ou em grupos. Para a familiarização desse contexto e para garantir que as atividades estivessem coerentes com a turma escolhida, realizamos 15 horas-aula de observações nas aulas de Ciências das turmas. É importante ressaltar que as atividades ocorreram nos primeiros meses de regime híbrido nas escolas, de modo que o contexto era de restrições rigorosas. Para melhor compreensão, o Quadro 7 apresenta as etapas decorridas na escola nessa pesquisa e os meses em que elas ocorreram.

Quadro 7: Etapas decorridas na escola e sua organização temporal.

Etapas da Pesquisa na Escola	Número de horas	Período
Observação	15	Junho e Julho de 2021
Atividade “Que animal é esse?”	3	Agosto de 2021
Atividade “Quem é mais rápido no gatilho?”	2	Agosto de 2021
Atividade “Medicando seu pet”	2	Agosto de 2021
Atividade “Faltou bebida no bar!”	2	Agosto de 2021

Pautados na MDC+, defrontamos os estudantes com questões geradoras que possibilitaram um ambiente propício a discussões de caráter epistemológico, relacionadas ao processo de medição científica, assim como para o desenvolvimento de habilidades relacionadas com a validação de modelos científicos e com procedimentos envolvidos no processo de medição (Heidemann *et al.* 2016, 2018; Brandão *et al.*, 2012). A MDC+ preconiza o desenvolvimento das atividades a partir de questões geradoras sobre o mundo real, envolvendo situações sobre objetos e/ou eventos pouco idealizados (Heidemann *et al.*, 2016). Exemplificamos aqui esse tipo de questão com a pergunta geradora da primeira atividade aplicada neste estudo: “*Em um parque público brasileiro, foi encontrada a pegada de um animal desconhecido. O registro possibilita inferir que se trata de um felino potencialmente perigoso. Como você poderia descobrir de que tipo de felino se trata?*”.

Cada atividade foi delineada com enfoque em um aspecto do processo de medição. Na atividade exemplificada, esperávamos que os estudantes refletissem sobre a necessidade de se ter uma representação suficientemente precisa da pata para se construir conclusões sobre a questão geradora. Para isso, derivamos da questão geradora perguntas como: “*O que caracteriza a pegada de um animal?*”, “*Que elementos podem ser desprezados?*” e “*Que informações podem ser inferidas de uma pegada em uma imagem?*”. A partir dessas questões, em permanente diálogo com os estudantes, conclui-se que o formato da pata é característico dos animais. Constata-se, no entanto, que representar a pata considerando apenas o seu formato é insuficiente para o problema proposto, demandando também informações sobre o seu comprimento e largura. Argumentamos nesse debate com os estudantes que, frente aos métodos usados aqui, a profundidade da pegada não é relevante, ou seja, que tal grandeza pode ser desprezada.

Desenvolvemos as atividades em quatro etapas, sendo as três primeiras síncronas e a quarta remota, em horário extraclasse. Em função da situação pandêmica, as regras da escola não autorizavam o fornecimento de instrumentos de medida aos estudantes ou mesmo autorizavam atividades que demandavam movimentações das pessoas em sala de aula. Por isso, com exceção de uma atividade sobre tempo de reação, em que os estudantes realizaram medições nos seus celulares, todas as medições debatidas foram cuidadosamente realizadas e explicadas pela professora pesquisadora, e não pelos estudantes.

Na *primeira etapa das atividades*, ocorria a introdução da questão geradora da atividade, fomentando uma construção de conhecimentos a partir de discussões, perguntas e respostas. No momento inicial, os estudantes eram encorajados a dar suas sugestões para a resolução do problema e, a partir dessa discussão, eram então realizadas novas perguntas que permitam o direcionamento da atividade a uma resolução do problema. Por exemplo, na atividade “*Que animal é esse?*”, cujo planejamento das aulas está disponível no Apêndice A e problematização já foi exposta, a condução

das perguntas e respostas nos levou a apresentarmos a Figura 8 aos estudantes, que representa o formato das pegadas de diferentes animais. A partir dela, foram realizados debates sobre a possibilidade de se chegar em conclusões sobre a autoria de pegada usando apenas essas representações (ilustrações esquemáticas do formato da pata de animais). Destacamos então que os desenhos das patas de animais apresentados são resultados de idealizações sobre as pegadas desses animais, pois os animais, mesmo que da mesma espécie, possuem patas com formas distintas, e essas representações não capturam todas as características das pegadas, como a profundidade, por exemplo. Desse modo, buscamos destacar as limitações de alguns tipos de representações, e que toda representação captura um número limitado de características do mundo real. Com a conclusão de que é pouco confiável tentar identificar o animal apenas pelo formato da pegada e a comparação com a Figura 8, passamos a explorar novas formas de apreender características da pegada, concluindo que o comprimento e a largura dela são úteis para a apreensão de propriedades de uma representação da pegada.

Figura 8: Representação das pegadas de diversos animais apresentada na atividade “Que animal é esse?”



Disponível em <<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/animal-footprints-walking-track-animals-paw-with-vector-28951722>>. Acesso em: 30/07/2020. Tradução própria.

A segunda etapa das atividades se dá pela exploração da grandeza a ser mensurada. No caso da atividade “Que animal é esse?”, exploramos o processo de medição por meio de uma discussão sobre como o comprimento e a largura da pegada pode ser inferido a partir da sua imagem, além de procedimentos de transformação de escala necessários para podermos compartilhar e comparar o

resultado da medição. Apresentamos aos alunos a medição do comprimento da pata registrada em uma foto, assim como o procedimento de conversão do valor medido considerando a escala da figura. Essa apresentação foi feita com um vídeo previamente gravado, de forma que tanto os estudantes presentes quanto os estudantes que assistiam a aula remotamente podiam acompanhar a medição e os cálculos de conversão.

Nos casos da necessidade de tomada de dados complexos ou de difícil visualização, os vídeos foram o ponto de partida para discussões relacionadas à coleta e análise de dados, que era a *terceira etapa das atividades*. No caso aqui exemplificado, o foco estava na fluidez de dados do comprimento da pata investigada coletado por diferentes indivíduos, assim como no uso de histogramas para representar conjuntos de dados. Discutimos ainda como tal uso possibilita uma análise da confiabilidade das medições. Esses debates ocorreram concomitantemente ao processo de construção de um histograma a partir de uma tabela de dados coletados previamente do comprimento da pata por diferentes pessoas. Essa atividade, portanto, tinha como enfoque promover discussões sobre diferenças em medições feitas por diferentes pessoas. Assim, além do objetivo de explorar o caráter representacional do conhecimento (representamos a pata do animal apreendendo suas características principais para o problema atacado), tínhamos a intenção de evidenciar que um conjunto de dados pode ser representado por um histograma.

Finalizando a *terceira etapa das atividades*, era construída uma conclusão sobre o problema gerador. Realizamos o agrupamento e interpretação dos dados analisados anteriormente com o objetivo de responder à questão inicial. No caso exemplificado, comparamos o histograma construído com dados da literatura sobre características de patas de felinos⁶. Para a conclusão, precisamos avaliar os dados obtidos, o intervalo em que as medições se concentraram, a incerteza do instrumento utilizado, o formato da pata, e compará-los com dados da literatura. Por meio dessa solução, são exploradas a importância de se compartilhar o conhecimento científico e do uso de ferramentas de representação compartilháveis, assim como o valor do rigor metodológico em pesquisas científicas, aspectos explorados também pela MDC+.

Concluimos cada atividade desenvolvida com uma tarefa que os estudantes deveriam realizar extraclasse, sendo essa a *quarta etapa das atividades*. Nelas, eles eram questionados tanto sobre aspectos epistemológicos do conhecimento explorado quanto sobre conhecimentos sobre procedimentos de medição. Por exemplo, na tarefa da atividade “Quem é mais rápido no gatilho?”, que será sintetizada na próxima seção e está disponível no Apêndice B, damos grande foco ao conceito de média. Na tarefa extraclasse, então, disponibilizamos aos estudantes uma tabela de dados a partir da qual eles deveriam calcular a média dos dados, assim como argumentar sobre o

6 Utilizamos particularmente os dados disponíveis em Prist et al. (2020).

significado da média dos dados na situação proposta. Desse modo, explorava-se tanto o cálculo de médias quanto o seu papel no processo de medição. Já algumas perguntas exploravam só aspectos da construção e natureza do conhecimento científico, como a Questão 3 da tarefa da atividade “Medicando seu pet”, também sintetizada na próxima seção, em que apresentamos uma pesquisa científica hipotética como situação-problema e os estudantes deveriam justificar suas escolhas sobre quantos dados coletariam, como realizariam a pesquisa e quais procedimentos julgariam importantes no caso explorado. Explora-se nela, portanto, elementos conceituais sobre aspectos próprios da construção do conhecimento científico, particularmente vinculados com a medição científica, como a fluuabilidade de conjuntos de dados e os procedimentos de medição e de análise de dados.

Para a condução dessa pesquisa, desenvolvemos quatro atividades que exploram quatro grandezas físicas diferentes, uma em cada atividade. A partir de quatro questões geradoras, desenvolvemos atividades sobre comprimento, tempo, massa e temperatura. O enfrentamento das atividades propostas previa a mobilização de diferentes conceitos de referência do campo conceitual da MDC+, porém delineamos cada atividade a fim de explorar aspectos específicos da modelagem científica, particularmente aspectos relacionados com o processo de medição. Mais precisamente, a sequência didática está voltada a discussões sobre o papel dos conceitos de média e incerteza no processo de medição. Buscamos, por meio de situações relacionadas com esses conceitos, proporcionar que os estudantes compreendessem o caráter representacional do conhecimento científico, a fluuabilidade de medidas, as implicações do grau de precisão de instrumentos de medida, e a dispersão de valores em conjuntos de dados. As questões geradoras das atividades, assim como seus objetivos gerais, são apresentados no Quadro 8.

No Quadro 8, apresentamos as situações-problema em forma de questões geradoras. Idealizações foram assumidas e conceitos foram mobilizados a partir de perguntas e respostas derivadas da questão geral. Nas próximas seções, expomos sinteticamente alguns dos principais aspectos das atividades implementadas.

Quadro 8: Relação das atividades desenvolvidas e seus objetivos.

Atividade	Número de encontros	Situações-problema	Objetivo Geral: proporcionar situações-problema para que os alunos compreendam...
Que animal é esse?	3	<i>Em um parque público brasileiro, foi encontrada a pegada de um animal desconhecido. O registro possibilita inferir que se trata de um felino potencialmente perigoso. Como você poderia descobrir de que tipo de felino se trata?</i>	...o caráter representacional do conhecimento e que conjuntos de dados podem ser representados por histogramas.
Quem é mais rápido no gatilho?	2	<i>Você é um treinador de um time de Counter-Strike e um de seus atletas não poderá competir. Você tem pouco tempo para decidir o substituto e quer realizar um único teste com os candidatos a ingressar no time. O que você testará nos seus candidatos e como?</i>	...a dispersão de dados experimentais e o significado de médias de conjuntos de dados.
Medicando seu pet	2	<i>O seu animal de estimação foi diagnosticado com vermes. Para tratar essa doença, o veterinário receitou um remédio, porém ele não especificou a dose necessária para o seu animalzinho. Olhando as instruções da bula, você identificou que a dose indicada é proporcional à massa do bichinho, mas você não sabe a massa do seu pet e não dispõe de uma balança para medi-la. Como descobrir qual é a dose necessária para ele?</i>	...que para se escolher instrumentos para medições, é necessário se avaliar a precisão dos instrumentos de medida.
Acabou a bebida no bar!	2	<i>Você é o dono de um bar e, por um descuido seu, acabaram todas as bebidas geladas. Como você poderia gelar as bebidas mais rápido para poder voltar a servir os seus clientes?</i>	...a dispersão de valores em um conjunto de dados.

4.2. Sequência de atividades

A primeira atividade da sequência implementada nesta pesquisa, intitulada “Que animal é esse?”, foi exemplificada na seção anterior. A segunda delas, denominada “Quem é mais rápido no gatilho”, apresentada no Quadro 8 e especificada no Apêndice C, foi desenvolvida para dar enfoque à flutuabilidade característica de medições e ao papel de médias em conjuntos de dados. Exploramos medições de intervalos de tempo, particularmente de tempos de reação, a partir de uma situação sobre a habilidade de jogadores de um jogo virtual de tiros⁷. Por meio de um debate gerado pela questão da atividade, concluímos que a medida do tempo de reação de uma pessoa é um dos indícios rapidamente mensuráveis de que ela pode alcançar bons resultados no jogo de computador analisado. Para a resolução do problema, sugerimos a medição dos tempos de reação dos

⁷ No início da atividade, realizamos uma ampla discussão sobre possíveis relações entre jogos e violência, destacando cuidados para que a prática em jogos não estimule ações violentas entre as pessoas.

participantes a partir de um *site*⁸. A coleta de dados, nesse caso, pôde ser feita pelos estudantes em seus celulares e pela professora em aula por meio da projeção do *site*, o que motivou uma discussão sobre a flutuabilidade dos dados coletados, assim como sobre a inexistência de um valor verdadeiro para a medição do tempo de reação das pessoas. Para a análise de dados, destacamos mais uma vez o papel de histogramas para se representar um conjunto de dados, e iniciamos uma discussão sobre o conceito de média, entendido como uma das formas de representar um conjunto de dados flutuantes em um único valor. Essas questões foram expandidas na medida em que a discussão avançava e em acordo com o nível de compreensão dos conceitos que a turma demonstrava em seus comentários e perguntas. A conclusão se dá pela avaliação das médias dos estudantes e comparação entre eles, assim como pela comparação dos dados coletados com as medições de outros usuários disponíveis no *site*, dando enfoque para a importância do rigor utilizado para a possibilidade de comparação entre dados.

Discutimos o conceito de massa aliado ao objetivo de fortalecer o conceito de precisão dos instrumentos de medida na atividade “Medicando seu pet”, a terceira da sequência. O problema proposto dizia respeito à medição da quantidade de remédio adequada para um animal de estimação. Essa atividade está descrita no planejamento de aula disponível no Apêndice D. Nela, debatemos sobre a precisão dos instrumentos de medida por meio da medição de massas para diferentes fins, destacando a importância de diferentes instrumentos, com diferentes precisões, em cada situação.

Na medição da massa de um animal, que possuem valores da ordem de quilogramas, utilizamos uma balança distinta da usada para a medição da massa de uma dose de remédio, que possui valor da ordem de miligramas. Ambas as balanças foram apresentadas aos estudantes em aula, por meio da realização de medições exemplares, assim como foram discutidas as suas incertezas. Apresentamos em um vídeo curto as medições que dão início à resposta da situação-problema da atividade. Foram medidas as massas de diferentes animais e dosadas as massas adequadas de um remédio hipotético para eles. Na sequência da visualização do vídeo, realizamos uma análise dos dados por meio de um gráfico de dispersão da dose de remédio em função da massa dos animais, construído em aula no software *SciDavis* e a partir de uma tabela, assim como desenvolvemos uma discussão sobre as incertezas dos instrumentos utilizados. Finalizamos a aula por meio da retomada da situação-problema e da construção de conclusões, dando enfoque principalmente às potencialidades de gráficos de dispersão e as suas diferenças em relação aos histogramas discutidos nas outras aulas.

8 Nessa atividade, o site Human Benchmark, disponível em <<https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>>, foi utilizado para se fazer medidas de tempo de reação. No aplicativo, a média das medidas é automaticamente calculada após cinco coletas.

Para a atividade “Acabou a bebida no bar!”, em que perguntávamos como resfriar bebidas com maior rapidez, exploramos o conceito de temperatura. Após o debate inicial por meio das sugestões dos estudantes para a resolução da situação-problema, foi feita uma discussão específica sobre o conceito de temperatura, explicitando especificamente a noção de equilíbrio térmico. Após essa breve explicação e discussão, que se encontra especificada no Apêndice E, a resolução do problema passa a ser a medição de temperatura de soluções que atingem valores abaixo do valor tradicionalmente alcançado por um congelador (misturas de gelo, água, sal e álcool em diferentes proporções) e a análise dessas medições. Apresentamos a medição das temperaturas de possíveis soluções, assim como a explicitação dos processos realizados por meio de um vídeo, em que também discutimos a importância da consideração do objetivo da medição para o delineamento investigativo e do rigor metodológico nas medições assim como a influência do ambiente em medições, especificamente nas que envolvem temperatura. A visualização do vídeo dá subsídios para a discussão e análise de dados coletados previamente e apresentados em aula em forma de tabelas e histogramas. Foi mostrado que, para duas soluções com a mesma proporção de elementos (por exemplo, mesma proporção de água, gelo e sal), medimos valores diferentes de temperatura, ou seja, que existe uma flutuabilidade nas medidas de temperatura das soluções, mesmo no caso em que a medição foi rigorosa. Na análise dos dados, foram discutidos aspectos da representação de medições, assim como sobre a relação entre a confiabilidade nos dados e a dispersão deles, que pôde ser avaliada por meio de um histograma. Além disso, discutimos a diferença entre a coleta de dados com objetivos científicos e feitas apenas para curiosidade, apresentando tabelas com apenas um dado para diferentes soluções para exemplificar a coleta de dados com pouco rigor metodológico. Finalizamos a aula por meio da construção de conclusões para a situação-problema.

Das descrições acima, nota-se que cada atividade tem maior enfoque em um aspecto do processo de medição, assim como um aspecto da modelagem científica. As atividades foram construídas visando um aumento gradual em dificuldade das medições, assim como em sofisticação das discussões epistemológicas. Na Quadro 9, resumimos as atividades em termos dos conceitos do campo conceitual da Física explorados e dos aspectos do processo de medição e de modelagem que demos enfoque.

Quadro 9: Atividades construídas para a realização desta pesquisa.

Atividade	Aspecto do processo de medição explorado	Aspecto sobre modelagem explorado	Conceito de Física explorado
Que animal é esse?	Representação de dispersão de dados	Caráter representacional do conhecimento	Comprimento
Quem é mais rápido no gatilho?	Flutuabilidade de medições e função representacional de médias	Uso de médias para a representação de um valor dinâmico em um valor único	Tempo
Medicando seu pet	Determinação da incerteza de instrumentos de medição	Delineamento investigativo em medições	Massa
Acabou a bebida no bar!	Representação de dispersões de dados e uso da incerteza com indicativo da confiabilidade de uma medição	Delineamento investigativo em medições que exigem grande rigor metodológico e uso de médias e incertezas para a representação de medições.	Temperatura

4.3. Metodologia de Pesquisa

Para respondermos às questões de pesquisa, necessitávamos confrontar os estudantes com situações em que eles precisariam mobilizar conceitos de Ciências com potencial para dar sentido a conceitos da MDC+ relacionados ao processo de medição. A partir disso, buscamos avaliar se os estudantes explicitavam conhecimentos relacionados aos conceitos dos campos conceituais investigados, com enfoque principal nos conceitos de média e incerteza e em concepções sobre construção e natureza do conhecimento científico. Não está no escopo desta dissertação a identificação de invariantes operatórios, por exemplo, dos estudantes participantes da pesquisa. Para acessar os conhecimentos explícitos dos estudantes e atingir os objetivos dessa pesquisa, optamos por estabelecê-la no contexto de aulas de Ciências de uma turma de sétimo ano do Ensino Fundamental em uma escola particular da cidade de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul. Esse nível de ensino foi escolhido por ser o ano em que ocorre o primeiro contato dos estudantes com conceitos de Física na escola, proporcionando um contexto adequado para debates sobre elementos básicos do fazer científico, como é o processo de medição. Destacamos, no entanto, que, frente ao limitado intervalo de tempo envolvido na implementação da sequência didática (nove horas-aula) e ao nível de ensino dos participantes da investigação, não tínhamos a expectativa de que os estudantes alcançassem expressivos avanços em suas concepções epistemológicas. Nossa expectativa, no entanto, era de proporcionar um primeiro passo nas discussões sobre medição científica no contexto investigado, favorecendo os primeiros debates dos estudantes sobre elementos centrais no fazer científico. Escolhemos esse contexto também por ele representar uma

expansão dos estudos pautados na MDC+, já que não existem estudos com esse referencial teórico no Ensino Fundamental.

Conforme mencionado na introdução, as questões de pesquisa são as seguintes:

1. *Como atividades fundamentadas na Modelagem Didático-Científica contribuíram para que os estudantes de Ensino Fundamental ampliassem seus domínios do campo conceitual da modelagem, especificamente evoluindo em seus conhecimentos relacionados com o conceito de medição científica?*
2. *Como situações do campo conceitual da MDC+ particularmente relacionadas com o conceito de medição científica contribuíram para que os estudantes evoluíssem em suas concepções epistemológicas?*

Nosso objetivo, como constatado nas perguntas acima, é responder questões do tipo “*Como?*” e “*Por quê?*” em um contexto de limites pouco definidos. Desse modo, as características deste estudo se alinham com as preconizadas por Yin (2005) para investigações do tipo Estudo de Caso, o que justifica nossa opção por nos fundamentarmos em suas orientações metodológicas.

Os Estudos de Caso, para o autor, podem ser classificados de três formas: *i)* pelo objetivo do estudo; *ii)* pelo número de casos investigados e *iii)* pelo número de unidades de análise. Cada classificação dos estudos de caso tem suas subcategorias (Yin, 2005). Os objetivos do estudo podem ser *exploratórios*, quando buscam levantamento de hipóteses para pesquisas futuras, *descritivos*, quando descrevem um evento contemporâneo, e, por fim, *explicatórios*, quando traçam ligações operacionais relacionadas às proposições do estudo, e precisam ser feitos ao longo do tempo. Quanto ao número de casos, pode-se tratar de pesquisas de *caso único*, apresentando um único caso, ou de *caso múltiplo*, explorando mais de um caso. Por fim, as pesquisas podem ser *holísticas*, com uma unidade de análise, ou *incorporadas*, com mais de uma unidade de análise.

Nessa pesquisa, optamos por realizar um estudo de caso exploratório, holístico e de caso único. Levantamos hipóteses para pesquisas futuras a partir da análise exploratória dos resultados alcançados por uma turma (caso e unidade de análise) ao realizarem uma sequência didática. Por estarmos realizando um estudo de caso exploratório, optamos pelo desenvolvimento como uma investigação holística, analisando a turma (caso) como uma única unidade de análise, avaliando com maior amplitude as implicações das situações proporcionadas nas concepções dos estudantes. Consequentemente, as análises dos dados, ainda que baseadas nas tarefas e falas dos estudantes, são realizadas com base nas evidências da turma como um todo.

No ano em que se deu a pesquisa, a escola contava com duas turmas de sétimos anos, ambas com três períodos de Ciências semanais. Aplicamos todas as atividades em ambas as turmas durante quatro semanas. Na primeira semana, os três períodos semanais das turmas foram utilizados para as atividades; nas demais, utilizamos dois períodos, sendo o outro ministrado pela professora regente da turma. Portanto, a pesquisadora ministrou nove horas-aula durante toda a sequência didática. Além das atividades, realizamos a observação de 15 horas-aula entre as duas turmas em períodos de Ciências para a familiarização da pesquisadora com o contexto de investigação, o que foi muito importante principalmente em função da pandemia de COVID-19 que ocorria no momento em que a pesquisa foi conduzida, implicando modelos de ensino com estudantes presenciais e remotos na escola, assim como restrições de contato tanto com pessoas como com materiais. Especificamente, as atividades ocorreram na escola com limitação de estudantes em sala, uso de máscaras e distanciamento. Os estudantes não podiam compartilhar materiais ou utilizar materiais cedidos pela escola. Esse contexto impossibilitou a realização de trabalhos em grupos e limitou o desenvolvimento de atividades experimentais pelos estudantes. Ressaltamos, portanto, que o contexto desta pesquisa é excepcional, e que essas condições influenciam nos resultados obtidos.

Apenas uma turma entre as duas em que foi aplicada a sequência didática constituiu o caso da pesquisa. A escolha por ela se deu em função do número de tarefas entregues: optamos por investigar o grupo com mais estudantes que entregaram todas as tarefas solicitadas.

O caso escolhido contava com 27 estudantes matriculados, sendo 15 meninos e 12 meninas, com idades entre 12 e 13 anos. Desses estudantes, 21 foram participantes do estudo por meio da assinatura de seus responsáveis a um termo de consentimento livre e esclarecido (disponível no Apêndice F), assim como os estudantes assinaram um termo de assentimento livre e esclarecido (disponível no Apêndice G). Nesses termos, tanto os estudantes como os responsáveis são informados sobre o caráter da pesquisa e sobre os princípios éticos que a sustentam, garantindo a não divulgação de suas identidades e o uso dos dados obtidos apenas para fins acadêmicos. Seis estudantes da turma não participaram da pesquisa devido à falta de assentimento dos responsáveis, de modo que as suas tarefas e as suas participações em aula não são utilizadas como dados nessa pesquisa. Para garantir o sigilo da identidade dos participantes, eles são denominados como Estudante 1, Estudante 2, etc.

Desenvolvemos e aplicamos os procedimentos de coleta de dados baseados em critérios que, de acordo com Yin (idem), certificam a qualidade de uma pesquisa qualitativa. Para ele, devemos garantir validade do construto, confiabilidade e validade externa, o que pode ser garantido por meio de variabilidade de fontes de evidência, descrições detalhadas e representatividade do caso escolhido.

Para garantir validade do construto, as questões de pesquisa devem ser respondidas por meio dos dados coletados, o que pode ser garantido, principalmente, pelo uso de diversas fontes de dados e por meio de triangulação das fontes na análise de dados (Yin, 2011). Para isso, foram utilizadas quatro fontes de dados: o diário de bordo da professora, gravações das aulas, respostas das tarefas realizadas pelos estudantes, e gravações de entrevistas com participantes. Para cada instrumento de coleta de dados desenvolvemos perguntas chave que possibilitaram a identificação do sentido e significado atribuídos pelos estudantes aos conceitos que buscamos investigar nessa pesquisa, levando em conta as atividades que seriam desenvolvidas e a faixa etária dos participantes da pesquisa. Nos quadros 10 e 11 estão dispostas as questões-chave de acordo com o conceito e o instrumento utilizado.

Quadro 10: Perguntas chave e instrumentos de coleta de dados utilizados para explorar conceitos relacionados ao processo de medição.

Eixos de análise: sentido e significado do conceito de...	Exemplos de questionamentos aos estudantes	Instrumento de coleta de dados
... média	Por que foi calculada a média dos dados coletados nesta atividade? O que a média nos informa nesse caso?	Gravação em vídeo das aulas
	No caso de conjuntos de dados com valores muito próximos, a média também é útil?	
	Quando queremos medir alguma coisa, o que fazemos?	Entrevista
	O que é a média de um conjunto de dados? Como ela auxilia na representação de todas as medições?	
	O que podemos concluir a partir da média de um conjunto de dados? O que NÃO podemos concluir? (Questão 2 da Tarefa 2, disponível no Apêndice B)	Tarefa de aula
	A partir de um histograma, estime a média dos dados e a sua dispersão. (Questão 2 da Tarefa 4, disponível no Apêndice B)	
... incerteza	Por que é importante levar em conta a incerteza de uma medição?	Gravação em vídeo das aulas
	O que é a incerteza de uma medição experimental? Por que é importante levar em conta a incerteza de uma medição?	
	Por que quando falamos sobre dados em uma conversa informal, não informamos as incertezas?	Entrevista
	Dado certo instrumento de medição, como você determina a incerteza dele?	

No Quadro 10, estão dispostas algumas das perguntas utilizadas para avaliar a evolução dos estudantes nos conceitos do campo conceitual da modelagem, especificamente aqueles relacionados com o processo de medição. Já com as questões do Quadro 11, buscamos identificar elementos das

concepções epistemológicas dos estudantes que possivelmente influenciam no desenvolvimento de conceitos relacionados com o processo de medição.

Todas as aulas que fazem parte da pesquisa foram ministradas pela pesquisadora, que manteve um diário de bordo em que anotava suas percepções das aulas, assim como passagens relevantes. Além disso, as aulas foram gravadas por meio da plataforma utilizada para a transmissão aos estudantes que não estavam presentes em aula, garantindo em sala de aula que as falas dos demais estudantes fossem audíveis na transmissão.

Quadro 11: Perguntas chave e instrumentos de coleta de dados utilizados para explorar aspectos epistemológicos relacionados ao processo de medição.

Eixos de análise: concepção dos estudantes sobre...	Exemplos de questionamentos aos estudantes	Instrumento de coleta de dados
...a natureza do conhecimento científico.	Por que diferentes medições de uma mesma grandeza em uma mesma situação podem resultar em diferentes valores? Como é minimizada essa diferença?	Gravação em vídeo das aulas
	Quais procedimentos podem ser realizados para garantir medições confiáveis?	
	Por que as medições podem ser compartilhadas para todas as pessoas?	Entrevista
	O que você acredita ser o trabalho de um cientista?	
	Por que, para a realização de medições rigorosas, precisamos controlar coisas, construindo uma situação artificial para realizá-las? O que é necessário para que um experimento possa ser bem realizado?	Tarefa de aula
	Por que diferentes medições de uma mesma grandeza em uma mesma situação podem resultar em diferentes valores? Como é minimizada essa diferença?	
...a construção do conhecimento científico	O que dirige uma pessoa quando ela vai realizar uma medição científica? Qual é a influência do cientista nisso?	Gravação em vídeo das aulas
	Um cientista gostaria de replicar os dados realizados por um grupo. Quais são as informações que esse grupo deve fornecer para que o cientista seja capaz de replicar o experimento?	
	Como você realizaria medições no caso de uma pesquisa hipotética? Quais procedimentos são relevantes?	Entrevista
	Qual a diferença entre uma medição do dia a dia e uma medição em uma situação científica?	
	Qual a principal diferença entre um histograma e um gráfico de dispersão? Qual é o papel que cada um pode exercer na análise de uma medição?	Tarefas de aula
	Como você realizaria uma medição confiável? O que determina a sua confiabilidade?	

Ao final de cada semana, disponibilizamos de forma *online* tarefas que os estudantes deveriam responder em horário extraclasse com questões relacionadas tanto às suas concepções

sobre processo de medição científica quanto às suas concepções sobre a construção do conhecimento científico vinculadas ao processo de medição. Construimos as tarefas com dificuldade crescente, de modo que permitissem avaliar o processo de compreensão e evolução das concepções apresentadas pelos estudantes. Nelas, adicionamos questões que eram voltadas a compreender as habilidades que os estudantes desenvolveram, como se pode ver na Questão 2 da Tarefa 1 (disponível no Apêndice B), em que solicitávamos que eles determinassem o comprimento de um objeto e a incerteza do instrumento de medição apresentado. Também adicionamos questões que possibilitaram a avaliação da evolução dos estudantes em suas concepções a respeito do processo de medição, em que questionamos em três tarefas os procedimentos que acreditavam ser necessários em uma pesquisa hipotética (Questão 3 das tarefas 1, 2 e 4, disponíveis no Apêndice B). Responder aos questionários era uma tarefa obrigatória na disciplina, usada na avaliação formal das atividades, porém isso não garantiu que todos os estudantes os respondessem, de modo que o número de respostas por tarefa é variável.

Após o fim da sequência didática, procurando diversificar as fontes de evidências, foram realizadas entrevistas com 10 alunos, disponível no Apêndice H. As questões das entrevistas foram divididas em dois blocos, sendo o primeiro sobre os conceitos do processo de medição explorados nas aulas, e o segundo dirigido para avaliarmos concepções dos estudantes a respeito da natureza da Ciência e do processo de medição. A escolha dos estudantes participantes das entrevistas se deu por meio das respostas das tarefas: entrevistamos os estudantes que responderam, no mínimo, a três das quatro tarefas extraclasse da sequência didática. Dois dos estudantes que responderam todas as tarefas não estavam presentes em nenhum dos dias disponíveis para as entrevistas, que foram realizadas na escola.

Para a análise de dados, seguimos as orientações de Yin (2011), que elenca cinco etapas para a análise de dados qualitativos. É importante ressaltar que, por mais que o autor liste as etapas em uma ordem cronológica, pode ser necessário ao pesquisador fluir entre elas, avançando e retrocedendo para que a análise se torne mais compreensível e confiável. As etapas exploradas por Yin (idem), que serão descritas na sequência, são as seguintes: *i) Compilação; ii) Desagrupamento; iii) Reagrupamento; e iv) Interpretações e v) Conclusões.*

A etapa de compilação iniciou com o agrupamento de todos os dados obtidos a partir das diferentes fontes de evidência coletadas ao longo da pesquisa. Nessa fase, foram realizadas as transcrições das aulas e das entrevistas, que estavam em arquivos de áudio, assim como a organização das respostas das tarefas. Essa fase foi importante para apropriação das informações disponíveis e organização do material de forma compreensível e categorizável. A fase de

desconstrução ocorreu por meio da separação e organização dos trechos dos dados pertinentes à pesquisa em tabelas, separadas entre as fontes de dados.

A fase de reagrupamento ocorreu por meio da categorização dos trechos úteis, avaliando as categorias e codificando os trechos em termos delas. Nessa etapa, escolhemos avaliar os dados a partir das categorias “Média”, “Incerteza”, “Construção do Conhecimento Científico” e “Natureza do Conhecimento Científico”. Elas foram escolhidas de modo a possibilitar a análise de concepções dos estudantes relacionadas com o processo de medição e de concepções mais gerais, a respeito de aspectos epistemológicos. Aqui foram categorizados todos os trechos das fontes de dados, sendo que alguns trechos foram agrupados em mais de uma categoria.

A categorização das respostas dos estudantes às tarefas de aula tiveram uma particularidade durante a fase de categorização. Nesse caso, estabelecemos níveis de compreensão para cada questão e categorizamos as respostas dos estudantes nesses níveis. Assim, a análise da evolução e de compreensões dos estudantes foi realizada em termos das tarefas e dos níveis obtidos por eles em questões que foram classificadas de acordo com as categorias acima descritas. É importante destacar ao leitor que a determinação dos níveis, assim como a distribuição das respostas, foi realizada levando-se em conta que os participantes da pesquisa são crianças com idades na faixa dos 12 anos. Assim, realizamos a análise de forma coerente com as expectativas que tínhamos para esse público.

A fase de interpretação ocorreu primeiro em termos das categorias das respostas dos estudantes e, na sequência, triangulando as interpretações realizadas. Quase concomitantemente, foi construída a conclusão, em que analisamos as interpretações realizadas para cada conjunto de dados, assim como as interpretações trianguladas, possibilitando conclusões baseados nas análises, nos objetivos da pesquisa, assim como nos referenciais utilizados.

Seguindo as orientações de Yin (2005, 2011), buscamos encadear evidências durante toda a análise de dados, de forma a estabelecer relações entre elas e as conclusões inferidas. Também buscamos, sempre que possível, sustentar as conclusões com mais de um dado, o que pôde ser feito devido ao estabelecimento de mais de um plano de análise, garantindo a triangulação dos dados. Ainda, como Yin (2005) sugere, a pesquisadora buscou ao máximo a autorregulação, focando nas fontes de evidência para a construção de conclusões, a fim de minimizar a influência das suas concepções, evitando conclusões tendenciosas.

A seguir, apresentamos os resultados da análise dos dados coletados e, por fim, concluimos esse estudo por meio das considerações finais.

5. Resultados

Visando tornar mais clara a exposição dos resultados, dividiremos a apresentação deles em cinco subseções. Na primeira delas, expomos uma síntese das observações feitas no contexto da investigação antes da implementação das atividades sobre medição. As outras quatro tratam dos eixos de análise da investigação, sendo que a segunda e a terceira são relacionadas com os domínios dos estudantes sobre os conceitos de média e incerteza no processo de medição, e as duas últimas são sobre as concepções dos estudantes sobre a natureza do conhecimento científico e particularmente sobre a construção do conhecimento científico. É importante destacar ao leitor que os participantes da investigação são crianças com aproximadamente 12 anos de idade. As análises dos resultados são, portanto, coerentes com as expectativas que construímos para um público com essa idade, que é muito distinta do que esperaríamos encontrar em contextos de Ensino Médio, por exemplo. Portanto, entendemos que as categorias que utilizamos para analisar as tarefas dos estudantes são específicas para esse público, e que precisariam ser ajustadas em outros contextos.

5.1. Observações do contexto de investigação

Realizamos observações no contexto da escola em que foi realizada a investigação durante três semanas entre os meses de maio e junho de 2021. Assistimos aulas de Ciências com o objetivo de se familiarizar com o espaço da pesquisa. Acompanhamos as atividades em duas turmas de sétimos anos do Ensino Fundamental. Foram observações participantes, onde ocorreram intervenções entre a pesquisadora e os estudantes, assim como contato com outros professores e membros da comunidade escolar.

A escola em que a pesquisa foi realizada é católica e se situa em um bairro afastado do centro de Caxias do Sul, inclusive próximo a distritos da cidade. O perfil dos estudantes é formado por crianças pertencentes às classes média e média alta que moram próximas à escola. Esse perfil possibilita que a comunidade se conheça e tenha relações estreitas entre alunos, professores, funcionários da escola e pais de alunos. Durante as observações, identificamos indícios de que as famílias dos estudantes compartilhavam relações pessoais, assim como de que os professores tinham consciência dos vínculos entre os estudantes.

A escola conta com dois turnos de Ensino Básico, onde os estudantes do Ensino Fundamental (Anos Finais) e do Ensino Médio estão alocados pela manhã, e os estudantes do Ensino Fundamental (Anos Iniciais) pela tarde. No geral, cada turma tem a sua sala e cada série tem duas turmas.

A disciplina Ciências é incorporada ao currículo dos estudantes dessa escola a partir do quarto ano, contando com três horas-aula por semana até o nono ano. Até o sétimo ano, porém, o foco dado é específico a temas de Biologia. Durante as observações, o conteúdo ministrado foi o de “Botânica”, e o livro didático seguido previa o início de temas de Física nos próximos meses, iniciando por “Leis de Newton” e, na sequência, tratando de “Escala Termométrica”⁹. Os estudantes demonstraram pouco domínio dos conteúdos ministrados. Por exemplo, em uma aula, a professora perguntou qual tipo de planta possuía uma característica específica. Os estudantes tiveram grandes dificuldades para responder, mesmo procurando a informação no livro.

Observamos que os estudantes estavam bastante habituados com o uso do livro didático nas aulas e que possuíam tanto um livro didático com todas as matérias, assim como um livro de atividades. O livro didático foi utilizado pela professora em diversos momentos, sendo o foco das atividades observadas. Em uma aula, por exemplo, a professora iniciou solicitando que alguns estudantes lessem oralmente determinadas páginas do livro e, na sequência, explicou o que foi lido. A seguir, ela solicitou que eles respondessem a algumas questões do livro, que seriam corrigidas na aula subsequente. Observamos esse perfil em todas as aulas observadas, com poucas modificações entre elas, assim como identificamos que os estudantes estavam familiarizados com esse modelo de ensino e demonstravam atitudes neutras em relação a isso. Além disso, percebemos atitudes positivas dos alunos em relação à professora, demonstrando carinho e apreço por ela.

O modelo de ensino adotado pela professora tornou difícil a observação das atitudes dos estudantes quanto à disciplina, pois eles expressavam poucas opiniões ao longo das aulas. Porém, a participação deles demonstrou uma atitude neutra, em que eles faziam questão de responder às questões oralmente, apesar de existirem momentos de reclamação quando a professora solicitava o registro das respostas das atividades ou a transcrição de textos nos cadernos. Além disso, as discussões entre os estudantes durante a aula não costumavam ser sobre Ciências, e eles não demonstraram indícios de domínio dos conteúdos nas perguntas realizadas pela professora. Em uma correção de atividades, os estudantes também demonstraram dificuldades em procurar informações no livro. Essa situação dizia respeito a uma pergunta que nenhum aluno conseguiu responder e a professora explicou que a informação estava no livro e dedicou um tempo da aula para que eles realizassem a busca, porém os estudantes demonstraram bastante dificuldade em encontrar a informação, principalmente devido à diferença de redação entre o que havia no livro e a questão.

O ano letivo da escola é dividido em trimestres e cada trimestre tem como pontuação máxima o valor 40, com o mínimo para a aprovação sendo 70% da pontuação máxima anual. A avaliação da disciplina de Ciências está dividida entre 2/3 da nota em provas e 1/3 em trabalhos. A

9 O livro didático utilizado nas aulas faz parte do Sistema de Ensino Positivo.

pontuação máxima nas atividades desenvolvidas para a pesquisa era 5, ou seja, essas atividades valiam 12,5% da pontuação total do trimestre.

As turmas de sétimos anos tinham 27 e 28 alunos, com a maioria de meninos em ambas (12 meninas e 15 meninos e 11 meninas e 17 meninos, respectivamente, em cada turma), com 12 anos de idade na média, tendo apenas um aluno entre eles com 14 anos. Tendo em vista que as aulas ocorreram no modo híbrido, com aproximadamente metade das turmas participando de forma presencial e metade de forma remota (alguns optaram por se manterem na forma remota), durante as observações eram permitidos 12 alunos em sala de aula, com as presenças determinadas por rodízio de grupos, de modo que os estudantes sempre conviviam com os mesmos colegas. Os alunos que não estavam em sala deveriam estar presentes em uma sala do *Google Classroom*¹⁰ e poderiam se comunicar com a professora por meio dessa plataforma. Notamos uma baixa participação dos estudantes em ensino remoto. Poucos desses alunos faziam comentários pontuais. Além disso, a participação desses alunos era de difícil entendimento devido ao barulho em sala de aula. Os estudantes apresentaram atitudes negativas em relação ao modelo de Ensino Híbrido, principalmente no momento em que a professora passou a determinar quem ficaria em casa semanalmente, situação que sempre causava atrito em sala, pois todos os estudantes esperavam ficar no regime presencial. A professora realizava a escolha da distribuição dos alunos entre os regimes a partir da ordem de chamada da turma.

As duas turmas observadas apresentaram características muito diferentes, tanto nas relações entre si quanto nas suas relações com a professora, ocorrendo também diferenças entre os grupos presentes. Cada turma tinha dois grupos que revezavam entre ensino remoto e presencial. Na Turma 1, um dos grupos era bastante introspectivo, interagindo pouco com a professora ou entre eles. O outro, que englobava um aluno agitado e popular na turma, costumava ser mais agitado, à exceção de quando esse estudante não estava presente em aula.

Também notamos diferença entre grupos na Turma 2, porém com menos evidência, pois em ambos os grupos os alunos interagem com a professora e se mostravam prestativos na hora de responder às questões e ler trechos do livro. A principal diferença notada foi a agitação de um dos grupos. Nessa turma, notamos uma separação clara entre dois grandes grupos, e que a maioria das meninas demonstrou não interagir com os meninos. Nessa pesquisa, optamos por restringir as análises ao desenvolvimento das atividades na Turma 2, pois essa foi a turma em que mais alunos responderam às tarefas extraclasse.

10 O *Google Classroom* é uma plataforma de educação do conglomerado Alphabet Inc. disponível em: <https://classroom.google.com>. Acesso em: 22/03/2022.

No geral, tanto os estudantes quanto os professores e a escola se mostraram receptivos à pesquisa, em que tivemos grande autonomia no planejamento e desenvolvimento das aulas, assim como nos processos avaliativos. Foram utilizadas 9 horas-aula para o desenvolvimento do trabalho com as turmas.

5. 2. Domínio dos estudantes sobre o conceito de média em uma medição científica

Nesta seção, analisaremos as questões das atividades e trechos de entrevistas e aulas em que foram identificadas evidências relacionadas tanto com o significado e o sentido atribuído pelos estudantes ao conceito de média, como com a capacidade deles de mobilizarem tal conceito em procedimentos em situações de medição. Discutiremos tanto aspectos relacionados com o cálculo de médias quanto com concepções dos estudantes a respeito do papel de médias de conjuntos de dados no processo de medição. Analisamos as questões das atividades de aula por meio da categorização das respostas dos estudantes em quatro níveis crescentes de compreensão. A apresentação dessas categorias será dividida aqui em duas tabelas: uma expondo uma questão que foi inserida, com poucas modificações, em três atividades (Tabela 1), e outra expondo duas questões que envolvem o conceito de média e que não foram repetidas nas tarefas das atividades (uma na Tarefa 2 e outra na Tarefa 4, como consta na Tabela 2). As tarefas eram obrigatórias, porém a quantidade de alunos respondentes variou ao longo da sequência didática, resultando em quantidades diferentes de respostas em cada atividade. O número de estudantes respondentes por atividade e os estudantes que responderam estão descritos no Quadro 12. As respostas dos estudantes nessas questões serão trianguladas com evidências coletadas das gravações das entrevistas e das aulas.

Quadro 12: Estudantes respondentes por tarefa

Tarefa	Número de estudantes respondentes	Estudantes respondentes
Tarefa 1 – referente a atividade “Que animal é esse?”	15	Estudantes 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 21
Tarefa 2 – referente a atividade “Quem é mais rápido no gatilho?”	13	Estudantes 1, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 20, 21
Tarefa 3 – referente a atividade “Medicando seu pet”	16	Estudantes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 21
Tarefa 4 – referente a atividade “Faltou bebida no bar!”	18	Estudantes 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21

No tipo de questão sintetizado na Tabela 1, solicitávamos aos alunos que descrevessem um processo de medição hipotético para uma suposta pesquisa, envolvendo perguntas a respeito da

quantidade de dados que coletariam e dos procedimentos que considerariam necessários. Ainda que essas perguntas demandem uma mesma habilidade relacionada ao conceito de média, possibilitando uma comparação direta de desempenhos em diferentes momentos da implementação didática, elas dizem respeito a uma pesquisa científica hipotética diferente em cada caso (veja as questões 3 das Tarefas 1, 2 e 4 disponíveis no Apêndice B). Essas questões demandam a mobilização do conceito de média, pois a pergunta sobre quantas medições o aluno faria pressupõe que o estudante reconheça a necessidade de um conjunto de dados em uma medição, compreendendo o uso da média como forma de representar esses dados. A Tabela 1 mostra a comparação entre os níveis alcançados pelos estudantes nessa questão nas três tarefas. Consideramos que apenas os estudantes classificados no nível três relacionam a necessidade de um conjunto de dados com o cálculo de médias.

Tabela 1: Classificação das respostas à Questão 3.b das tarefas 1, 2 e 4

Descrição do tipo de questão	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Tarefa	Distribuição das respostas dos estudantes em cada nível			
	O estudante coletaria...					0	1	2	3
	Solicitava-se que os estudantes indicassem quantos dados de uma grandeza coletariam em uma pesquisa hipotética e justificassem a escolha (Questão 3.b das Tarefas 1, 2, e 4, Apêndice B)	... apenas um dado, sem justificar tal decisão	... apenas um dado, por não acreditar ser necessário rigor na pesquisa apresentada	... um conjunto de dados, com a justificativa de que isso proporcionaria um resultado exato		... um conjunto de dados, argumentando sobre a necessidade de se calcular a média deles para representar a grandeza medida	1	6	1
					2	2	1	6	4
					4	3	2	7	6

A Tabela 1 demonstra um aumento no número de estudantes que atingiram o Nível 3 de acordo com a evolução das aulas. Na Tarefa 1, por exemplo, nenhum estudante atingiu o Nível 3. Já nas tarefas 3 e 4, os estudantes que atingiram esse nível deram justificativas como a da Estudante 5 na Tarefa 2, que respondeu: “*Sim [coletaria mais de um dado], seria necessário fazer no mínimo cinco medidas para conseguir fazer a média*”. O Estudante 2, na Tarefa 4, disse: “*Sim [coletaria mais de um dado], porque como é uma medida muito importante e precisa de números precisos, eu realizaria medições até conseguir tirar uma média de temperatura*”, demonstrando maior compreensão a respeito de média e do seu papel em conjuntos de medições. Nas tarefas 2 e 4, os

estudantes também evocaram o conceito de incerteza para justificar a coleta de um conjunto de dados.

Na Tabela 2, estão sintetizadas as outras questões das tarefas que demandavam conhecimentos relacionados com o conceito de “Média”. Cabe destacar que o nível de dificuldade das atividades progredia à medida que avançávamos na implementação da unidade didática. Dessa forma, uma comparação direta entre os desempenhos nas tarefas não seria coerente, tendo em vista que, além de evoluir em dificuldade, as perguntas buscam avaliar aspectos diferentes do conceito.

Tabela 2: Questões que demandam a mobilização do conceito de análise “Média” e categorias utilizadas na análise

Descrição da questão: Solicitava-se que os estudantes...	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Distribuição das respostas dos estudantes nos níveis			
	O estudante foi...				0	1	2	3
1. ... calculassem a média de um conjunto de dados dispostos em uma tabela (Questão 2.a da Tarefa 2, Apêndice B)	... incapaz de calcular a média	... capaz de explicitar os procedimentos para o cálculo da média, porém o realizando de maneira equivocada	... capaz de calcular a média e explicitar os procedimentos realizados, porém cometendo o equívoco de excluir a primeira casa decimal do resultado ¹¹	... capaz de calcular a média e explicitar os procedimentos realizados	5	4	2	3
2. ... determinassem, por meio de estimativa visual ou cálculo, a média e a dispersão de um conjunto de dados a partir de um histograma (Questão 2.b da Tarefa 4, Apêndice B)	... incapaz de inferir informações do histograma	... capaz de estimar a média, mas não a dispersão	... capaz de estimar a média e a dispersão	... capaz de calcular a média e a dispersão	10	1	5	2

Analisando a Tabela 2, podemos notar que ambas as questões solicitavam um cálculo de média, porém a Questão 1 o fazia a partir de uma tabela, e a Questão 2, a partir de um histograma. Na Questão 1, identificamos que nove dos 15 respondentes foram incapazes de calcular corretamente uma média a partir de uma tabela. Os estudantes que se encontram no Nível 2 se

11 Nesse caso, o resultado correto para a média solicitada era 2,044 segundos. Dois estudantes, no entanto, apresentaram o resultado 2,44 segundos, cometendo o equívoco de excluir a primeira casa decimal do valor. Esse equívoco também foi cometido por outros dois estudantes da outra turma em que as atividades foram implementadas (Turma 1), mas que não foram objeto desta pesquisa.

mostraram capazes de calcular a média, porém, na conclusão, apresentaram o resultado com um equívoco (veja a nota de rodapé 11). Apenas três estudantes calcularam satisfatoriamente a média solicitada.

Já na Questão 2, os estudantes demonstraram dificuldades com a manipulação de histogramas, mesmo já tendo contato com o tema na disciplina de Matemática. Esperávamos que os estudantes fossem capazes de, em um nível avançado, calcular a média de um conjunto de dados representados em um histograma e, em um nível intermediário, estimar valores a partir da análise visual desse gráfico. A realização das estimativas por meio do histograma demonstraria que os alunos deram sentido a situações discutidas em aula, quando a professora realizou estimativas a partir de gráficos como esse. Porém, 10 dos 18 alunos respondentes não foram capazes de inferir conclusões pelo histograma, enquanto que seis foram capazes de realizar estimativas da média e/ou dispersão, e apenas dois se mostraram capazes de calcular satisfatoriamente esses valores.

Já nas entrevistas, os estudantes demonstraram relacionar o conceito de média com o uso de gráficos na construção da Ciência. Quando perguntados como gráficos auxiliam na construção da Ciência, cinco dos 10 estudantes argumentaram que eles podem ser utilizados para representar a média ou facilitar o seu cálculo. Um exemplo é o da Estudante 14, que cita a “visualização da média”: “[os gráficos auxiliam na construção da Ciência] *Pra ver a média... pra ver a maioria dos resultados?*”.

Nas entrevistas, com o objetivo de compreender o sentido e o significado que os estudantes deram ao conceito de média e como eles o relacionam com a natureza da Ciência e da pesquisa científica, realizamos perguntas aos estudantes como as seguintes: “*O que é a média de um conjunto de dados?*” e “*Como a média auxilia na representação de todos os dados?*”. Na primeira questão, cinco estudantes explicitaram os conceitos envolvidos em um cálculo de média, enquanto três explicaram o seu sentido em um conjunto de dados. Outros dois destacaram tanto os procedimentos como o sentido dos cálculos de médias. Por exemplo, o Estudante 13 disse: “*A média de um conjunto de dados é mais ou menos o quanto que a pessoa fez nos dados. Por exemplo, tu soma todos e divide pelo número de pessoas, daí vai dar a média*”. Já a Estudante 5, destacando o sentido do cálculo de médias, disse: “[Média é] *Um número que vai determinar vários em só um*”. A Estudante 21 buscou explicar o cálculo, porém o fez de forma equivocada, respondendo: “*Nossa... Eu não entendi muito, mas tipo, seria tantos resultados dividido por dois? Alguma coisa assim?*”. Ela foi a única dos sete alunos que explicitaram o cálculo que não o soube fazer. Para a explicação do cálculo de médias, seis alunos também apresentaram exemplos, como é o caso do Estudante 20, que respondeu: “[A média] *É tu pegar todo o conjunto de dados, né, tipo, tu fez, por exemplo, umas 30 medidas, e somar tudo e dividir por 30, né? [...]*” As respostas nas

entrevistas, assim como as respostas reunidas na Tabela 1, mostram que, com a evolução das aulas, os estudantes refinaram o significado dado ao conceito de média, tanto em relação ao seu cálculo quanto em relação ao seu papel no processo de medição.

A concepção dos alunos sobre o papel da média no processo de medição fica mais clara nas respostas da segunda pergunta sobre média realizada nas entrevistas. A resposta da Estudante 14, que explora uma situação discutida em aula em que a média representava o tempo de reação de um conjunto de pessoas, ilustra o entendimento de nove dos 10 estudantes: “*Eu acho que dá pra ver, mais ou menos, tipo, o tempo de reação de cada idade*”. A opinião dela de “ver mais ou menos” demonstra uma relação criada entre média e representação do conjunto de dados. Essa concepção só não é compartilhada pela Estudante 17, que não foi capaz de responder à pergunta.

A resposta da Estudante 14, que evoca o tempo de reação, é representativa dos exemplos apresentados por outros cinco estudantes nas entrevistas. Esses estudantes demonstraram que a discussão sobre tempo de reação desenvolvida na Atividade “Quem é mais rápido no gatilho?” proporcionou situações para que dessem sentido ao conceito de média. Essa foi a aula em que a professora deu mais foco a esse conceito. A conceitualização feita pela professora, assim como a relação dela com os alunos, pode ser exemplificada pela seguinte passagem, que ocorreu durante a Aula 2:

Professora: *O nosso valor de tempo de reação vai ser sempre próximo [um dos outros], mas ele não vai ser igual. Como a gente vai fazer pra avaliar quem foi melhor? [o melhor aqui é assumido como a pessoa com menor tempo de reação]*

[burburinhos]

Professora: *Uma forma boa é somar os resultados, como o site fez¹². O site fez uma média. Por que a gente usa uma média quando temos vários resultados?*

Estudante 18: *Pra ficar mais fácil.*

[burburinhos]

Professora: [concordando com uma constatação inaudível] *Exatamente, a gente vai querer uma forma de avaliar os resultados, sem eu ter que olhar para todos.*

Em suma, os estudantes demonstraram compreensão tanto em relação aos seus domínios sobre procedimentos para cálculos de médias quanto em relação à compreensão a respeito do seu papel no processo de medição. Apesar disso, as questões das tarefas mostraram que os estudantes tiveram dificuldades em calcular médias tanto a partir de tabelas quanto a partir de histogramas, com maiores dificuldades em cálculos a partir de gráficos. As entrevistas, porém, demonstram que, ao final das aulas, o cálculo das médias assim como descrições do papel das médias em um processo de medição por parte dos estudantes já se mostrava mais sofisticada, apresentando, portanto, evolução por parte dos estudantes sobre esse conceito.

12 Nessa atividade, o site Human Benchmark, disponível em <<https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>>, foi utilizado para se fazer medidas de tempo de reação. No aplicativo, a média das medidas é automaticamente calculada após cinco coletas.

5.3. Domínio dos estudantes sobre o conceito de Incerteza em medições científicas

Nesta seção, discutiremos as questões das atividades e trechos de entrevistas e aulas em que foram identificadas evidências relacionadas tanto com o sentido e o significado dado pelos estudantes ao conceito de incerteza, como com a capacidade deles de enfrentarem situações que demandam a mobilização desse conceito. Abordaremos tanto aspectos envolvidos na estimativa da incerteza de instrumentos quanto na concepção dos estudantes a respeito do seu papel em um conjunto de dados e no processo de medição. Assim como na seção anterior, as questões das atividades de aula foram analisadas por meio da categorização das respostas em quatro níveis, que são descritos na Tabela 3. A quantidade de alunos respondentes em cada tarefa novamente variou ao longo da sequência didática, resultando em quantidades diferentes de respostas em cada atividade. Assim como feito para o conceito de média, os dados coletados nas tarefas serão triangulados com evidências coletadas nas gravações das entrevistas e das aulas. Na Tabela 4 estão sintetizadas as questões das tarefas em que foram explorados conhecimentos relacionados com o conceito de “Incerteza”.

Tabela 3: Questões que demandam a mobilização do conceito de “Incerteza” e categorias utilizadas na análise

Descrição da questão: Solicitava-se que os estudantes...	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Distribuição das respostas dos estudantes nos níveis			
	O estudante foi...				0	1	2	3
1. ... <i>i.</i> medissem o comprimento de um objeto e estimassem a incerteza da medição a partir de uma fotografia do objeto acompanhado de uma régua; e <i>ii.</i> explicassem os procedimentos para a determinação dessa incerteza e a sua importância na medição (Questão 2 da Tarefa 1, Apêndice B)	... incapaz de determinar o comprimento do objeto e a sua incerteza	... capaz de determinar o comprimento do objeto, porém incapaz de estimar a incerteza	... capaz de determinar o comprimento do objeto e a incerteza da medição, mas incapaz de argumentar que a incerteza, nesse caso, determina um limite de precisão imposto pelo instrumento de medição	... capaz de determinar o comprimento do objeto e a incerteza da medição, argumentando que a incerteza, nesse caso, determina um limite de precisão imposto pelo instrumento de medição	3	9	3	0
2. ..., justificando suas respostas, mencionassem um exemplo de uma situação em que a	... incapaz de mencionar exemplos de medições	... capaz de mencionar exemplos de medições, porém incapaz de	... capaz de mencionar exemplos de medições e explicar o uso de	... capaz de mencionar exemplos de medições e relacionar o rigor	6	3	2	2

incerteza de uma medição é importante, e um exemplo em que a medição é feita de forma desprezível, de tal modo que a incerteza das medidas não é importante (Questão 1.b da Tarefa 2, Apêndice B)		discutir o papel das incertezas nelas	incertezas de modo geral, porém sem relacioná-los com o exemplo	da medição com a necessidade de explicitação de incertezas				
3. ... discutissem, a partir das especificações do fabricante de um instrumento de medição: <i>i.</i> se ele é útil para um fim específico, justificando-se; <i>ii.</i> qual é a utilidade do instrumento; e <i>iii.</i> qual é o instrumento ideal para um fim específico (Questão 1 da Tarefa 4, Apêndice B)	... incapaz de determinar se o instrumento é útil no caso especificado e de determinar uma utilidade ao instrumento	... capaz de determinar uma utilidade ao instrumento, porém, no caso especificado, o determina de forma errônea	... capaz de avaliar corretamente a utilidade do instrumento tanto para o caso especificado quanto para um caso geral, porém sem justificar sua resposta	... capaz de avaliar corretamente a utilidade do instrumento tanto para o caso específico como para um caso geral, justificando sua resposta a partir da incerteza do instrumento	12	3	1	2
4. ... explicassem a diferença entre um histograma e um gráfico de dispersão e se ambos são adequados para as mesmas situações (Questão 2.c da Tarefa 3, Apêndice B)	... incapaz de descrever um histograma ou gráfico	... incapaz de explicar relações entre um histograma e um gráfico	... capaz de reconhecer diferenças entre os gráficos, porém sem relacioná-las com a adequação para representar a dispersão de dados	... capaz de explicar que uma das principais funcionalidades de um histograma é representar a dispersão de dados, o que não é tão claro em gráficos de dispersão	4	6	4	2
5. ... inferissem informações de um histograma específico (Questão 2.a da Tarefa 4, Apêndice B)	... incapaz de inferir informações a partir do gráfico	... capaz de inferir as grandezas tratadas, porém incapaz de discutir seu significado	... capaz de explicar o significado dos elementos do gráfico, porém sem reconhecer que a dispersão dos dados pode ser representada pelo histograma	... capaz de explicar o significado dos elementos do gráfico e reconhecer que o histograma também pode representar a dispersão dos dados	6	4	7	1

Na primeira questão da Tabela 3, demandava-se a estimativa da incerteza de um instrumento de medida (uma régua). Em síntese, os alunos demonstraram não serem capazes de determinar a incerteza. Apenas três dos 15 estudantes respondentes demonstraram essa habilidade, e nenhum deles foi capaz de argumentar satisfatoriamente sobre a estimativa realizada. Aqueles alunos que apresentaram alguma discussão, o fizeram de forma breve e de difícil compreensão, como podemos ver na resposta da Estudante 1: “*Pois em régua, não temos a certeza que é um número infinito.*”

Essa incerteza é importante para sabermos que nem sempre é esse o verdadeiro resultado de um número não exato". Para a análise dessa resposta, também levamos em conta que a estudante não estimou a incerteza da medição, de modo que a justificativa deixa de ser coerente no momento que se percebe que ela utilizou termos utilizados pela professora em aula, mas sem dar significado a eles. Ainda na Questão 1, três estudantes não foram capazes de medir corretamente o comprimento do objeto, mesmo com a fotografia apresentando o objeto colocado ao lado de uma régua com sua extremidade coincidindo com a marcação zero do instrumento.

As questões 2 e 3 apresentam pouca compreensão dos estudantes com relação à sua conceitualização de incertezas, pois, na Questão 2, apenas dois dos 13 respondentes souberam relacionar a importância do uso da incerteza com o rigor da medição, e, na Questão 3, apenas dois dos 18 respondentes foram capazes de justificar o uso de um instrumento de medição com base nos valores apresentados de incerteza.

Já nas questões 4 e 5 avaliamos a capacidade dos estudantes em compreender a dispersão dos dados em histogramas, habilidade que se mostrou pouco presente entre os estudantes. Na Questão 4, 10 dos 15 estudantes respondentes foram incapazes de explicar as diferenças entre gráficos de dispersão e histogramas e, nesse caso, apenas dois estudantes demonstraram reconhecer que os histogramas representam a dispersão dos dados de uma medição. Na Questão 5, um estudante de 18 respondentes demonstrou entender que o eixo das ordenadas de um histograma representa a frequência dos dados, ou seja, como sendo a quantidade de dados dispostos em uma faixa de valores. Dos demais estudantes, sete foram capazes de explicar brevemente o significado dos elementos do gráfico, porém sem deixar clara a relação entre a frequência e a dispersão dos dados. Quatro apenas explicitaram as grandezas envolvidas e seis foram incapazes de inferir qualquer conclusão a partir do gráfico.

Durante as aulas, os estudantes demonstraram uma crescente mobilização do conceito de incerteza, além da demonstração de que eles compreendiam a precisão limitada de instrumentos, como demonstra a seguinte passagem da Atividade "Que animal é esse?", em que a professora discutia a precisão de uma régua a partir da medição realizada em aula:

Professora: *Olha só: a gente viu antes, quando os colegas vieram medir aqui [medição de um comprimento com o uso de uma régua], eles ficaram: Ah! É 9,1 cm, é 9,2 cm. Vocês também disseram: eu não concordo que é 9,1 cm. Pode ser 9,2 cm, pode ser 9,1112 cm. Eu posso dizer que [o comprimento] é 9,1759 cm?*

Alunos: *Nossa, sora! Não pode! Depende da pessoa e do que [instrumento] tiver usando.*

Professora: *Mas usando uma régua.*

Alunos: *Dá não.*

Nessa passagem, a fala de diversos estudantes demonstra a surpresa deles com a sugestão da professora de uma medição com precisão de quatro casas decimais, apresentando um

reconhecimento das limitações impostas pelos instrumentos de medição, conhecimento que pressupõe a existência de uma incerteza associada a qualquer medição. A fala dos estudantes também demonstra o reconhecimento da influência do instrumento e da forma de realização da medição. Na sua fala, a necessidade de rigor com as medições também é assumida pelos estudantes, assim como em um acontecimento prévio a essa fala, em que, no momento em que a professora disse o valor do comprimento medido, alguns estudantes fizeram questão de medir novamente e discutiram por alguns instantes a respeito de qual seria o dado mais coerente.

A Atividade “Faltou bebida no bar!”, cujo conceito de Física envolvido era temperatura, também teve discussões a respeito do conceito de incerteza, algumas vezes evocadas pelos próprios estudantes, como demonstra a seguinte passagem:

[enquanto a professora registra no quadro o valor medido da temperatura de uma porção de gelo e sal, igual a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$]

Estudante 8: *Sora, pode tá de -19 a -21.*

Professora: *Exatamente. A incerteza desse termômetro aqui é de 1 grau. Então pode estar entre -19 e -21 $^{\circ}\text{C}$.*

Além disso, ainda na Atividade “Faltou bebida no bar!”, a professora apresentou as imagens de alguns termômetros questionando a turma sobre qual era a incerteza de cada um, e os estudantes demonstraram certa facilidade com essa determinação, como podemos notar na seguinte passagem do diário de bordo:

Na sequência, eu apresentei imagens de diversos termômetros, solicitando que eles dissessem qual é o valor medido por eles e qual é a incerteza dessas medidas. Os alunos demonstraram compreender a determinação da incerteza com o uso de diversos instrumentos de medição, respondendo rapidamente a incerteza adequadamente para a maioria dos instrumentos, tendo dificuldade apenas em um instrumento, em que a escala era de 2 em 2 graus.

Essas passagens mostram que, em aula, os estudantes demonstraram mais facilidade com o conceito de incerteza do que nas atividades, assim como foi notado aumento no uso do termo pelos estudantes em respostas de atividades ao longo da evolução das aulas.

Por outro lado, as respostas das entrevistas demonstram que os estudantes construíram um significado errôneo do conceito de incerteza. Na entrevista, quando perguntados sobre “o que é a incerteza de uma medição?”, seis dos 10 estudantes participantes responderam mobilizando o termo incerteza relacionado à dúvida. A Estudante 21, por exemplo, respondeu: “*Incerteza? É quando tu não tem certeza absoluta de que é tal resultado que deu e tu precisa, tipo, tu vai fazer várias coisas até ter certeza de que é tal resultado*”. Ela demonstra assim considerar que a incerteza é um estado da medição em que há desconfiança do valor. As justificativas dos estudantes para as atividades

discutidas na Tabela 3 também corroboram essa conclusão, como a resposta do Estudante 13 à Questão 2: “[a incerteza é importante] *pois nem sempre as medidas estão exatas*”. Na mesma atividade, a Estudante 1 disse: “[não é necessário apresentar a incerteza] *Pois nem sempre é importante saber os segundos exatos para não se atrasar, porém em uma corrida seria importante*”. Nesses casos, podemos notar que os estudantes reconhecem que o uso da incerteza depende do caso explorado, porém pensam nela como dúvida e falta de clareza, e não como uma grandeza característica de uma medição.

Nas entrevistas, quatro dos 10 alunos demonstraram compreender a estimação da incerteza em um instrumento de medição, assim como a compreensão do seu papel em uma medição. Na questão sobre o que é a incerteza de uma medição, por exemplo, o Estudante 20 respondeu “[A incerteza] *É quando tem, tipo, dá 36 graus, mas pode ser que dê mais ou menos um, né? Pode ser 35, 36 ou 37*”. Além dele, outros estudantes também relacionaram a incerteza com a falta de confiança em determinados valores, porém, para justificar, relacionaram com a existência de um valor exato. O Estudante 3, por exemplo, respondeu: “[A incerteza] *É, por exemplo, a gente tem uma cadeira. Essa cadeira era pra ser feita com 11cm pra cima o escorador dela. 11cm pra cima, mas daí a gente vai lá, mede, e tem 10 e 80. Daí a gente vai lá, mede de novo, tem várias medição. Então, acho que incerteza é quando tu vai medir uma coisa e não é aquilo que é pra ser*”.

As respostas à pergunta “*Por que é importante levar em conta a incerteza de uma medição?*” podem ser agrupadas em duas categorias: cinco dos 10 estudantes compreenderam que a incerteza é importante em medições que exigem rigor científico, e os demais responderam assumindo que incerteza está relacionada com dúvida. No primeiro caso, podemos ver o exemplo do Estudante 20, que respondeu: “*Porque, se a gente não levar em conta [a incerteza], a gente pode pensar, tipo, tu tá com 36 [graus Celsius], daí tem uma incerteza de dois, daí pode tá menos e tu pode tá com febre [...]*”. Essa resposta demonstra que ele deu sentido ao conceito a partir do exemplo utilizado em aula sobre temperatura, em que a professora discutiu a importância da incerteza dos termômetros de medição de temperatura corporal. Esse exemplo foi discutido pelo mesmo estudante também na pergunta sobre o que é a incerteza. Essa situação pareceu ser a mais eficiente para dar sentido ao conceito de incerteza, pois ela foi a mais citada pelos estudantes. O Estudante 9, por exemplo, disse: “*Pode ser que algumas coisas... por exemplo, a gente mediu a febre e, se for um termômetro que tenha dois de incerteza, pode ser meio ruim porque pode ser que a gente esteja com febre ou não*”. Podemos exemplificar uma resposta da segunda categoria com a apresentada pelo Estudante 13, que respondeu: “*Porque é bom, porque você tem que medir várias vezes pra ter um resultado final certo*”. Questionado sobre o que é um “resultado final certo”, ele disse: “*É o resultado que você tem certeza que tá certo. Você fez várias medições e deu o mesmo*”.

resultado”. O estudante expõe assim duas concepções ingênuas a respeito do processo de medição: a de que a incerteza representa dúvida no dado, e a de que a realização de um conjunto de medições tem como objetivo a obtenção de um resultado exato e verdadeiro.

Nas questões que exigem habilidades matemáticas, podemos notar que há uma dificuldade tanto no entendimento das funções que as representações gráficas têm na construção da Ciência quanto no reconhecimento de que a incerteza pode ser representada por um valor, o que pode ser corroborado pelas respostas dos estudantes às entrevistas. A respeito disso, a professora demonstrou acreditar não ter sido capaz de discutir suficientemente os gráficos e tabelas apresentados, além de um desinteresse dos alunos quando o tema era abordado, como relata nessa passagem do diário de bordo referente a Atividade “Que animal é esse?”:

Tentei evoluir a discussão sobre a necessidade de diversos valores, porém não rendeu muito. Os alunos demonstraram certa inquietação a respeito do uso de muitos valores e números, apresentando um pouco da aversão que eles têm da matemática.

O mesmo perfil foi relatado pela professora na Atividade “Medicando seu Pet”, como podemos ver na seguinte passagem:

Na volta do intervalo, eles ainda estavam bem agitados, porém quando eu comecei a explicação, eles ficaram estranhamente silenciosos, nem participando da aula. Assim, a discussão sobre o gráfico acabou sendo expositiva, com algumas participações pontuais dos alunos, mas apenas respondendo perguntas diretas.

Ainda no diário de bordo da Atividade “Que animal é esse?”, a professora relata sobre a insegurança dos estudantes com matemática e a sua dificuldade em relacionar o seu uso com o fazer científico:

Quando passei para a necessidade de realização de um cálculo para a conversão, os alunos se mostraram chateados com a necessidade do uso de matemática, comentando: “agora eu vou precisar saber matemática básica para isso?”. Nesse momento percebi que eles não haviam entendido muito bem o objetivo da aula, focando extremamente na resolução do problema e não compreendendo o processo que estava acontecendo. Durante a explicação sobre a conversão, houve diversas reclamações a respeito da necessidade do uso da matemática.

O descontentamento dos estudantes com a disciplina de matemática e o uso da matemática nas aulas foi algo recorrente, como pode ser visto nas passagens acima, quando a professora recorria ao uso de gráficos ou cálculos os estudantes demonstravam menor interesse na atividade. Isso mostra que os estudantes compartilham uma atitude desfavorável quanto ao uso da matemática,

o que pode ter influenciado na pouca evolução e nas dificuldades que eles demonstraram a respeito da determinação das incertezas e do reconhecimento da dispersão dos dados em histogramas.

Em suma, os estudantes demonstraram pouca evolução com respeito a estimação de incertezas de medições. Além disso, a concepção dominante se manteve aquela que acredita que a incerteza é um estado de dúvida a respeito do conjunto de dados. Pudemos notar que os estudantes, em níveis mais ou menos avançados, relacionam o conceito de incerteza com a concepção ingênua de que todas medições são dirigidas pela intenção de obtenção de valores exatos. Porém, as respostas dos estudantes nas entrevistas evidenciaram fragmentos da concepção científica do processo, evoluindo no sentido de reconhecer que a incerteza existe a partir do instrumento, pois ele apresenta flutuações intrínsecas devido a simplificações da realidade dos modelos relacionados a ele. Identificamos, portanto, que a apropriação dos estudantes desse conceito é lenta, mas que pequenos avanços puderam ser alcançados com a sequência didática desenvolvida.

5.4. Concepções dos estudantes a respeito da Construção do Conhecimento Científico

Nesta seção, a análise dos dados, também pautada pelas respostas em tarefas, entrevistas e falas em aula, terá foco especificamente em aspectos relacionados com a Construção do Conhecimento Científico, abordando concepções a respeito de processos de construção da Ciência, como escolhas realizadas pelos cientistas, o papel dos instrumentos utilizados e das medições, assim como a influência e o motivo dessas escolhas nesse processo. Nas tarefas de aula, que foram novamente analisadas por meio de uma categorização de respostas exposta na Tabela 4, analisamos esses aspectos por meio de perguntas gerais e específicas. Os temas explorados nessas questões são diversos, pois, assim como nas outras questões das atividades, buscamos um aumento gradual do nível de complexidade das tarefas com o desenvolvimento das atividades, assim como se procurou alinhar os temas das questões com os assuntos debatidos em cada aula. As entrevistas e as discussões de aula serão analisadas por meio de transcrições com o fim de triangulação de dados. Abaixo, a Tabela 4 dispõe as questões das atividades que apresentavam aspectos da Construção do Conhecimento Científico, combinado aos níveis apresentados pelos estudantes.

Tabela 4: Questões que demandam a mobilização de aspectos do eixo de análise “Construção do Conhecimento Científico” e categorias utilizadas na análise

Descrição da questão: Solicitava-se que os estudantes...	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Distribuição das respostas dos estudantes nos níveis			
	O estudante foi...				0	1	2	3

1. ... realizassem a medição de uma grandeza utilizando uma unidade de medida arbitrária, convertessem a medição para o Sistema Internacional de Unidades, e discutissem a funcionalidade dessa medição (Questão 1 da Tarefa 1, Apêndice B)	... incapaz de planejar ou realizar processos de medição com unidades de medida arbitrárias	... capaz de planejar e realizar processos de medição com unidades de medida arbitrárias, mas incapaz de realizar conversões entre unidades de medida	... incapaz de planejar e realizar processos de medição com unidades de medida arbitrárias, mas capaz de argumentar que diferentes unidades influenciam na forma como o conhecimento é difundido	... capaz de planejar e realizar processos de medição com unidades de medida arbitrárias e argumentar que diferentes unidades influenciam na forma como o conhecimento é difundido	0	1	6	7
2. ... exemplificassem três situações nas quais a medição de intervalos de tempo é necessária (Questão 1 da Tarefa 2, Apêndice B)	... incapaz de exemplificar medições de tempo	... capaz de exemplificar medições de tempo, porém todos relacionados ao tempo de ações do dia a dia	... capaz de citar um exemplo de medições de intervalos de tempo para objetivos diversos	... capaz de citar três exemplos para a medição de intervalos de tempo para objetivos diversos	2	6	0	5
3. ... exemplificassem: <i>i.</i> uma grandeza que pode ser medida e que não foi citada em aula; <i>ii.</i> e uma medição que realizaram no dia a dia, discutindo a importância da consideração ou não da incerteza dessa medição (Questão 1 da Tarefa 3, Apêndice B)	... incapaz de exemplificar uma grandeza que pode ser medida e de discutir a importância da incerteza de uma medição	... capaz de exemplificar uma grandeza que pode ser medida, porém incapaz de discutir a importância da incerteza de uma medição	... capaz de exemplificar uma grandeza e sua forma de medição, porém discutindo o uso da incerteza com base na existência de um valor exato da medição	... capaz de exemplificar uma grandeza e sua forma de medição e discutir a importância da incerteza de uma medição	2	3	6	5

Na Questão 1 da Tabela 4, buscamos explorar um elemento central da construção do conhecimento: o estabelecimento de unidades de medida compartilháveis. Nessa questão, 13 dos 14 estudantes demonstraram ser capazes de estabelecer e utilizar medidas arbitrárias, e sete desses demonstraram compreender que unidades de medida são necessárias para o bom entendimento no compartilhamento de resultados. A Estudante 6, por exemplo, ao ser perguntada o motivo de a unidade de medida “pés” não ser mais utilizada, argumentou que ela ainda é utilizada, porém mudou com o tempo, sendo padronizada e, assim, se tornando compartilhável: *“Não foi exatamente extinto, pois, exemplo, no Brasil ainda é feito esse tipo de medida, principalmente com os pilotos de avião. Um dos problemas é que a medida pode estar errada, pois no tempo antigo era uma medida diferente da de agora”*.

Na Questão 2, esperávamos que os estudantes exemplificassem situações nas quais medições de intervalos de tempo podem ser necessárias, com o objetivo de avaliar se os estudantes compreendem que medições podem ser utilizadas com diferentes objetivos e de diferentes formas na Ciência. Notamos um padrão nos estudantes, que associaram medições de tempo exclusivamente

com compromissos e atividades, como pode ser exemplificado pela resposta do Estudante 9, que citou os seguintes eventos para ilustrar tempos na sua vida: “*Quando paramos de comer, acabamos a aula e acabamos os temas*”. Seis dos 13 estudantes respondentes apresentaram respostas com tal característica, demonstrando que os estudantes relacionam medições de intervalos de tempo à concepção que utilizam no dia a dia, quando tempos são tratados como momentos do cotidiano. Por outro lado, eles demonstraram uma compreensão básica de medição de tempo, como mostra a seguinte passagem da Atividade “Quem é mais rápido no gatilho?”:

[sobre tempo de reação]

Professora: *E como a gente pode fazer pra medir esse tempo?*

[Silêncio]

Professora: *Hmm... Que coisas que medem tempo?*

Alunos: *Cronômetro, celular...*

Professora: [concordando com os estudantes] *Cronômetro, relógio, ampulheta. Só que vocês acham que o tempo do nosso tempo de reação, a gente vai conseguir medir com um relógio, por exemplo?*

Estudante 2: *Não, por que o tempo é zero vírgula alguma coisa.*

Nessa passagem, os estudantes listam diversos instrumentos de medição de tempo, incluindo instrumentos que medem exclusivamente intervalos de tempo, demonstrando que, por mais que os estudantes tenham apresentado dificuldades com a operacionalização do conceito de intervalos de tempo, eles reconhecem medições de tempo, além de demonstrar conhecerem diferentes instrumentos de medição. Além disso, a fala do Estudante 2 manifesta reconhecimento da limitação de alguns instrumentos de medição para a medição de intervalos de tempo curtos, o que pressupõe o entendimento de que a mesma grandeza pode ser medida com objetivos diferentes e que nesses casos podem exigir diferentes intervalos de tempo.

Nas entrevistas, podemos analisar como os alunos deram sentido ao conceito de medição a partir de mensurações de intervalos de tempo, especialmente quando responderam à seguinte pergunta: “*Vamos supor que a gente quer medir o tempo de reação das pessoas e relacionar com a idade delas. Como você faria essas medições?*”. Seis estudantes apresentaram respostas como a da Estudante 5: “*Provavelmente [construiria] uma tabela primeiro. Eu ia separar o nome e a idade da pessoa. E realizaria com aquele site [ver nota de rodapé 12] que tu mostrou na aula do tempo de reação. Explicaria como seria o experimento e a cada pessoa eu anotaria na tabela qual foi o tempo de reação dela*”. A aluna demonstrou compreender que uma pesquisa ocorre em diversos processos e demonstrou dar sentido à medição de intervalos de tempo a partir da situação apresentada em aula. Os demais quatro alunos sugeriram o uso de cronômetros ou de simples observações. A Estudante 6 respondeu:

Estudante 6: *Primeiro eu acho que eu entrevistaria a pessoa, não sei, pra ver o quão ela pensa rápido ou não. É, eu entrevistaria a pessoa primeiro, pra depois coletar os dados.*

Entrevistador: *Que tipo de dado tu acha que seria útil nessa situação?*

Estudante 6: *Pesquisar sobre o que a... eu não sei... A pessoa tipo, ta, tempo de reação, eu pegaria tipo, minha mãe, minha vó, primeiro com a minha vó, algumas perguntas que nem tu tá fazendo comigo, depois eu faria com a minha mãe, depois eu veria as respostas.*

Esse é um exemplo de um estudante que demonstrou não construir significado ao conceito de tempo de reação e da sua medição, assim como ao uso de medições em uma pesquisa científica, pois quando perguntada sobre medição do tempo de reação, a sua primeira escolha é o uso de perguntas em entrevistas. Nas respostas a essa questão, não houve tendência geral entre os estudantes. Existiram respostas tanto como a da Estudante 5, quanto como a da Estudante 6, assim como respostas que estão entre as duas, como a do Estudante 13, que respondeu: *“Eu pegaria o tempo de reação dela e compararia com várias pessoas da mesma idade e idades diferentes e veria como cada pessoa se sai”*. Sua resposta demonstra traços de compreensão a respeito de medições de tempos de reação e da realização de pesquisas científicas, porém deixa a desejar quanto aos procedimentos que o processo exige.

Na sequência dessa pergunta, questionamos os estudantes quantas medições eles fariam nessa pesquisa, e oito dos nove estudantes que responderam a questão citaram a necessidade de diversas medições. Quando perguntados se haveria diferença entre os procedimentos adotados nas medições entre um caso em que elas são realizadas de forma despretensiosa, por curiosidade, e um caso em que elas são realizadas para fins científicos, os estudantes apresentaram respostas que podem ser exemplificadas pela do Estudante 20: *“É que quando tu tá fazendo por curiosidade, tu não precisa fazer tantas vezes pra entender. Agora, quando tem que fazer um relatório de experimento científico, eu acho que tem que fazer bastante vezes, né? Pra ver ali, fazer as médias e fazer os resultados”*. Essa resposta mostra compreensão a respeito do papel das medições em pesquisas científicas, na qual o estudante reconhece que a pesquisa científica tem maior rigor metodológico e que se pode utilizar a média para representar o conjunto de dados, que apresenta uma flutuabilidade natural. Por outro lado, podemos analisar a resposta da Estudante 21, que diz: *“Curiosidade, duas, no máximo, e, tipo, pra ciência, pra gente ver bem certinho, acho que umas três, quatro, pra ter noção de quanto deu o valor exato”*. Ela apresenta compreensão a respeito do rigor metodológico da pesquisa científica, porém demonstra relacionar o uso de diversos dados com o objetivo de obter um valor exato.

Em algumas situações, os estudantes usaram o termo “resultado correto” ou “exato” para justificar a coleta de mais do que um dado, como no caso da pergunta discutida acima, em que quatro dos 10 alunos respondentes usaram essa expressão. Em alguns casos, pode-se notar que a

resposta significa que o estudante acredita na existência de um valor verdadeiro para qualquer medição, apresentando uma concepção ingênua a respeito do processo de medição. O Estudante 13, por exemplo, ao ser perguntado sobre o que entendia por “resultado final certo”, que foi utilizado por ele em pergunta anterior, disse: “*É o resultado que você tem certeza que tá certo, você fez várias medições e deu o mesmo resultado*”. Já outros estudantes utilizam termos semelhantes, mas dando um significado diferente, como pode ser ilustrado pela fala do Estudante 9:

Entrevistador: *Quantas medições você faria?*

Estudante 9: *Bastante, para ter certeza do cálculo.*

Entrevistador: *O que nesse caso seria certeza do cálculo?*

Estudante 9: *Não seria certeza, seria uma média. Daí eu teria uma média da pessoa e da idade.*

Nesse caso, o estudante usou o conceito de média para destacar que não existe um resultado único ou correto, apresentando uma concepção próxima da científica a respeito do processo de medição, com uma resposta que tangencia a compreensão de que a média pode ser utilizada para representar uma realidade dinâmica com um valor estático. Assim, podemos concluir que o uso da expressão “resultado exato” foi polissêmico entre os estudantes, podendo significar tanto uma concepção ingênua quanto fragmentos de conhecimento científico, em que o estudante ainda mantém uma parcela da concepção ingênua a respeito do processo de medição.

Na Questão 3, avaliamos a familiaridade dos estudantes com medições, solicitando que eles exemplificassem uma forma de medição que não foi discutida em aula e ilustrassem uma situação do seu dia a dia em que realizou uma medição discutindo a importância da incerteza dessa medição. Sete dos 16 estudantes foram classificados no Nível 3, ou seja, demonstraram conhecer diferentes formas de medição, o uso de medições no dia a dia e o papel da incerteza de medições desprezíveis. Apenas dois desses estudantes não foram capazes de responder às perguntas. Dos demais, três demonstraram serem incapazes de discutir sobre as incertezas das medições e seis o fizeram, mas por meio de concepções ingênuas. Assim, podemos notar que, em se tratando de medições utilizadas para fins não científicos, os estudantes se mostraram capazes de enumerar medições e, no geral, discutir que o rigor metodológico está relacionado com a realização de medições acompanhadas de suas respectivas incertezas.

Resumindo, as respostas às questões demonstraram uma evolução em concepções dos estudantes sobre construção do conhecimento científico, que passaram a apresentar fragmentos de compreensão científica a respeito do processo de medição em suas falas. Nas aulas, os estudantes discutiram sobre construção do conhecimento científico principalmente nas respostas que eles

apresentaram às perguntas geradoras, especialmente na primeira aula. A passagem seguinte apresenta algumas respostas dos estudantes a essa pergunta, que trazia um problema sobre como identificar o animal responsável por deixar uma pegada no chão a partir de uma fotografia da pegada (mais detalhes sobre essa atividade estão no Apêndice A):

Professora: *Como tu vai descobrir de que felino se trata?*

Alunos: *Pesquisando.*

[Outros alunos dão risadinhas]

[...]

Estudante 19: *Eu ia tentar pegar uma fórmula pra tentar retratar, pra ver se o animal é de pequeno, médio ou grande porte, né? Pra tentar... Depois tu pegava a pegada dele e ia desenhando mais ou menos como seria pra tu pesquisar depois.*

[...]

Estudante 6: *Tá, eu não sei se faz um pouco de sentido, mas eu ia ver a foto que eu tirei da pegada e observar as garras, tipo o tamanho da pegada, e ia ver as fotos de outros bichos que poderiam estar no lugar onde eu encontrei e ver os bichos que poderiam ser perigosos e comparar.*

Essas respostas foram apresentadas após algum tempo de reflexão, e foi permeada por diversas sugestões. Elas, porém, mostram que, em primeira instância, a tendência dos estudantes é simplificar ao máximo a atividade de pesquisa, apontando procedimentos superficiais, como pesquisar de qual animal se trata. Conforme a discussão evoluiu, os estudantes começaram a apresentar sugestões mais sofisticadas, como a do Estudante 19, que sugere o uso de uma fórmula que descreva a situação, e a da Estudante 6, que analisaria com profundidade a pata e a compararia com informações existentes. Por mais que ainda sejam sugestões simples, os estudantes já demonstram reconhecer aspectos, como o uso de equações e de comparações, da construção do conhecimento científico.

Na Atividade “Que animal é esse?”, surgiu uma discussão por parte dos alunos demonstrando insatisfação quanto à necessidade de realizar mais medições e analisar os dados por meio de representações matemáticas, como discutido na Seção 5.3 e como podemos notar na seguinte passagem. Os estudantes entenderam que a solução do problema gerador era o ponto principal da aula e acreditavam que o problema poderia ter sido solucionado sem a necessidade de um conjunto de dados e análise desses dados:

Professora: *O que o Estudante 3 tinha sugerido pra gente na outra aula? Procurar no Google o tamanho das patas. E a gente vai lá e procura no Google alguma coisa que a gente confie.*

Estudante 1: *Por que a gente não fez isso antes?* [após a primeira medição de comprimento]

A insatisfação dos estudantes pode ser decorrente da cultura na qual eles estão inseridos, marcada pelo imediatismo, em que respostas estão ao alcance de alguns cliques na internet. Assim, eles se mostraram descontentes no momento em que o andamento da pesquisa demandou um prazo

mais longo do que estão acostumados. Com essa constatação, a professora, ao longo das demais aulas, fez questão de chamar atenção para o tempo que a construção de uma pesquisa científica demanda, aspecto que parece ter sido relevante aos estudantes, que nas entrevistas citaram essa mudança com relação a sua concepção sobre o conhecimento científico. A resposta da Estudante 14 exemplifica tal fato:

Entrevistador: *Você acredita que as aulas que tivemos mudaram a sua concepção de ciências em algum ponto?*

Estudante 14: *Sim, principalmente o processo. Eu pensava que o processo das conclusões que se chegavam era muito fácil, sabe, era muito rápido, mas uma vez você falou que você fez uma pesquisa e demorou quase um ano acho, né? E nossa, mudou tudo, porque eu pensava que tu fazia a pesquisa, achava um problema rápido e depois só mandava, mas não, é muito demorado, tem que ter revisão, tem que ter coisa e tal.*

Nas entrevistas, aspectos da construção do conhecimento foram explorados com perguntas como: “*O que você acreditava que um cientista fazia antes das nossas aulas? E o que você pensa agora sobre isso?*” e “*O que você achava que era Ciências antes das nossas aulas?*”. É importante lembrar que as entrevistas foram realizadas exclusivamente ao final das aulas. No geral, os estudantes apontaram que houve uma mudança na sua concepção de Ciências e citaram a amplificação do conhecimento, principalmente em aspectos voltados ao uso da matemática nas Ciências. A resposta do Estudante 13 ilustra essa concepção: “*Eu pensava que [Ciências] era mais corpo humano, essas coisas, tipo corpo humano, células, mas essas aulas eu gostei mais porque não é só corpo humano, tem uma matemática junto, essas coisas*”. Indo ao encontro dessa concepção, a Estudante 14 respondeu: “[Eu achava que um cientista fazia] *Experimentos, sabe, tipo, aqueles negocinhos sabe, que tem... biologia, sabe, estudar as plantas, o corpo humano. Porque até agora foi aquilo que a gente estudou, então eu pensava que era só aquilo. Eram as plantas, o corpo dos seres vivos e Física*”. Todas as respostas dos estudantes, assim como a do Estudante 13 e a da Estudante 14, não apresentam distinção entre a disciplina escolar e a atividade científica, demonstrando que, por mais que eles acreditam ter evoluído nas suas concepções de Ciências, ainda não é clara a diferença entre o que eles fazem em sala de aula e o que é feito pela comunidade científica.

Também foi feita aos estudantes a seguinte pergunta: “*Quando queremos medir algo, o que fazemos?*”. Ela foi utilizada com o objetivo de compreender a concepção dos estudantes a respeito do processo de medição e sobre o papel de modelos auxiliares nas medições. Seis dos 10 estudantes entrevistados evocaram a medição de comprimentos nessa questão. O Estudante 20, por exemplo, respondeu: “*Eu usaria, sei lá, trena, talvez, régua. Medir... É eu acho que seria assim*”. Essa

resposta demonstra que o principal significado dado à medição pelo estudante é a medição de comprimentos. A Estudante 17 evocou o termômetro em uma medição qualquer, respondendo: “*Eu veria como tá o tempo, depois eu pegaria um termômetro, colocaria ali no lugar, e veria quanto tá*”. O Estudante 3 citou diversos instrumentos de medição: “*A gente pega uma trena, pega um instrumento pra medir, acho que é uma coisa assim, e se for questão de tempo a gente tenta fazer uma pessoa correr daqui até o final da sala, a gente bota para cronometrar no celular, quando a pessoa chegar lá a gente para [...]*”. A leve confusão gerada na resposta demonstra que a conceitualização de instrumentos de medição para o estudante ainda não evoluiu para uma concepção sofisticada. Três estudantes responderam que depende do objeto da medição, apresentando maior evolução a respeito do conceito, como por exemplo a Estudante 5, que respondeu: “*A gente pode pegar um instrumento especializado e tentar medir, comprimento, temperatura, e fazer contas se precisar*”.

A respeito da crença sobre a Ciência como prática, emergiu, na Atividade “Que animal é esse?”, uma discussão a respeito do uso de análises sofisticadas em pesquisas científicas. A fala do Estudante 20 é um exemplo de concepções a respeito de Ciência de ponta: “[discussão sobre como descobrir o animal que marcou uma pegada no chão de um parque a partir de uma fotografia da pegada] *Sobre essa pegada ali, mostra a foto pros cientistas profissionais, sei lá, da NASA*”. Nessa passagem, podemos notar a relação que os estudantes constroem entre a Ciência e instituições famosas, como a NASA, demonstrando que eles desconhecem a amplitude da Ciência e a especialização das suas áreas. Nas entrevistas, também se pode notar essa limitação, como podemos ver na seguinte passagem da entrevista do Estudante 3:

Entrevistador: *O que você achava que um cientista fazia antes das nossas aulas?*

Estudante 3: *Eu achava que ele ficava no laboratório olhando uma bactéria, por exemplo, coronavírus, olhando assim, vendo o que ele tinha para descobrir vacina, achava que era isso, que ele ficava estudando, em princípio coisas que já sabia, assim, sabe.*

Entrevistador: *E isso mudou?*

Estudante 3: *Um pouco. Eu sinto que mudou, eu não sei dizer como mudou, mas mudou. Assim, na minha opinião, acho que agora eu vejo diferente na minha visão, mas não sei como explicar.*

Dizendo que o cientista “ficava no laboratório olhando”, o estudante demonstra se aproximar de uma perspectiva empirista, assumindo que os conhecimentos são descobertos por meio da observação. Além disso, ele apresentou dificuldade em apontar qual a mudança na sua concepção sobre a atividade científica, demonstrando mais uma vez que, por mais que os estudantes

tenham demonstrado compreender aspectos da construção do conhecimento científico, eles não foram capazes de atingir uma concepção sofisticada.

Resumindo, os estudantes demonstraram variações nas compreensões em diferentes aspectos da construção do conhecimento científico. Eles indicaram compreensão de que o conhecimento científico é um empreendimento humano e que demanda tempo por se tratar de uma sequência de processos, além de suas respostas tangenciarem a compreensão de que o conhecimento científico é uma representação da realidade, apresentando limitações e incertezas. O aspecto que também pareceu evoluir entre os estudantes é a compreensão de que as medidas, por muitas vezes quantificarem algo da realidade que é representado como constante quando de fato não é, possuem uma fluabilidade natural. Já o reconhecimento de que o ato de medir pressupõe o uso de modelos auxiliares não foi manifestado nas falas e respostas dos estudantes. Por fim, pode-se concluir que os estudantes, no geral, demonstraram pequenas evoluções em suas concepções sobre a construção do conhecimento científico, ainda que fragmentos de concepções ingênuas tenham sido identificados.

5.5. Concepções dos estudantes sobre Natureza do Conhecimento Científico

Nesta seção, discutiremos aspectos epistemológicos relacionados à Natureza do Conhecimento Científico evocados pelos estudantes em suas respostas às tarefas, entrevistas e discussões em aula. Exploramos o que os estudantes entendem ser Ciência, o que é o produto do processo científico, o papel das ciências na sociedade, principalmente o papel do processo de medição nas ciências. Esse eixo de análise também engloba concepções dos estudantes relacionadas a aspectos da modelagem científica que foram discutidos em aula, sendo eles a compreensão de que: *i.* existem diversas formas de se representar um mesmo evento, e de que essas formas versam sobre diferentes aspectos da realidade; *ii.* os produtos da Ciência são representações da realidade e apresentam limitações; *iii.* a dispersão dos dados decorre também dessas limitações, e não apenas de imprecisões de instrumentos; e *iv.* a Ciência é um empreendimento humano e mutável.

As categorias de análise das respostas dos estudantes às questões das tarefas pertinentes a esse eixo de análise são expostas nas tabelas 5 e 6. Na primeira delas, são apresentadas três questões que foram inseridas com pequenas alterações em três tarefas. Na segunda, são sintetizadas duas questões que foram especificamente propostas em apenas uma tarefa cada (nas atividades “Quem é mais rápido no gatilho” e “Faltou bebida no bar!”). Essas categorizações são trianguladas com evidências das gravações das aulas e das entrevistas.

A evolução das concepções dos estudantes sobre a Natureza do Conhecimento Científico foi explorada na Questão 3 das tarefas 1, 2 e 4 (apresentada na Tabela 5 e disponível no Apêndice B),

em que era apresentada uma suposta pesquisa científica e era perguntado: *i.* como poderiam ser feitas as medições para tal pesquisa; *ii.* quantas medidas seriam necessárias e; *iii.* quais procedimentos deveriam ser realizados após a tomada das medições.

Na Tabela 5, podemos perceber uma evolução dos estudantes nas questões 2 e 3. Na Questão 1, 10 dos 12 estudantes respondentes atingiram o Nível 3 na Tarefa 1, enquanto que esse número baixou para dois de 18 na Tarefa 4. Isso pode se dever principalmente ao fato de que os estudantes apresentaram respostas mais completas na Tarefa 1, demonstrando mais interesse, possivelmente por ser novidade. Como na Questão 1 solicitávamos uma discussão levemente mais elaborada, os alunos passaram a responder de forma mais breve nas demais tarefas. Podemos notar esse crescente desinteresse pelas respostas nas tarefas da Estudante 6, que na Tarefa 1, em que a pesquisa hipotética dizia respeito a inferir o animal responsável por uma pegada registrada em uma fotografia, respondeu: *“Primeiro, eu ia ver, pela minha intuição, com que pata ela se parece. Iria usar a régua para medir essa pata, pois com a medida, será mais fácil de entender que pata seria”*. Já na Tarefa 2, em que se buscava avaliar a velocidade de ratos de laboratório, ela respondeu simplesmente: *“eu usaria um cronômetro”*. Na Tarefa 4, em que o objetivo seria avaliar a temperatura de lâmpadas de LED, respondeu de forma tão sucinta quanto na Tarefa 2: *“Iria medir com um termômetro a temperatura mais alcançada”*. As respostas da estudante nas tarefas 2 e 4 possuem justificativas superficiais, além de não explorarem como as medições seriam feitas, apenas explicitando qual instrumento utilizariam.

As respostas à Questão 1 na Tarefa 1, porém, podem apresentar uma concepção geral do que os estudantes acreditam ser necessário em uma medição para uma pesquisa científica. A resposta da Estudante 6, apresentada acima, por exemplo, discute o uso da intuição como primeiro passo da pesquisa, demonstrando uma concepção coerente com a discutida em aula sobre como o conhecimento científico é influenciado pelas escolhas dos pesquisadores. Além disso, ela discute que a medição ajudaria na definição da pata, mas que não seria suficiente. Podemos analisar, também, a resposta da Estudante 5 na Tarefa 1: *“Iria até o local da pata, analisaria o formato dela, e mediria a pata. Usaria um paquímetro, pois com o paquímetro, podemos ter medidas mais precisas”*. Ela demonstra, portanto, compreender a necessidade de precisão em medições científicas. A palavra precisão é utilizada em mais respostas e por outros estudantes, no mesmo sentido utilizado aqui. A resposta do Estudante 20 demonstra um outro possível motivo para a falta de evolução dos estudantes nessa pergunta, pois ele responde evocando procedimentos realizados em aula para a pesquisa sobre a pata do animal: *“Eu marcaria os pontos maiores em todos os lados. Usaria a trena, porque tem mais metros e é mais preciso”*. Apenas a Tarefa 1 apresentou uma

situação discutida em aula, já as demais tarefas têm as perguntas derivadas de uma situação que não foi discutida, o que pode ter sido a fonte de algumas dificuldades nas demais tarefas.

Tabela 5: Descrição das questões e classificação das respostas à Questão 3 das tarefas 1, 2 e 4

Descrição da questão: Solicitava-se que os estudantes...	O estudante...				Tarefa	Distribuição das respostas dos estudantes			
	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3		0	1	2	3
1. ... discutissem como realizariam a medição de uma grandeza em uma pesquisa hipotética (Questão 3.a das Tarefas 1, 2, e 4 Apêndice B)	... foi incapaz de propor uma medição para a pesquisa	... foi capaz de propor a realização das medições, porém não explicita os instrumentos nem os procedimentos realizados	... foi capaz de discutir a realização das medições e os instrumentos utilizados porém não explicita os procedimentos realizados	... foi capaz de discutir tanto a realização das medições quanto os procedimentos em detalhes	1	0	0	4	10
					2	2	2	2	7
					4	2	9	5	2
2. ... descrevessem quantas medições realizariam em uma pesquisa hipotética e justificassem a escolha (Questão 3.b das Tarefas 1, 2, e 4 Apêndice B)	... realizaria apenas uma medição	... realizaria apenas uma medição por acreditar não ser necessário rigor na pesquisa apresentada	... realizaria mais de uma medição na busca por um resultado exato	... realizaria um conjunto de medições e calcularia a média para representar a grandeza medida	1	6	1	8	0
					2	2	1	6	4
					4	3	2	7	6
3. ... descrevessem quais procedimentos realizariam após uma medição em uma pesquisa hipotética (Questão 3.b das Tarefas 1, 2, e 4 Apêndice B)	... foi incapaz de descrever procedimentos de análise de dados	... foi capaz de explicitar procedimentos de investigação científica, porém sem relação com análise de dados	... foi capaz de explicitar procedimentos de investigação científica e análise de dados, porém com discussão incipiente	... foi capaz de explicitar procedimentos de investigação científica e análise de dados detalhadamente	1	2	5	6	1
					2	6	0	3	3
					4	5	2	6	5

Na Questão 2, vemos uma evolução mais expressiva, em que se trata da concepção dos estudantes sobre o uso de conjuntos de dados em uma pesquisa. Na primeira tarefa, sete dos 15 estudantes não realizariam mais de uma medição, principalmente por não acreditarem ser necessário. Já na Tarefa 4, 13 dos 18 alunos respondentes pontuaram que sim, realizariam mais medições, já demonstrando uma evolução. Porém, sete desses realizariam as medições em busca do valor exato. Nessa questão, seis estudantes demonstraram uma compreensão sofisticada, apresentando respostas como a do Estudante 2: “*Sim [usaria mais de uma medição], porque como é uma medida muito importante e precisa de números precisos, eu realizaria medições até conseguir tirar uma média de temperatura*”. Essa resposta demonstra que o estudante, além de compreender

que as medições flutuam e que uma análise mais confiável seria feita por meio da média, compreende que em pesquisas científicas são necessárias medições mais precisas.

A Questão 3 demonstrou um aumento dos estudantes que atingiram o Nível 3, porém não é clara a evolução dos estudantes, pois também houve um aumento de estudantes classificados no Nível 0. Nessa pergunta, também era esperada uma discussão um pouco mais extensa por parte dos alunos e, assim como na Questão 1, esse pode ser o motivo do aumento de estudantes no Nível 0. Nessa questão, porém, podemos perceber aumento no número de estudantes que citam o uso de tabelas, gráficos e média. Como exemplo, podemos analisar a resposta da Estudante 14 na Tarefa 2, em que a pesquisa envolveria a análise da velocidade de ratos: “Fazer uma tabela com resultados que o rato deu [referindo-se à distância percorrida pelo rato], comparar os resultados que o rato deu. Ver quanto tempo em média o rato leva para percorrer a distância”. Aqui, além de demonstrar uma compreensão do uso da média em medições e de representações gráficas como tabelas, a estudante demonstra reconhecer a importância de comparações em pesquisas científicas, apresentando uma concepção mais sofisticada da natureza do conhecimento científico.

As questões da Tabela 6 versam sobre aspectos como o papel representacional da média e dos gráficos, a fluibilidade nos instrumentos de medição e a diferença entre o conhecimento científico e popular.

Tabela 6: Questões que demandam a mobilização de aspectos do eixo de análise “Construção do Conhecimento Científico” e categorias utilizadas na análise

Descrição da questão: Solicitava-se que os estudantes...	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Distribuição das respostas dos estudantes nos níveis			
	O estudante foi...				0	1	2	3
1. ... explicassem a utilidade de uma média para a análise de um conjunto de dados e a necessidade de mais informações para a análise (Questão 2.c da Tarefa 2, Apêndice B)	... incapaz de discutir o uso de uma média	... capaz de discutir o uso de uma média, porém relacionando o seu uso a busca de um valor exato para uma medição	... capaz de argumentar que uma média representa um conjunto de dados	... capaz de justificar que uma média representa um conjunto de dados, mas que mais informações são necessárias para uma análise mais aprofundada	3	0	6	3
2. ... inferissem conclusões a respeito de uma grandeza a partir de um histograma (Questão 2.c da Tarefa 4, Apêndice B)	... incapaz de inferir conclusões a partir do gráfico	... capaz de explicitar o papel da grandeza na situação apresentada, porém incapaz de inferir conclusões a partir do gráfico	... capaz de compreender o papel da grandeza na situação apresentada e de inferir informações do gráfico, porém incapaz de relacioná-los	... capaz de inferir conclusões a respeito da grandeza a partir do gráfico	9	7	2	0

A partir da Questão 1, os estudantes demonstraram uma concepção geral de que a média representa satisfatoriamente um conjunto de dados, em que nove dos 12 estudantes respondentes consideraram útil o uso da média no caso específico. A Estudante 21, por exemplo, respondeu: “*Sim, pois é mais fácil se considerar só a média dos resultados do que todos eles*”. Desses, três estudantes foram capazes de reconhecer que a média é útil, mas há casos em que são necessárias mais informações para conclusões refinadas, como a Estudante 5, que respondeu: “*Não [seria suficiente]. Com a média dos tempos, podemos saber se ela é capaz de correr rápido em pouco tempo, mas precisamos ver se ela pode aguentar longas distâncias, assim precisaria de um novo teste*”. A Questão 4 também trata do caráter representacional do conhecimento científico, porém por meio de um histograma. Nessa questão, porém, os estudantes não se mostraram capazes de compreender que o gráfico seria uma representação do conjunto de medições, além de demonstrarem dificuldades no relacionamento entre os dados apresentados pelo gráfico e a grandeza representada por ele. Dos 18 alunos respondentes, nenhum foi capaz de fazer essa relação, e nove se mostraram incapazes de inferir qualquer conclusão do gráfico. Aqueles estudantes que se mostraram capazes de discutir informações sobre a grandeza, o fizeram como o Estudante 20, que respondeu: “*Porque a temperatura não é suficiente*”. Essas respostas mostram evolução a respeito da compreensão do caráter representacional da média por parte dos estudantes, porém não quando se utiliza gráficos, evidenciando que eles dependem da compreensão do aspecto do processo de medição para relacioná-lo com o seu caráter representacional, quando esse se encontra aplicado em uma situação.

Na Questão 2, apresentávamos um histograma representativo de um conjunto de dados e solicitávamos que os estudantes inferissem conclusões a respeito da grandeza a partir do gráfico, principalmente discutindo se os valores obtidos seriam eficientes em uma determinada situação. Nenhum estudante foi capaz de relacionar os dados do gráfico com a grandeza discutida, demonstrando que eles apresentaram dificuldades em reconhecer que conclusões podem ser inferidas de representações gráficas e que gráficos podem ter sentido físico.

As respostas da Tarefa 4, como as da Questão 2, mostram dificuldades dos estudantes em compreender o conceito de temperatura e de mobilizá-lo em diferentes situações. Isso pode ser decorrência de que essa medição é a mais abstrata das quatro exploradas nas atividades, e exigiu diversas discussões conceituais para o desenvolvimento das aulas. A turma não havia tido contato com nenhum conteúdo de Física até o momento, de modo que as discussões conceituais foram todas feitas pela professora pesquisadora em duas aulas. Acreditamos que essa atividade tenha exigido muita compreensão conceitual específica, de modo que as respostas e o entendimento dos alunos tenham sido influenciadas pela sua falta de conceitualização.

Apesar disso, o diário de bordo mostra que, em aula, os estudantes participaram amplamente, fazendo perguntas sobre o conceito e auxiliando na demonstração experimental. Eles demonstraram estarem cientes da necessidade de medições em momentos diferentes em um experimento, como mostra a seguinte passagem da Atividade “Faltou bebida no bar!”:

[início da experimentação]

Professora: *Agora, o que eu vou fazer? Eu vou colocar essa latinha aqui no gelo, que está a menos 20 graus.*

Estudante 8: *Tem que ver a temperatura dela.*

Professora: *Ah, é! Tem que ver a temperatura dela antes.*

Além disso, eles demonstraram compreender a necessidade da média em uma medição, como mostra a seguinte passagem do diário de bordo: “*Eu perguntei se, quando fazemos uma pesquisa, realizamos apenas uma medição. Os alunos disseram que não e eu ouvi alguns alunos citarem a necessidade de fazer uma média*”. Essas passagens demonstram que, mesmo com pouca evolução nas atividades, os estudantes mobilizaram concepções mais sofisticadas sobre a natureza da Ciência em aula. Porém, quando se passou a discutir os dados e a sua análise, a professora salienta a dispersão da turma, podendo ser mais um fator da sua dificuldade na resposta das questões.

Aspectos da natureza do conhecimento científico também foram explorados em aula, porém a professora relata em seu diário de bordo que as discussões não foram tão frutíferas quanto desejado. Um exemplo é a seguinte passagem da Atividade “Que animal é esse?”, em que ocorreu uma discussão a respeito de representações:

Professora: *Só que o que a gente tem aqui é uma representação de diversas pegadas. O que é uma representação?*

[Vários alunos respondem que é uma imagem]

Professora: *Só imagens são representações?*

Alunos: *Não*

Professora: *O que mais podem ser representações?*

Alunos: *Uma imagem é uma representação.*

Estudante 3: *É uma representação ilustrativa, que nem a gente tem no livro “imagem meramente ilustrativa”.*

Professora: *Nem toda representação é ilustrativa. O que é uma representação ilustrativa? Essa imagem, por exemplo, é uma representação ilustrativa. Ela não pode nos dar muitas informações.*

Sobre essa discussão, a professora destacou: “*Ao buscar discutir sobre representações, os alunos focaram suas respostas em imagens, e não foram capazes de ir muito além disso*”. Na passagem, podemos notar que os estudantes reconhecem que as imagens não são os únicos tipos de representações, porém, a discussão acabou sem aprofundamento. Nas demais aulas, esse assunto foi abordado implicitamente, de modo que o debate que tinha esse foco foi incipiente.

Por outro lado, a fluuabilidade de medições e a necessidade de um conjunto de medições em situações científicas foram bastante discutidos entre os estudantes e a professora. Um exemplo pode ser visto na seguinte passagem da Atividade “Faltou bebida no bar”:

Professora: *Só que no caso em que a gente quer fazer uma pesquisa, uma medida é suficiente?*

Alunos: *Não.*

Professora: *Por quê?*

Estudante 19: *Porque não tem o cálculo exato pra ter uma média.*

[...]

Professora: *Tá gente, olha só, quando a gente pensa como um cientista, a gente vai querer fazer mais de uma medida, pra analisar todas as situações que tu pode analisar.*

Estudante 19: *E o número maior é o que vai dar certo.*

Professora: *Não exatamente.*

Estudante 19: *Não, tipo assim, se tu tem mais vezes aquele lá, o mais correto é aquele lá.*

Essa passagem apresenta a tendência do estudante de considerar valores exatos e corretos em um conjunto de medições, discussão que foi desenvolvida pela professora. Ela destaca em seu diário de bordo “[...] *depois que discuti isso, eu percebi que ele quis dizer que o valor que mais foi medido estaria próximo da média*”, demonstrando novamente a tendência dos estudantes de utilizar o termo “correto”, porém compreendendo que não pode ser utilizado apenas um valor.

Nas entrevistas, foi perguntado aos estudantes “*Você acredita que as aulas desenvolvidas mudaram a sua visão de Ciências?*”. Aqui, os estudantes responderam majoritariamente que sim, justificando-se por meio de mudanças a respeito do processo da Ciência e a respeito dos conteúdos que as Ciências versam. Cinco dos estudantes demonstraram não ter clara a diferença entre a disciplina Ciências e o fazer científico. O Estudante 9, por exemplo, respondeu: “*Mudou, pois eu pensei que ciências era só estudar sobre os animais e tal, sobre o ser humano e as árvores, mas não, aprendi que é mais coisas*”. Dos 10 estudantes respondentes, uma não soube justificar o motivo da sua mudança de concepção. Os demais quatro estudantes apresentaram respostas como a da Estudante 6: “*Sim, mudaram, agora eu tenho mais noção também, que tu falou um pouco sobre o que os cientistas fazem, que eles coletam informações, depois pegam os resultados e fazem bastante coisa, então sim*”. Essa resposta demonstra compreensão a respeito de que a Ciência é um empreendimento humano.

No geral, os estudantes demonstraram concepções parcialmente adequadas a respeito da Natureza do Conhecimento Científico, apresentando ainda fragmentos de uma concepção ingênua sobre o conhecimento científico. A principal evolução dos estudantes se apresentou no quesito de reconhecer que a Ciência é um processo construído com representações, porém ainda nesse quesito os estudantes demonstraram maior facilidade em reconhecer representações imagéticas, deixando a desejar no que diz respeito à multiplicidade de representações que constroem a Ciência.

6. Conclusões

Nesta dissertação, avaliamos potencialidades e limitações do ensino de Física com enfoque na modelagem científica no Ensino Fundamental, particularmente centrado em debates sobre o processo de medição científica. Os resultados da revisão da literatura exposta no Capítulo 2 nos impulsionaram na realização dessa investigação na medida em que evidenciaram potencialidades da exploração do processo de medição com estudantes de Ensino Fundamental, tendo em vista que estudos (e.g. Farris *et al.*, 2019; Kuhn, 2016) mostraram que mesmo alunos de anos iniciais do Ensino Fundamental foram capazes de evoluir em suas habilidades de medição e em suas concepções sobre a construção do conhecimento científico quando participaram de atividades com esse enfoque. Além disso, estudos (e.g. Camargo Filho *et al.*, 2015; Munier *et al.*, 2013; Gomes, 2015) argumentam em defesa da inserção de tópicos relacionados com a medição científica nas aulas de crianças, já nos primeiros contatos que elas tiverem com as Ciências.

Nossa revisão da literatura evidenciou também pouca diversidade em termos de fundamentos epistemológicos relacionados com a medição científica. Interpretamos esse resultado como uma lacuna na área de pesquisa em ensino de Física, justificando a necessidade de novos referenciais epistemológicos com enfoque no processo de medição. Assumimos que a MDC+ tem potencial para amenizar essa lacuna ao passo que ela localiza a medição científica no âmbito das operações empíricas essenciais para a contrastação dos modelos científicos, dando sentido para esse processo dentro da construção do conhecimento científico. Nossa decisão de se apoiar na MDC+ também foi decorrente de resultados de estudos anteriores que mostram que essa teorização tem potencial para amparar tanto o desenvolvimento de habilidades de modelagem como evoluções em concepções epistemológicas dos estudantes. Fomos dirigidos pelas seguintes questões de pesquisa:

1. *Como atividades fundamentadas na Modelagem Didático-Científica contribuíram para que os estudantes de Ensino Fundamental ampliassem seus domínios do campo conceitual da modelagem, especificamente evoluindo em seus conhecimentos relacionados com o conceito de medição científica?*
2. *Como situações do campo conceitual da MDC+ particularmente relacionadas com o conceito de medição científica contribuíram para que os estudantes evoluíssem em suas concepções epistemológicas?*

Para responder à primeira questão de pesquisa desenvolvemos uma sequência didática com quatro atividades sobre a medição de diferentes grandezas físicas, quais sejam: comprimento, tempo, massa e temperatura. Cada atividade era focada em um aspecto do processo de medição. Em todas elas foram explorados os conceitos de média e incerteza no contexto de medições científicas. Identificamos que os estudantes evoluíram principalmente em seus domínios sobre o conceito de média e da relação dela com os demais conceitos do campo conceitual da modelagem científica, como o de experimento, medição e operação empírica. Por outro lado, os estudantes participantes demonstraram dificuldades na aprendizagem do conceito de incerteza nas situações de medição; a turma demonstrou relacionar o conceito com a noção de desconfiança em relação à medição.

Nesse quesito, acreditamos que as dificuldades dos estudantes com o conceito de incerteza podem ser provenientes da abordagem do conceito nas atividades. Existem dois tipos de incertezas que podem ser representadas em uma medição. As incertezas do tipo A são provenientes de flutuações estatísticas de conjuntos de dados e são inferidas a partir de métodos estatísticos após a coleta dos dados. Já as incertezas do tipo B envolvem outros tipos de métodos; são usualmente decorrentes da incerteza do instrumento, e acompanham todos os dados coletados. Ainda que os dois tipos de incertezas sejam conceitual e metodologicamente diferentes, os dois podem ser interpretados como um desvio padrão.

Na sequência didática desenvolvida e implementada, não destacamos as diferenciações entre as incertezas provenientes dos instrumentos de medição e provenientes das flutuações estatísticas dos dados, e algumas vezes as discussões sobre os dois tipos de incertezas surgiram entrelaçadas. A falta de distinção das incertezas pode ser a fonte de algumas dificuldades dos estudantes na evolução do conceito. Assim, em novas aplicações ou em trabalhos futuros se faz frutífera a separação das abordagens. Sugerimos que a adaptação seja feita a partir da discussão dos dois tipos de incerteza abertamente, com a exploração do tipo A nas atividades “Que animal é esse?” e “Quem é mais rápido no gatilho” e do tipo B nas atividades “Medicando seu PET” e “Faltou bebida no bar!”.

Na atividade “Que animal é esse?”, por exemplo, a alteração seria no sentido de dar enfoque à variabilidade estatística entre os tamanhos das patas de animais da mesma espécie em diferentes condições, como de diferentes idades ou que vivem em ambientes diversos, avaliando assim o valor médio que representa a pegada de toda a espécie de animais e o seu desvio padrão. Dessa forma, seria discutida a incerteza do tipo A a partir de um gráfico representando o tamanho da pegada de animais da mesma espécie e o tamanho médio e desvio padrão desse gráfico, o que permitiria a exploração da variabilidade estatística em grupos de informações.

No que tange as incertezas do tipo B, podemos exemplificar a adaptação necessária a partir da atividade “Faltou bebida no bar!”, em que, na aplicação realizada nesta dissertação, exploramos os dois tipos de incertezas em conjunto. O novo enfoque seria dado à incerteza do termômetro determinada pelo fabricante assim como à incerteza proveniente da imprecisão na leitura durante medição de temperatura em termômetros analógicos, discussão que pode ser feita a partir da realização e avaliação de algumas medidas da mesma situação que não apresentam o mesmo valor de temperatura. Nessas adaptações também se tornaria necessário e possível maior enfoque à diferença entre exatidão e precisão, conceitos que foram pouco explorados ao longo das atividades.

Outra adaptação que acreditamos que possa influenciar no entendimento dos estudantes a respeito do conceito de média e representação é a escolha da forma de representar a incerteza de uma medição. Ao longo das atividades foi explorada a incerteza da seguinte forma

$$m(\dot{r}) = \bar{m}(\dot{r}) \pm \sigma$$

, o que representa que o valor medido é uma faixa de valores entre $\bar{m}(\dot{r}) + \sigma$ e $\bar{m}(\dot{r}) - \sigma$.

Porém, a incerteza também poderia ser representada como um conjunto fechado do tipo

$$[\bar{m}(\dot{r}) + \sigma ; \bar{m}(\dot{r}) - \sigma]$$

, o que poderia ser melhor relacionado com o paradigma de conjunto.

Ainda assim, respondendo à primeira questão de pesquisa, concluímos que as atividades baseadas na MDC+ proporcionaram aos estudantes situações com o potencial para contribuir que os estudantes ampliem seus domínios sobre o campo conceitual da modelagem, apesar de significativa parcela dos estudantes não ter demonstrado plena compreensão de elementos do processo de medição, como do papel das incertezas experimentais.

Para respondermos à segunda questão de pesquisa, avaliamos as concepções epistemológicas mobilizadas pelos estudantes quando defrontados com situações principalmente focadas em discussões a respeito da natureza e construção do conhecimento científico. A turma demonstrou concepções epistemológicas relativamente profundas para o nível de ensino que se encontram, reconhecendo aspectos como o caráter representacional do conhecimento científico, o papel da criatividade na construção do conhecimento científico, e o processo científico como um empreendimento humano que demanda tempo e relações sociais e políticas. Nas discussões, os estudantes indicaram compreender a natureza estatística de conjuntos de medições, assim como nas entrevistas realizadas. Alguns estudantes alternaram entre concepções sofisticadas e ingênuas sobre a flutuabilidade de conjuntos de dados e a influência dos modelos científicos nessa flutuabilidade, o que é, segundo Vergnaud, característico dos avanços e retrocessos envolvidos durante o domínio de um novo campo conceitual. No geral, as situações enfrentadas com enfoque no processo de medição

demonstraram grande contribuição na evolução de concepções epistemológicas dos estudantes. Porém, acreditamos que as adaptações sugeridas acima quanto à exploração do conceito de incerteza poderiam influenciar nas evoluções dos estudantes no que diz respeito ao entendimento da natureza e construção do conhecimento científico, proporcionando melhores resultados em termos do domínio dos estudantes sobre esse conceito e suas relações com o processo de modelagem científica.

Ressaltamos que uma importante limitação dos resultados alcançados nesta dissertação é decorrente da forma como os estudantes enfrentaram as situações propostas, que foi em um momento de Ensino Híbrido. Tendo em vista que a aplicação da sequência didática ocorreu durante a pandemia global de COVID-19, as escolas contavam com restrições rígidas a fim de poderem manter um número seguro de alunos em sala de aula presencial. Assim, as situações que os estudantes enfrentaram foram apresentadas apenas em forma de discussão, reduzindo as possibilidades que existiriam caso os alunos pudessem realizar experimentos e medições. Destacamos, porém, que as atividades da sequência didática poderiam ser desenvolvidas sem grandes dificuldades em um contexto de ensino presencial normal, devido à facilidade com que ela poderia ser adaptada para diferentes contextos e a simplicidade dos processos de medição demandados, dado que os aparatos necessários para atividades experimentais são de fácil acesso e manipulação.

Outra importante limitação da pesquisa realizada se refere ao diminuto intervalo compreendido pela implementação da sequência didática. Não é razoável a expectativa de que os estudantes, ainda mais em um nível inicial de escolarização, alcancem grandes avanços em suas concepções epistemológicas em poucas horas-aula. Nossa expectativa, no entanto, era de proporcionar um primeiro passo nas discussões sobre medição científica no contexto investigado, favorecendo os primeiros debates dos estudantes sobre elementos centrais no fazer científico.

Como contribuições desta pesquisa para a área de ensino de Física, podemos destacar que, por meio das atividades realizadas, pudemos mobilizar tanto conceitos físicos como conceitos particularmente vinculados com o campo conceitual da modelagem científica, explorando concepções epistemológicas em um contexto em que esses temas não costumam ser amplamente explorados: o Ensino Fundamental. Além disso, destacamos que os estudantes demonstraram evolução em suas concepções epistemológicas, assim como em suas habilidades de medição relacionadas principalmente ao conceito de média, mesmo com as limitações impostas pelo Ensino Híbrido.

Assim, sugerimos estudos futuros sobre a inserção do processo de medição em outras condições, principalmente com a possibilidade da realização de medições por parte dos estudantes.

Além disso, consideramos que a exploração da abordagem investigada em outros contextos, como em outros anos do Ensino Fundamental e em escolas públicas e/ou periféricas, podem nos ajudar a aprofundarmos o entendimento sobre como a mobilização do processo de medição por parte de alunos de Ensino Fundamental podem auxiliar na ampliação de seus domínios dos campos conceituais da modelagem científica e da Física, assim como no aprofundamento de suas concepções epistemológicas.

Por fim, destacamos que os estudantes demonstraram dificuldades na compreensão da determinação numérica de incerteza de um instrumento de medição, além de associarem incerteza a noção de desconfiança a respeito das medições. Mais estudos se fazem necessários para entender como essa dificuldade pode ser atenuada. Também identificamos uma instabilidade na concepção dos estudantes sobre a construção do conhecimento científico, principalmente em suas concepções sobre a importância do uso de conjuntos de medidas em medições, já que alguns dos participantes evidenciaram entender que tais conjuntos são necessários para se alcançar valores exatos em medições. A exploração do tema em outros contextos pode ser necessária para compreender como essa concepção pode ser estabilizada.

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>
- American Association For The Advancement Of Science. *Science for all americans* - Project 2061. New York: Oxford University Press, 1990. 272 p.
- Apedoe, X., & Ford, M. (2010). The Empirical Attitude, Material Practice and Design Activities. *Science and Education*, 19(2), 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.
- Barolli, E., Eduardo, C., & Marcela, V. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 9(1), 88–110.
- Brandão, R. V. (2012). *A estratégia da Modelagem Didático-Científica Reflexiva para a Conceitualização do Real no Ensino de Física*.
- Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2012). A modelagem científica vista como um campo conceitual. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 507–545. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n3p507>
- Brasil. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, 2018.
- Buffler, A., Allie, S., & Lubben, F. (2001). *International Journal of Science about measurement in terms of point and set paradigms*. 23(789191648), 1137–1156. <https://doi.org/10.1080/0950069011003956>
- Buffler, A., Allie, S., Lubben, F., & Campbell, B. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *Internacional Journal of Science*, 23(11), 1137–1141. <https://doi.org/10.1080/09500690110039567>
- Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009a). The relationship between students' views of the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137–1156. <https://doi.org/10.1080/09500690802189807>
- Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009b). The Relationship between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement. *International Journal of Science Education*, November 2014, 1137–1156. <https://doi.org/10.1080/09500690802189807>
- Bunge, M. (1974). *Teoria e realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.
- Bunge, M. (2010). *Caçando a realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.

- Bunge, M. (2004). *La Investigación Científica: Su estrategia y filosofía*. Barcelona: Siglo XXI Editores
- Camargo Filho, P. S., Laburú, C. E., & Barros, M. A. De. (2015). Para além dos paradigmas da medição. *Ciência & Educação*, 21(4), 817–834.
- Clement, L. (2013). *Autodeterminação E Ensino Por Investigação: Construindo Elementos Para Promoção Da Autonomia Em Aulas De Física*. 334.
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/122808>
- Common core state standards for mathematics*. Common Core State Standards Initiative, 2012.
- 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.
- 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.
- 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*, 0(0), 1–22.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1875514>
- Força, A. C., Laburú, C. E., & Moura da Silva, O. H. (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.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2002). Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. *Science Education*, 86(1), 106–121.
<https://doi.org/10.1002/sce.10013>
- 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.
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2016). Modelagem Didático-Científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no Ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 3–32. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p3>
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2018). Dificuldades e avanços no domínio do Campo Conceitual da Modelagem Didático-Científica: Um estudo de caso em uma disciplina de Física Experimental. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 23(2), 352.
<https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p352>
- 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>
- Hodson, D. (1994) Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313. Recuperado de
<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/21370/9332>

- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- 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>
- Justi, R. (2015). Relações Entre Argumentação E Modelagem No Contexto Da Ciência E Do Ensino De Ciências. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 17(spe), 31–48. <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s03>
- Kapon, S. (2016). Doing Research in School : Physics Inquiry in the Zone of Proximal Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1–26. <https://doi.org/10.1002/tea.21325>
- Koponen, I. T. (2007). Models and modellinh in Physics Education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16 (7), 751-773. DOI: 10.1007/s11191-006-9000-7
- Kuhn, D. (2010). *What is Scientific Thinking and How Does it Develop?*
- Kuhn, D. (2016). What Do Young Science Students Need to Learn About Variables? *Science Education*, 100(2), 392–402. <https://doi.org/10.1002/sce.21207>
- Kuhn, D., Arvidsson, T. S., & Lesperance, 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.
- 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. da, & Sales, D. R. de. (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.
- 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(7–9), 889–917.
- Lima Junior, P. (2012). *O Laboratório de Mecânica*. IF-UFRGS
- Lima Junior, P., Silveira, F. L. (2011). Discutindo os conceitos de erro e incerteza a partir da tábua de Galton com estudantes de graduação: uma contribuição para a incorporação de novas abordagens da metrologia ao ensino de física superior. DOI:10.5007/2175-

7941.2011v28n2p400. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(2), 400–422.

<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n2p400>

- Lin, J. (2007). Responses to Anomalous Data Obtained From Repeatable Experiments in the Laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(3), 506–528.
<https://doi.org/10.1002/tea>
- 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. (2001a). 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>
- Lubben, F., Campbell, B. O. B., Buffler, A., & Allie, S. (2001b). Point and Set Reasoning in Practical Science Measurement by Entering University Freshmen. *Science Education*, 85, 311–327.
- Manz, E., Lehrer, R., & Schauble, L. (2020). Rethinking the classroom science investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(7), 1–27. <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>
- Moreira, M. A. (2002). A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud: o ensino de ciência e pesquisa nesta área. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 7(1), 7–29.
- 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), 1–13. <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>
- NGSS Lead States. 2013. *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press
- Oh P. S.; Oh, S. J. (2011) What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, Philadelphia, 33(8), 1109-1130.
- 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.
- Prist, P. R. Silva, M. X., & Papi, B. (2020) *Guia de Rastros de Mamíferos Neotropicais de Médio e Grande Porte*. São Paulo: Fólio Digital, 247 p.
- 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.
- Sandoval, W. (2014). Science Education's Need for a Theory of Epistemological Development. *Science Education*, 98(3), 383–387. <https://doi.org/10.1002/scce.21107>
- Sandoval, W. A., & Çan, A. (2010). Elementary Children's Judgments of the Epistemic Status of Sources of Justification. *Science Education*, 95(3), 383–408. <https://doi.org/10.1002/scce.20426>
- Santos, B. de S. (2019). *O fim do império cognitivo : a afirmação das epistemologias do Sul*. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788551304914>
- Sasseron, L. H. (2015). Alfabetização Científica, Ensino Por Investigação E Argumentação: Relações Entre Ciências Da Natureza E Escola. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 17(spe), 49–67. <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s04>
- 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.
- 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., & Laburú, 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.
- Silva, S. L., Guaitolini Junior, J. T., Ramos, G. S., & Gama, A. C. (2016). Avaliação do módulo da aceleração da gravidade com Arduino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(2), 619.
<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n2p619>
- Silveira, F. L. da. (2003). Marés, fases principais da Lua e bebês. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(1), 10–29.

- 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.
<https://doi.org/10.1002/tea>
- 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.
- Vergnaud, G. (2009) The theory of conceptual fields. *Human Development*, Basel, 52(2), 83-94, 2009. DOI: [10.1159/000202727](https://doi.org/10.1159/000202727)
- _____. (2013). Por qué la teoría de los campos conceptuales? *Infancia y Aprendizaje*, 36(2), 131-161. [10.1174/021037013806196283](https://doi.org/10.1174/021037013806196283)
- Weber, R., Heidemann, L. A., & Veit, E. A. (2020). Atenuação da luz em meios materiais: Uma atividade de modelagem envolvendo três experimentos didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42(189), 1–18. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0229>
- Yin, R. K. (2005). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. (3a. ed.). Porto Alegre: Bookman.
- _____. (2011). *Qualitative research from start to finish*. New York: The Guilford Press.
- 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.

Apêndice A - Planejamento de Aula da Atividade “Que Animal é Esse?”

QUE ANIMAL É ESSE?

Pergunta geradora: “Foi encontrada a pegada de um animal desconhecido em um parque público brasileiro. O registro da pegada possibilita se inferir que se trata de um felino potencialmente perigoso. Como você poderia descobrir de que tipo de felino se trata?”

Inicialmente, o professor realizará a pergunta problematizadora da aula, projetando ou escrevendo-a no quadro. Acompanhado da pergunta, o professor apresentará a Figura 1, que será considerada como sendo a imagem da pata encontrada. Naturalmente, os alunos poderão sugerir analisar o formato da pata do animal. Com isso, o professor perguntará aos alunos se eles são capazes de identificar a pata de diferentes animais apenas pelo formato. Para contextualizar essa pergunta, o professor mostrará a Figura 2, a fim de mostrar aos alunos que animais da mesma família (e.g. felinos) possuem pegadas muito semelhantes, de modo que pode dificultar a identificação. Para iniciar a discussão do que é necessário para a identificação, o professor então pergunta: “Vocês são capazes de identificar o animal da pegada da foto apenas pelo formato?”. Assim, os alunos perceberão a dificuldade de associar as pegadas com o animal.

Figura 1: Pegada de uma onça.



Disponível em <[https://br.pinterest.com/pin/819795938395793878/?amp_client_id=CLIENT_ID\(\)&mweb_unauth_id={{default.session}}&simplified=true](https://br.pinterest.com/pin/819795938395793878/?amp_client_id=CLIENT_ID()&mweb_unauth_id={{default.session}}&simplified=true)> Acesso em 30/07/2020.

O foco da discussão que se segue estará no conceito de *representação*. Isso porque, para relacionar uma medição com uma teoria, ou mesmo para realizar uma medição, é necessário construirmos representações da realidade. Essas representações podem ter diferentes naturezas. Por exemplo, quando dizemos que vamos medir a largura de uma mesa, nos baseamos em uma

representação dessa mesa em que o conceito de largura é mobilizado para se referir ao comprimento da mesa em uma das suas dimensões. Sem o conhecimento dessa representação, a medição dessa largura não faz sentido.

Quando falamos de um animal, estamos construindo uma representação dele e o ouvinte realizará a própria representação mental desse animal, de modo que existem representações internas e compartilhadas, e nem todas elas podem ser consideradas científicas (Kuhn, Ardivisson, Lesperance & Corprew, 2017;). A Figura 1, por exemplo, é uma representação imagética. Se trata de uma ilustração das pegadas de diferentes animais e, por mais que ela apresente informações relevantes, ela não é suficiente para a inferência de qual animal se trata na análise de uma pegada. Nessa figura, por exemplo, não se vê a diferenciação entre o rastro anterior, que corresponde às patas frontais e posterior, correspondendo às patas traseiras, diferenciação necessária para a definição de um animal pelo rastro.

Figura 2: Ilustração das pegadas de diversos animais, acompanhados de seu nome.



Disponível em <<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/animal-footprints-walking-track-animals-paw-with-vector-28951722>>. Acesso em: 30/07/2020. Tradução própria.

Podemos transmitir muitas informações com uma imagem, porém muitas vezes é necessário manipulá-la para se realizar as inferências sobre ela que precisamos. Por exemplo, por meio da análise da Figura 2, pode-se perceber que o formato da pegada do animal não nos fornece informação suficiente para concluir, com razoável precisão, de qual animal se trata, de modo que é necessário mais algum tipo de informação a respeito do animal ou de seus rastros. Com o objetivo

de extrair mais informações de uma imagem, podemos utilizar uma foto como a da Figura 3, que permite a realização da conversão de escala entre o tamanho real e o da foto. Nesse caso, pode-se utilizar as duas informações para inferir o animal: a ilustração do formato da pegada, assim como o tamanho dela. Esses dados serão comparados então com dados disponibilizados por outros pesquisadores que realizaram anteriormente as medições que serão realizadas por meio da Figura 2. Na sequência, estão discriminadas os materiais necessários para essa medição e as discussões que podem surgir por meio da atividade.

Figura 3: Pegada de um felino (onça-parda) na areia com uma régua.



Disponível em <<https://pedefigo.com/solo-molhado-registra-pegadas-de-onca-na-fazenda-remonta-em-valinhos/>>. Acesso em: 09/2020.

Caminho de investigação

Importante: todos os instrumentos de medição que podem ser usados (exceto algum *software*) são de medição direta, de modo que não existem modelos teóricos auxiliares nesse tipo de medição. O que os diferencia é a sua precisão, fator que será discutido posteriormente.

Para a investigação, será utilizada a Figura 3, que possibilita o cálculo da escala da figura, assim como a medição do comprimento da pata.

Ferramenta: régua com precisão de 0,1 cm

Todo instrumento de medição possui uma precisão associada a ele, isso pois é impossível que um instrumento real informe o resultado de uma medição com precisão infinita. No caso de uma régua, por exemplo, a precisão é de 0,1 cm, que é a menor medida que ela pode realizar. Em uma medição pode-se inferir um dado com uma determinada certeza, essa faixa de certeza é denominada incerteza da medição e será determinada como a metade da precisão do instrumento.

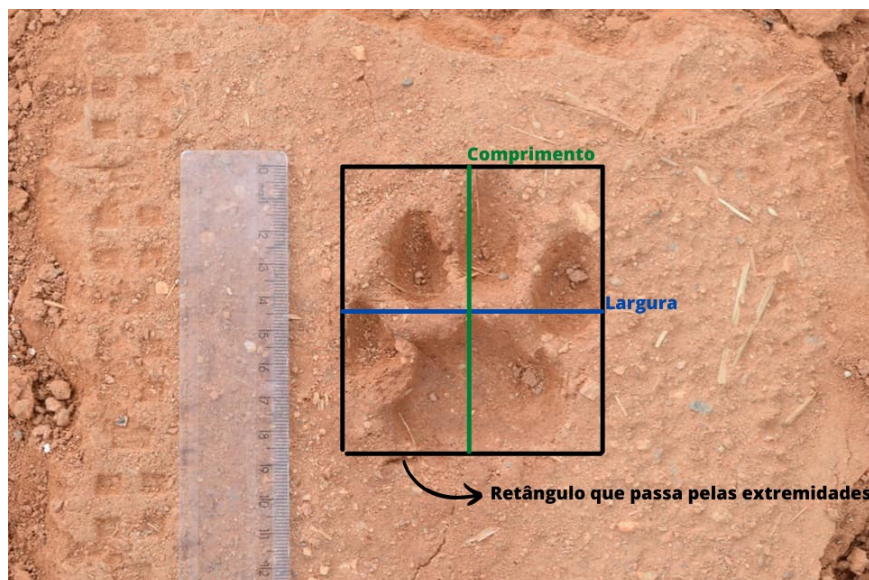
Isso pois a incerteza é escrita como (+/- valor da incerteza), resultando assim em uma faixa de valores que engloba uma medida da precisão, no caso da régua, por exemplo, a incerteza é de 0,05 cm.

Escala: 1,0 cm foto = 0,6 cm real (Portanto, para fazer a conversão, tem que multiplicar o valor encontrado na foto por 1,7)

A realização dessa conversão é necessária devido à modificação de tamanho que a fotografia gera. Caso não seja feita essa operação, os dados não poderão ser comparados com dados de outros pesquisadores devido a diferenças de escala.

A medição da pata de um animal apresenta um problema claro: quais seções medir? Escolhendo diferentes direções, o comprimento e a largura apresentarão diferentes valores. Por exemplo, o comprimento da pegada da Figura 3 pode ser aproximadamente de 6,8 +/- 0,2 cm, se medido na parte extrema direita da pata, e 9,3 +/- 0,2 cm, no centro da pegada. A padronização da medição é de suma importância para que os dados possam ser socializados e comparados com outros dados. A socialização e comparação é um dos passos mais importantes tanto para essa atividade quanto para a construção da Ciência; são elas que possibilitam que a Ciência seja uma construção social. Para padronizarmos o processo proposto nesta atividade, tomamos a medição do tamanho da pegada de um mamífero medindo a distância entre os pontos mais distantes tanto da largura quanto da altura. Uma forma de realizar essa medição é desenhar linhas passando pelas extremidades da pata e realizar a medição do comprimento e largura do retângulo construído, como representado na Figura 4.

Figura 4: Imagem da pegada de um felino na areia com a ilustração de uma forma de medir a largura e comprimento da pegada.



A seguir, são apresentados alguns dados exemplares.

Tamanho da pata na foto:

Comprimento = 5,30 +/- 0,05 cm

Largura = 4,90 +/- 0,05 cm

Tamanho da pata convertido:

Comprimento = 9,0 +/- 0,1 cm

Largura = 8,3 +/- 0,2 cm

Essa discussão e a apresentação de uma medição exemplar serão apresentada aos alunos por meio de um vídeo gravado pela professora, disponível no *YouTube*¹³. As demais discussões assim como a apresentação de mais dados ocorrerão em sala de aula.

Para se comparar as medidas realizadas com dados da literatura, utilizou-se um guia de pegadas de mamíferos (Prist *et al.*, 2020), que apresenta as seguintes informações:

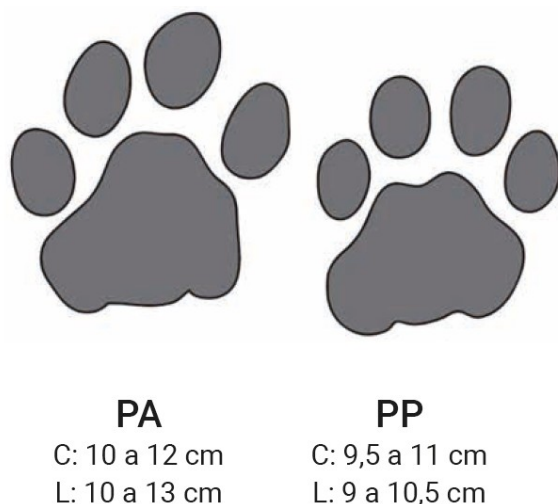
Onça-pintada: “Seu rastro anterior varia entre 10 e 12 cm de comprimento e 10 e 13 cm de largura, enquanto o rastro posterior varia entre 9,5 e 11 cm de comprimento e de 9 e 10,5 cm de largura. Imprime tipicamente quatro dedos, sem a impressão das garras. A almofada é grande e arredondada e maior em relação ao tamanho dos dedos com formato trapezoidal. Há rara sobreposição entre patas durante a passada.”

*Onça-parda: “Seu rastro é mais comprido do que largo, apresentando os dígitos e o coxim mais alongados e mais distantes entre si do que o resto dos felinos brasileiros. Os rastros da onça-parda podem ser facilmente confundidos com os rastros da onça-pintada (*P. onca*), principalmente pelo tamanho, porém possuem os dedos e coxim mais alongados e separados entre si e reintranças mais evidentes na almofada plantar. Seu rastro anterior possui em média 8 cm de comprimento e 9 cm de largura, e o rastro posterior 8,5 cm de comprimento por 7,5 cm de largura.”*

Levando em conta as incertezas relacionadas à medição, ambas as espécies podem condizer com os dados coletados da imagem, de modo que se torna necessário comparar o formato das patas, disponível nas Figuras 3 e 4, informação também coletada em Prist *et al.* (2020).

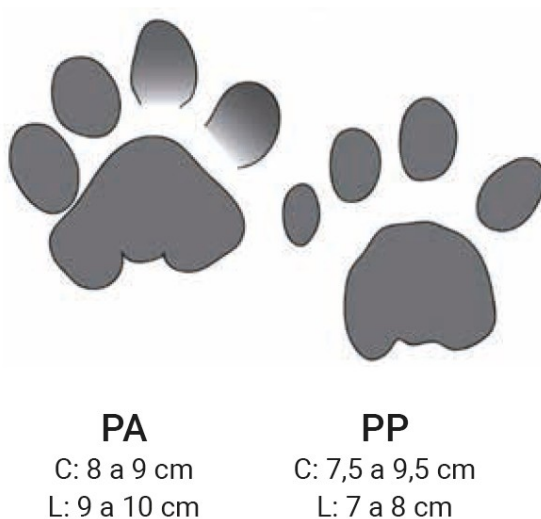
13 Vídeo disponível em <<https://youtu.be/iFgFfBUW3sM>> Acesso em 15/05/2022.

Figura 3: Representação das pegadas de uma onça-pintada, sendo a da esquerda a pegada anterior (PA) e a da direita, a posterior (PP).



Fonte: (Prist *et al.*, 2020, p. 51)

Figura 4: Representação das pegadas de uma onça-parda, sendo a da esquerda a pegada anterior (PA) e a da direita, a posterior (PP).



Fonte: (Prist *et al.*, 2020, p. 57)

Analisando apenas este dado, e comparando-o com o formato da pata, pode-se concluir que a pegada da imagem trata-se de uma onça-parda, correspondendo aos dados do rastro anterior. Porém, a proximidade do valor encontrado com o valor apresentado pelo livro é pouca, de modo que são necessárias mais medidas para uma inferência com maior precisão. Na Tabela 1, são apresentados dados exemplares realizados por diferentes pessoas. A presença de mais dados possibilita a inferência de um valor mais provável à quantidade medida, minimizando então a influência de erros aleatórios.

Tabela 1: Dados exemplares da largura e comprimento da pata da imagem.

Fator de escala	Comprimento imagem	Largura imagem	Comprimento real (c)	Largura real (l)
1,7	5,30 +/- 0,05 cm	4,90 +/- 0,05 cm	9,00 +/- 0,08 cm	8,33 +/- 0,08 cm
1,7	5,40 +/- 0,05 cm	5,20 +/- 0,05 cm	9,18 +/- 0,08 cm	8,84 +/- 0,08 cm
1,7	5,30 +/- 0,05 cm	5,10 +/- 0,05 cm	9,01 +/- 0,08 cm	8,67 +/- 0,08 cm
1,7	5,20 +/- 0,05 cm	5,20 +/- 0,05 cm	8,84 +/- 0,06 cm	8,84 +/- 0,08 cm
1,5	5,50 +/- 0,05 cm	5,30 +/- 0,05 cm	8,25 +/- 0,06 cm	7,95 +/- 0,07 cm
1,7	5,50 +/- 0,05 cm	5,00 +/- 0,05 cm	9,35 +/- 0,08 cm	8,50 +/- 0,08 cm
0,81	10,40 +/- 0,05 cm	10,35 +/- 0,05 cm	8,42 +/- 0,06 cm	8,38 +/- 0,04 cm
0,81	10,50 +/- 0,05 cm	10,40 +/- 0,05 cm	8,50 +/- 0,05 cm	8,42 +/- 0,05 cm
1,7	5,60 +/- 0,05 cm	4,43 +/- 0,05 cm	9,52 +/- 0,08 cm	7,53 +/- 0,05 cm
1,7	6,00 +/- 0,05 cm	6,90 +/- 0,05 cm	10,20 +/- 0,08 cm	11,7 +/- 0,1 cm
1,7	5,00 +/- 0,05 cm	5,50 +/- 0,05 cm	8,50 +/- 0,08 cm	9,35 +/- 0,08 cm

Outra forma de representar os dados que estão dispostos nessa tabela é por meio de um gráfico que apresenta faixas de valores da grandeza medida no eixo x e colunas com a frequência com que cada faixa de valores foi mensurado no conjunto de medidas no eixo y. Esse gráfico é representativo, pois permite inferir quais foram os valores que mais apareceram no conjunto de medições, e essa ferramenta de representação é chamado de *histograma*. Um histograma é construído se atribuindo uma faixa de valores do dado que serão contabilizadas para o cálculo da frequência que aparecerá. Por exemplo: no comprimento real da pata na Tabela 1, são encontrados 4 valores entre 8,00 e 8,50 cm, de modo que no caso em que a faixa definida seja 0,50 cm, a frequência dessa faixa de valores é 4. Em sala de aula o professor construirá em conjunto dos alunos um histograma com os dados. As figuras 6 e 7 representam histogramas construídos com os dados exemplares dispostos na Tabela 1, construídos por meio do software *SciDavis*.

Figura 5: Histograma construído por meio do software SciDavis com os dados dispostos na tabela 1 do comprimento real da pata.

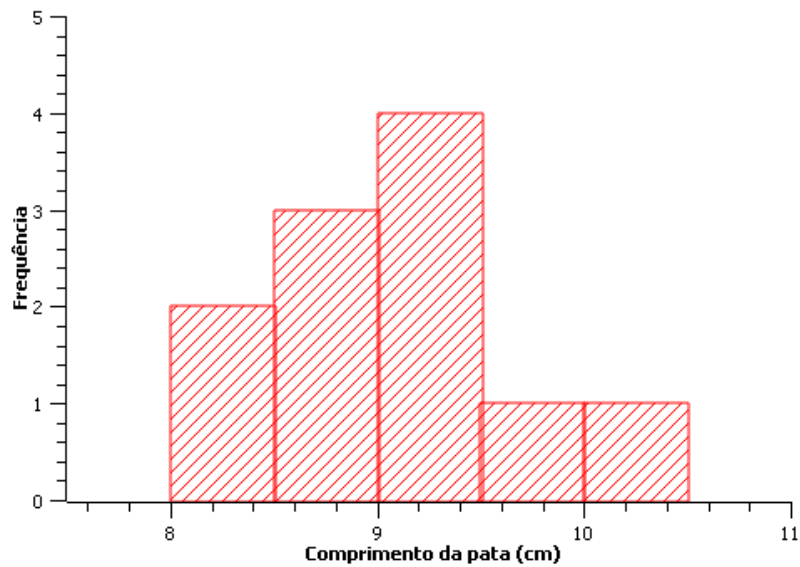
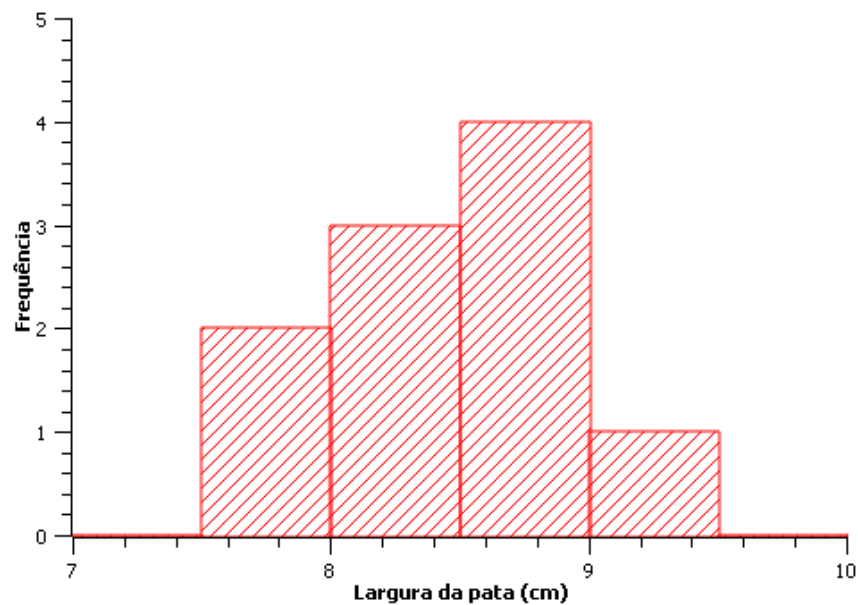


Figura 7: Histograma construído por meio do software SciDavis com os dados dispostos na tabela 1 da largura real da pata.



Realizando a análise estatística da tabela 1 por meio do software *SciDavis*, foram obtidas a média, o desvio padrão e os histogramas do comprimento e largura da pata em escala real. O desvio padrão não será discutido em aula. Os histogramas das figuras 6 e 7 foram construídos com barras de largura de 0,5 cm e a frequência significa que foram identificados y dados que estão entre x e

$x+0,5$, de forma que é importante que os alunos reconheçam essa situação e saibam identificar esses dados também na Tabela 1. O histograma da Figura 6 apresenta os dados do comprimento da pata c , cujo valor medido pode ser escrito como $c = (8,9 \pm 0,6)$ cm. Para a construção do histograma da Figura 7, que representa a largura l da pata, foi ignorado o dado em que $l = (11,7 \pm 0,1)$ cm, por se apresentar como um dado anômalo em relação aos demais, e que pode ter ocorrido devido a confusões na leitura. Dessa forma, obteve-se $l = (8,5 \pm 0,5)$ cm.

Pode-se perceber, por meio dessas medidas, que há uma flutuação nos dados, por mais cuidadosas que sejam feitas as medições. Toda medição carrega consigo uma incerteza, uma espécie de ruído, que pode ser influenciada por diversos fatores, muitos deles não controláveis, o que dá a todo conjunto de dados uma aleatoriedade intrínseca. Esse ruído pode ser de dois tipos, e ele deve ser analisado após a medição e em conjunto com a incerteza do instrumento. Ele pode ser devido a alguma imperfeição no instrumento de medição, ou mesmo por algum problema causado pelo experimentador. Esse tipo de incerteza deve ser identificada e retificada. Por outro lado, existem os erros que ocorrem devido à aleatoriedade das medições, que não poderiam ser evitados e aparecem em todo conjunto de medições. Esses devem ser englobados pela incerteza associada ao valor que é definida por uma análise estatística dos valores. A estatística nesse caso é necessária justamente pela aleatoriedade das imprecisões.

Considerando-se os erros aleatórios, é importante perceber que não há um “valor verdadeiro” que pode ser atribuído precisamente a uma medição qualquer. Apenas quando a grandeza medida for obtida em consenso pela comunidade científica, como o valor de pi ou da constante de gravitação universal, podemos assumir um valor verdadeiro para uma medição; independente do cuidado com que é feita a medição, a experiência do experimentador ou a simplicidade do experimento, sempre estaremos em busca de um intervalo de medições, que engloba o *valor mais provável* dado o conjunto de medidas obtido. Quando realizamos diversas medidas de uma grandeza, nos aproximamos de um intervalo que representará um valor mais provável de tal grandeza naquela situação. É importante perceber que é desejável que as medições estejam associadas a um intervalo, que engloba uma série de valores que podem representar a grandeza em questão.

O valor mais provável de uma grandeza pode ser descrito pela faixa de valores em que ela foi medida com maior frequência. Porém, ele pode ser representado mais precisamente utilizando o conceito de média, que está relacionado com a concentração dos dados de uma distribuição. Por exemplo, se em um grupo de cinco amigos cada um possui uma quantidade diferente de dinheiro e eles gostariam de dividir igualmente o dinheiro entre todos, eles somarão todos os valores e então

dividir entre eles. Esse resultado equivale à média do dinheiro que eles possuem. No caso do histograma da Figura 6, por exemplo, o valor médio é de 8,9 cm e está muito próximo da faixa de valores com maior frequência. Em aula, o professor calculará com os alunos o valor médio de cada caso e relacionará ele com o histograma construído e o associará a uma faixa de valores de acordo com o formato do histograma.

Retornando à análise do tamanho e formato da pata da imagem, ao utilizarmos o valor médio do comprimento e largura, nos aproximamos do valor que corresponde aos dados tabelados para a onça-parda, corroborando assim com a conclusão feita por meio da análise do formato da pata. Percebe-se, assim, a importância da coleta de mais de um dado, além da triangulação de informações, fatores que possibilitam que conclusões feitas por medições ou experimentos possuam maior precisão e confiabilidade, elementos imprescindíveis a uma boa prática científica.

Apêndice B – Tarefas de Aula

Atividade 1 – Que animal é esse?

1 - Os estadunidenses frequentemente utilizam unidades de medida diferentes das utilizadas no Brasil. Para comprimentos, por exemplo, costumam utilizar a unidade “pés” no lugar de “metros”. Hoje em dia, essa unidade é estabelecida da seguinte forma: 1 pé é igual a 0,34 metro. Porém, nos primórdios da Ciência, não eram raros casos em que pessoas utilizavam o comprimento do próprio pé para a medição. Vamos fazer como elas? Escolha algo que você queira medir o comprimento (por exemplo, a largura do seu quarto ou o comprimento da sua cama). Utilizando como unidade de medida o seu pé, meça essa grandeza.

- a) O que você escolheu medir e qual foi o resultado da medição?
- b) Agora realize a conversão dessa medida para o seu pé, ou seja, a partir da medida realizada, informe quantos metros têm o que você mediu? Dica: para isso você precisará medir o comprimento do seu pé em metros.
- c) Por que esse sistema de medida foi extinto? Quais problemas ele pode gerar?

2 - A imagem abaixo ilustra a medição do comprimento de um objeto.

- a) Qual o comprimento dele e a sua incerteza?
- b) Como você determinou a incerteza desse comprimento e qual a importância dela na medição?

3 - Foi encontrada a pegada de um animal desconhecido pelos cientistas de uma possível espécie nova. Suponha que você é o cientista responsável por estudar essa pegada e você está investigando o comprimento dela.

- a) Como você realizaria a medição dessa grandeza? Qual instrumento de medição você utilizaria? Por quê?
- b) Quantas medições você faria? Por quê?
- c) Após realizadas as medições, quais procedimentos podem ser realizados para a análise dos dados? Qual a função deles?

4 - O que você achou mais interessante nessas aulas? E o que você achou menos interessante? Por quê?

Atividade 2 – Quem é mais rápido no gatilho?

1 - O tempo é uma grandeza que é comumente medida no dia a dia. Medimos intervalos de tempo pelos mais diversos motivos, assim como utilizamos diversos instrumentos para mensurá-los.

a) Enumere 3 diferentes motivos pelos quais medimos intervalos de tempo.

b) Nem sempre a incerteza da medição de um intervalo de tempo é algo relevante. Dê um exemplo em que a incerteza dessa medição é importante e outro em que não é. Explique.

2 - Para se candidatar para os jogos escolares na modalidade de corrida, uma aluna precisa apresentar seus resultados médios. A tabela a seguir apresenta 10 dados da medição do tempo que essa pessoa leva para percorrer 5 metros. As medições foram realizadas com o uso de um cronômetro com incerteza de 0,01 s.

Tempo decorrido (+/- 0,01 s)
2,33
2,40
1,98
2,00
2,05
2,21
2,00
1,93
1,88
1,66

a) Qual o tempo médio que a aluna leva para percorrer essa distância? Apresente o cálculo.

b) Se você tiver espaço e alguém para lhe ajudar, meça o seu tempo médio para percorrer uma determinada distância. Qual foi o tempo médio medido? Para qual distância? Caso você não tenha condições de realizar essa tarefa (por falta de, por exemplo, espaço na sua casa), não responda a esse item.

c) Nessa situação, apenas a média dos tempos demandados para se percorrer essa distância é suficiente para se avaliar o desempenho da aluna? Por quê?

3 - Um conjunto de cientistas está avaliando a velocidade média de um rato treinado. Para isso, é necessário medir o tempo que ele leva para percorrer uma determinada distância. Suponha que você é um desses cientistas.

a) Como você realizaria a medição? Qual o instrumento de medição você utilizaria?

b) Você realizaria mais de uma medição? Por quê?

c) Quais procedimentos podem ser utilizados para a análise dos dados? Qual a função deles?

4 - O que você achou mais interessante nessas aulas? E o que você achou menos interessante? Por quê?

Atividade 3 – Medicando seu pet

1 - Medições são importantes em inúmeras áreas do conhecimento, assim como no dia a dia das pessoas.

a) Durante as nossas aulas, nos envolvemos em medições de comprimentos, de tempos, de temperaturas e de massas. Você conhece alguma outra grandeza que podemos medir? Em que situações ela é medida?

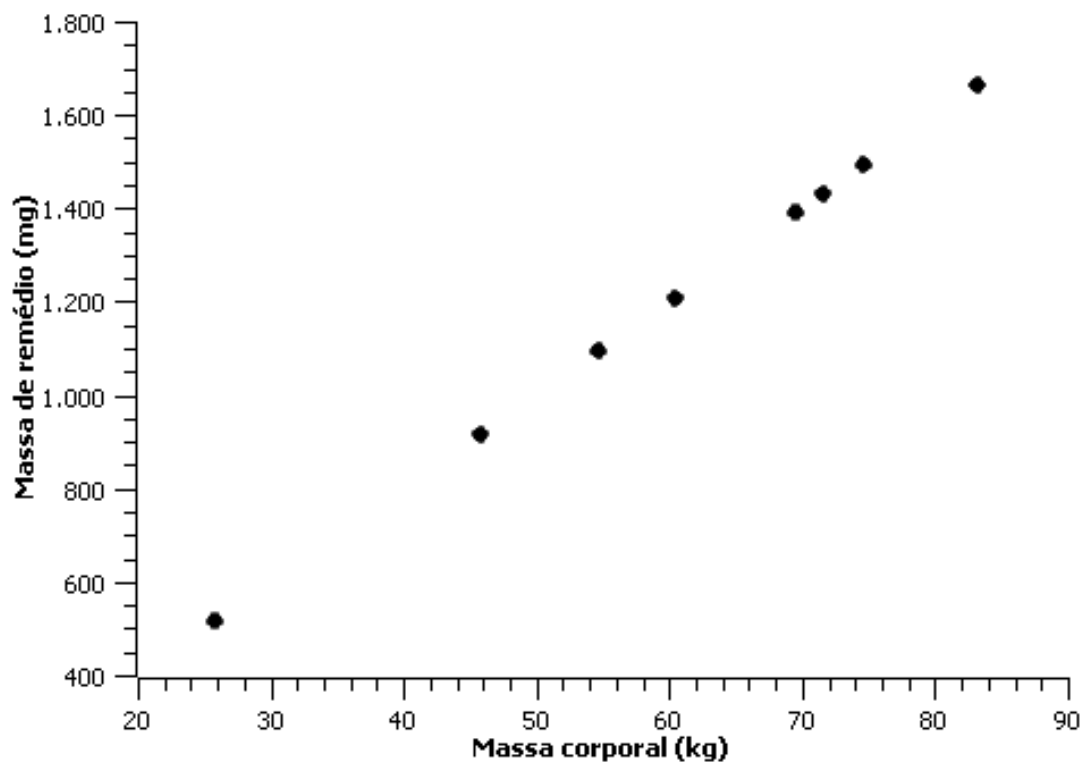
b) Dê um exemplo em que você realizou alguma medição no seu dia a dia. Você levou em conta a incerteza da medida ou realizou mais de uma medição? Por quê?

2 - Um remédio muito comum para os seres humanos é a *dipirona*, utilizada para o alívio de dores. A bula desse remédio indica que a dose recomendada é de 20 mg de composto ativo por kg de massa da pessoa. Além disso, sabe-se que a solução do remédio possui 500 mg/mL.

a) Tendo em vista a sua massa corporal, calcule a quantidade de dipirona que seria necessário para uma dose para você. Quanto mg e quantos mL você precisaria ingerir?

b) Os dados a seguir apresentam a massa corporal de diferentes pessoas e a quantidade de remédio necessária para elas. Adicione os seus dados e adicione os valores no gráfico. O que esse gráfico informa?

Massa corporal (+/- 0,1 kg)	Massa de remédio calculado (+/- 2 mg)	Volume de remédio calculado (+/- 0,004 mL)
74,6	1492	2,984
69,5	1390	2,780
60,4	1208	2,416
71,6	1432	2,864
25,8	516	1,032
83,2	1664	3,328
45,8	916	1,832
54,7	1094	2,188



c) Qual a principal diferença entre um histograma e o gráfico construído? Poderíamos usar um histograma nessa situação? Por quê?

3 - O que você achou mais interessante nessas aulas? E o que você achou menos interessante? Por quê?

Atividade 4 – Acabou a bebida no bar!

Objetivos de ensino: Apresentar um problema no qual os alunos terão que realizar a medição de massa; Discutir diferentes formas de medição; Abordar a precisão dos instrumentos de medida; Construir um gráfico da relação entre peso do animal de estimação e dose do medicamento; Debater sobre fontes de incerteza.



The screenshot shows a product page for a 'Termômetro Digital Infravermelho DT-FS (-50 a 380°C)' from the brand 'DELLT'. The price is listed as 'R\$237,00 -'. The page includes a navigation menu with 'HOME', 'INSTRUMENTOS PORTÁTEIS', 'INSTRUMENTOS DE BANCADA', and 'MÁQUINAS'. Below the product name, there are five stars and the text 'In stock'. A row of social media icons (Facebook, Twitter, LinkedIn, Google+, Email) is visible. The main content area is divided into four columns: 'DESCRIÇÃO', 'PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS', 'INFORMAÇÃO ADICIONAL', and 'OPCIONAL'. The 'PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS' column contains a list of technical specifications.

DESCRIÇÃO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	INFORMAÇÃO ADICIONAL	OPCIONAL
	<ul style="list-style-type: none">• Faixa de temperatura: -50 ° C ~ 380 /• Resolução do Display: 0.1 / 1 ° C• Precisão: ± 2 ° C / 2% o que for maior• Tempo de resposta: 800ms.• Mira: 1 Laser Marcador <1mW (Classe II).• Resolução óptica: 12: 1• Desligamento Automático: Aprox. 15s.• Bateria: Padrão 9V (NEDA 1604, IEC 6F22006P).• Duração da bateria: 12 horas de uso contínuo (com laser e iluminação).• Dimensões: 148 (A) x 105 (C) x 42 (P) mm.• Peso: Aprox. 157g (incluindo a bateria).		

1 - A temperatura é uma grandeza comumente medida no dia a dia das pessoas. Um exemplo muito recorrente é a medição da temperatura corporal. Com a pandemia de COVID-19, popularizou-se a medição da temperatura corporal utilizando termômetros infravermelhos, como o que aparece na imagem acima. No site de venda de um termômetro infravermelho, podem ser encontradas as especificações expostas acima.

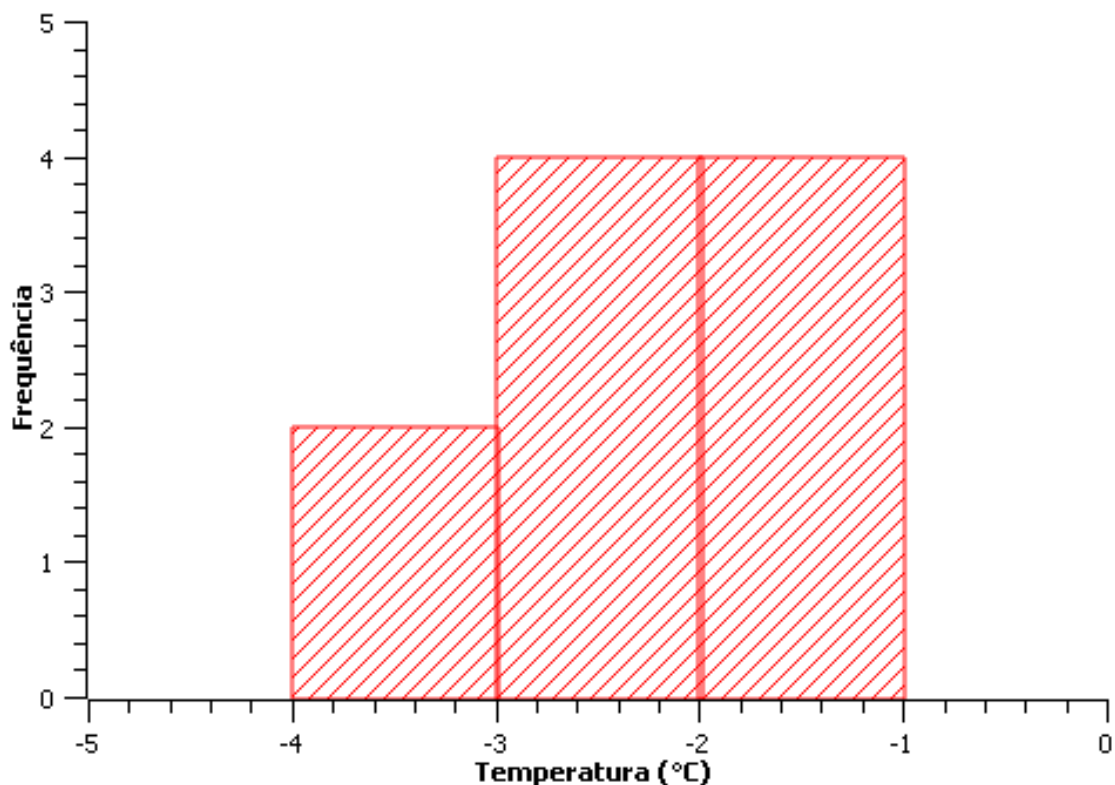
a) Lendo as especificações do termômetro, você considera ele útil para o fim que está sendo utilizado? Justifique.

b) Para que tipo de medição esse termômetro seria mais indicado?

c) Além disso, muitos locais realizam a medição da temperatura no pulso. Essa forma de procedimento não é ideal. Por quê? Qual é o instrumento e procedimento ideal para medição da temperatura?

d) Tendo em vista esse fato, qual você acredita ser uma das importâncias do conhecimento científico?

2 – O gráfico a seguir foi construído com dados de temperatura obtidos misturando-se água, gelo e sal, sendo a massa de sal correspondente a 10% da massa de gelo e água.



- O que esse gráfico informa? O que significam as barras do gráfico? E cada eixo dele?
- Qual é a média dos dados? E a dispersão? Mostre seus cálculos.
- Por que essa mistura não é a ideal para o resfriamento mais rápido de uma bebida?

3 - Um dos aspectos avaliados pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) para garantir a segurança das lâmpadas comuns é a temperatura máxima alcançada por ela quando ligada. Por isso, técnicos realizam diversas medições com as lâmpadas. Imagine que você é um deles.

- Como você realizaria a medição da temperatura das lâmpadas? Que instrumento de medição você utilizaria para isso?
- Você realizaria mais de uma medição? Por quê?
- Após realizadas as medições, como procederia na análise dos dados coletados? Por quê?

4 - O que você achou mais interessante nessas aulas? E o que você achou menos interessante? Por quê?

Apêndice C – Planejamento de Aula da Atividade “Quem é mais rápido no gatilho?”

QUEM É MAIS RÁPIDO NO GATILHO?

Pergunta geradora: “*Você é um treinador de um time de Counter-Strike¹⁴ e um de seus atletas não poderá competir. Vocês têm pouco tempo para decidir o substituto e querem realizar um único teste com os candidatos a ingressar no time. O que você testará nos seus candidatos e como?*”

A discussão inicial será a respeito da necessidade de consumir jogos eletrônicos com consciência. Após esse momento, as perguntas do professor conduzirão ao caminho de discutir qual variável será importante para a realização da medição que tem como objetivo responder à pergunta geradora. O controle de variáveis é imprescindível para que as medições sejam realizadas com sucesso, pois, ao realizar uma medição, podem existir mais de uma grandeza influenciando o resultado, de modo que, ao planejar um experimento ou medição, é necessário definir qual variável está em foco e diminuir ao máximo influências das demais.

No problema em questão, como está sendo tratada uma variável humana, existem influências incontroláveis, porém, é importante discutir com os alunos o que torna uma pessoa melhor ou pior jogadora. Para ser bom jogador no CS, a pessoa deve ter pensamento rápido, reação rápida, bom conhecimento do jogo e uma boa estratégia. O conhecimento do jogo e a estratégia podem ser avaliados em um jogo comum. Porém, um fator de grande influência no tempo de reação é a qualidade dos equipamentos eletrônicos, como o computador e o mouse e, devido a isso, se tornaria difícil ao treinador testar o tempo de reação dos jogadores. Dessa forma, o tempo de reação dos jogadores será a variável em foco, que deverá ser medida livre de outras influências do jogo.

Existem duas formas principais exploradas em situações didáticas para se realizar a medição do tempo de reação de uma pessoa:

- i. Com uma régua: uma régua é segurada em uma ponta por um aluno e o outro mantém seus dedos no ponto zero da régua. O primeiro aluno soltará a régua e o outro deverá segurar o mais rápido possível, de modo que ele apertará seus dedos sobre um valor de comprimento da régua. Essa é a distância que ela caiu até que o aluno reagisse. O tempo de reação pode ser estimado a partir da distância percorrida pela régua, considerando-se que ela realiza um movimento de queda livre. Devido à necessidade de compreensão do modelo de queda livre,

¹⁴ É um jogo muito popular entre os jovens, considerado o mais jogado da *Steam*. Trata-se de um jogo que envolve disparos com armas, onde o tempo de reação do jogador é extremamente importante.

essa não será a forma utilizada pelos alunos desse nível de ensino, que não tiveram contato com tal modelo.

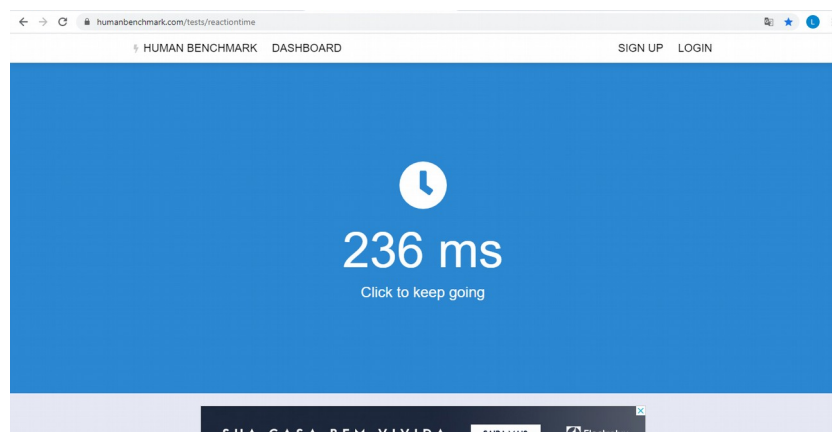
- ii. Com um *software*: Existem diversos *softwares* que possibilitam a medição do tempo de reação por meio de um clique como resposta a um estímulo. Será utilizada essa forma devido à acessibilidade aos alunos. Exemplos de *softwares*:
<https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>;
<https://faculty.washington.edu/chudler/java/redgreen.html>

No caso de alunos do ensino fundamental, será utilizado um dos *softwares* para a realização da medição, dada a necessidade de compreensão do modelo de queda livre no caso da medição com a régua; porém, com alunos de graus mais elevados, a medição por meio da régua pode ser utilizada, assim como a discussão a respeito do modelo científico por trás da medição. Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas algumas medições exemplares.

Medição por meio do site *Human Benchmark*

O estímulo desse site é uma tela colorida, como apresentado na Figura 1, em que se deve responder quando a tela se torna verde. Devido à inexistência de uma incerteza própria do site, a incerteza no caso da medição por meio do softwares será estimada em 1ms, que é o menor valor da escala do *display* do aplicativo.

Figura 1: Interface do site *Human Benchmark*.



Disponível em <<https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>>. Acesso em: 12/2020.

Tabela 1: Conjunto de medições feitas no *software Human Benchmark*.

Pessoa	Medição 1 (+/- 0,001 s)	Medição 2 (+/- 0,001 s)	Medição 3 (+/- 0,001 s)	Medição 4 (+/- 0,001 s)	Medição 5 (+/- 0,001 s)	Média
1	0,316	0,226	0,219	0,216	0,219	0,24 +/- 0,04 s
2	0,335	0,308	0,272	0,280	-	0,29 +/- 0,02 s
3	0,229	0,280	0,266	0,267	0,263	0,26 +/- 0,02 s
4	0,308	0,256	0,235	0,426	0,300	0,30 +/- 0,07 s
5	0,375	0,401	0,362	1,535	0,603	0,6 +/- 0,5 s
6	0,377	0,350	0,296	0,342	0,330	0,34 +/- 0,03 s
7	0,305	0,384	0,343	0,418	0,358	0,36 +/- 0,04 s
8	0,273	0,254	0,314	0,313	0,285	0,29 +/- 0,3 s

Medição por meio do site da faculdade de Washington

O estímulo que deve ser respondido nesse *software* é uma simulação de uma sinaleira, como apresentado na Figura 2. A mudança é menos perceptível ao olho do que no caso anterior, o que pode influenciar no caso em que a pessoa não esteja com atenção plena na tarefa.

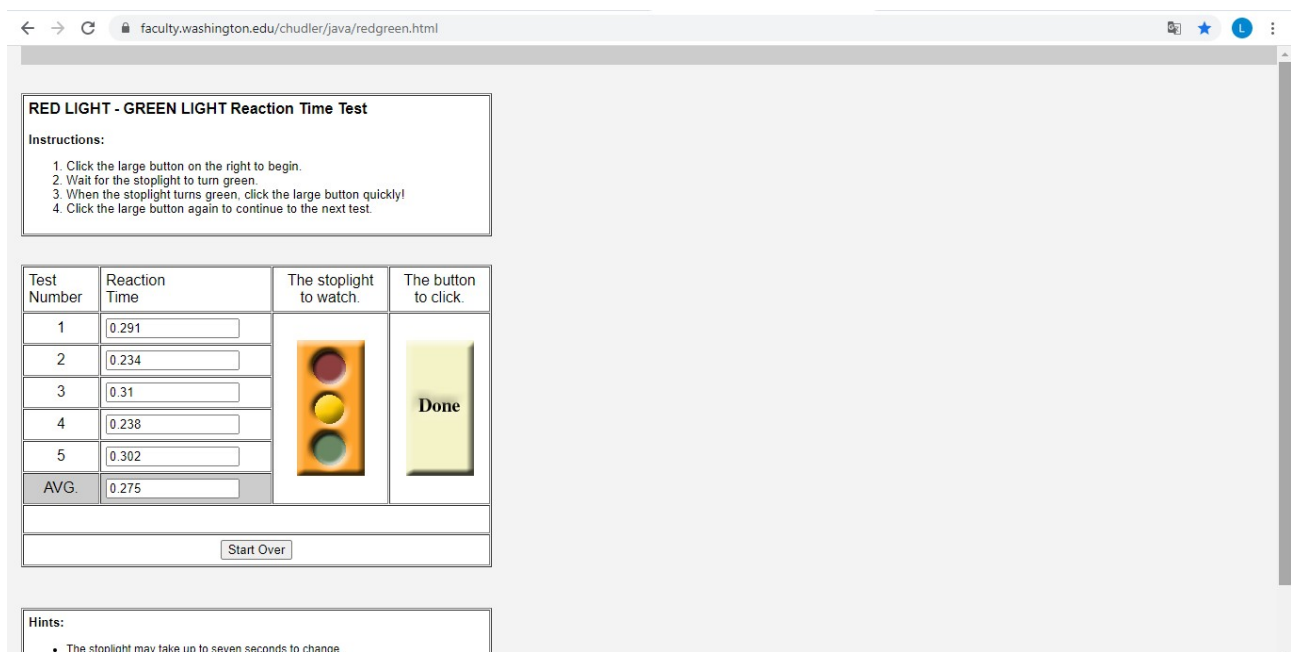


Figura 2: Interface do software Red Light – Green Light. Disponível em <https://faculty.washington.edu/chudler/java/redgreen.html>. Acesso em: 12/2020

Tabela 2: Conjunto de medições feitas no *software Red Light – Green Light*.

Pessoa	Medição 1 (+/- 0,001 s)	Medição 2 (+/- 0,001 s)	Medição 3 (+/- 0,001 s)	Medição 4 (+/- 0,001 s)	Medição 5 (+/- 0,001 s)	Média (s)
1	0,221	0,277	0,293	0,266	0,321	0,27 +/- 0,03
2	0,268	0,330	0,291	0,268	0,250	0,28 +/- 0,03
3	0,291	0,234	0,310	0,238	0,302	0,27 +/- 0,04
4	0,354	0,259	0,296	0,303	0,232	0,29 +/- 0,05
5	0,788	0,771	0,807	0,816	0,769	0,79 +/- 0,02
6	0,430	0,547	0,286	0,292	0,566	0,4 +/- 0,1
7	0,268	0,330	0,291	0,268	0,250	0,28 +/- 0,03
8	0,254	0,282	0,264	0,366	0,276	0,29 +/- 0,04

Os valores dispostos nas tabelas 1 e 2 foram coletados pelas mesmas pessoas. Pode-se perceber um leve aumento nos valores de cada indivíduo, o que se deve ao tamanho do estímulo na tela. É importante comparar apenas os dados realizados no mesmo software, pois percebe-se que o site utilizado influencia a medição do tempo de reação. Porém, pessoas com curtos tempos de reação o terão em ambos os casos, de modo que a conclusão construída se torna independente de qual *software* é utilizado.

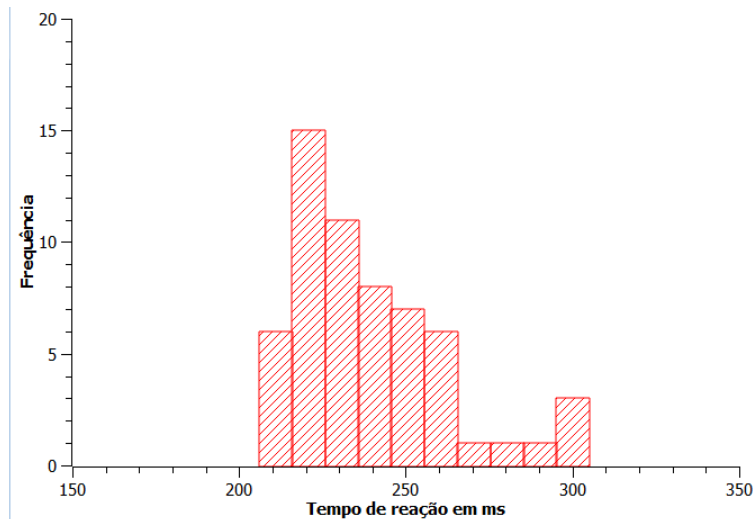
Por meio da análise das tabelas, pode-se perceber a importância da realização de diversas medições dessa variável. Isso ocorre porque a flutuação aleatória de uma medição no caso em que estamos lidando com o ser humano é significativa. Percebe-se, aqui, a inexistência de um valor verdadeiro que pode ser atribuído ao tempo de reação de uma pessoa. Quanto maior o número de medições, pode-se chegar a um valor com menor influência das flutuações aleatórias, esse valor chamamos de valor médio. Em toda medição, existem flutuações aleatórias; em algumas situações, elas são maiores do que em outras, por isso é imprescindível associar incertezas a valores obtidos por meio de medições.

Em aula, as discussões serão feitas a partir dos dados coletados pelos próprios alunos em seus celulares.

Para avaliar o tempo de reação t_r de uma pessoa, portanto, são necessários dois valores: o valor médio e a faixa de valores obtidos por ela. Enquanto o valor médio representa um tempo de reação provável àquela pessoa, a faixa de valores permite saber o quanto os valores flutuaram no decorrer das medições. Para analisar visualmente t_r pode-se utilizar uma ferramenta chamada *histograma*, que ilustra uma faixa de medições de tempo no eixo x e a frequência que aquela faixa

de valores foi medida. A Figura 3 ilustra um histograma construído com 60 dados do tempo de reação de uma pessoa, construído por meio do software *SciDavis*.

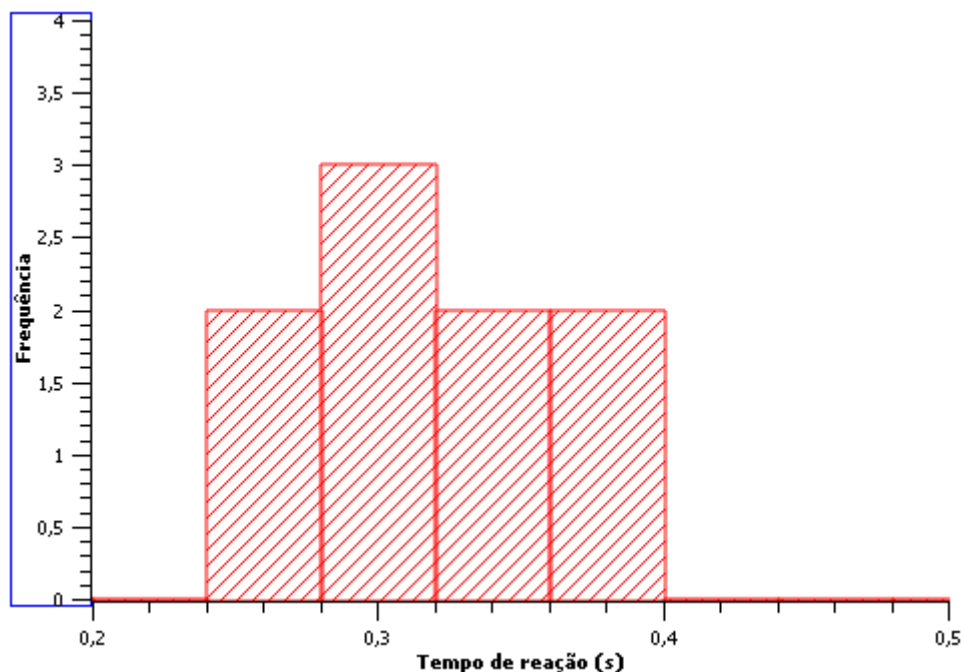
Figura 3: Histograma construído no software *SciDavis* com 60 dados de tempo de reação de uma pessoa.



Utilizando ainda o software *SciDavis*, a análise dos dados resultou em $t_r = (0,23 \pm 0,02) s$. Em aula, o professor apresentará apenas o valor médio calculado pelo software. Pode-se perceber que a média se aproxima muito do valor que mais se repetiu, ou seja, a barra mais alta do histograma. Nesse histograma pode-se notar que os dados dessa pessoa variam em cerca de 0,06 s, demonstrando um tempo de reação relativamente estável. Os valores próximos a 0,3 s são valores que não condizem com os demais, de modo que se pode concluir que eles são valores *anômalos*, ou seja, em uma análise eles não serão levados em conta por se tratar de medições que, por algum motivo, não seguiram o padrão.

A Figura 3 apresenta a análise realizada para os valores de uma pessoa. No caso em que é necessário comparar dados de diferentes pessoas, é importante ressaltar quais valores serão usados. Na construção de um gráfico de frequências, por exemplo, não poderão ser utilizadas todas as medições de todas as pessoas, justamente devido à flutuação que a pessoa apresenta. Nesse caso, deverá ser utilizado o valor médio de cada indivíduo, além de se levar em conta a dispersão dos dados. A dispersão é importante, pois demonstra a estabilidade da reação do sujeito. A Figura 4 apresenta um histograma construído com os valores médios apresentados na Tabela 1.

Figura 4: Histograma construído com o software SciDavis para os valores médios apresentados na tabela 1.

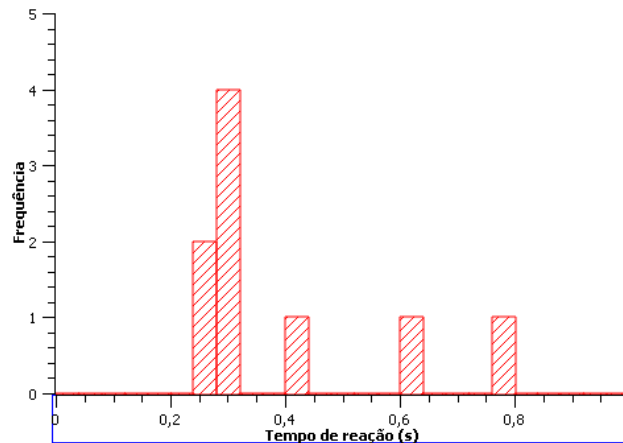


No histograma da Figura 4, foram excluídos os dados da pessoa 6, por apresentarem valores anômalos. Esse gráfico, portanto, foi construído com apenas nove valores, uma amostra muito pequena para a construção de um histograma. Nesse caso, o tempo de reação do grupo foi concluída como sendo $t_{rg} = (0,31 \pm 0,04) s$. A média está próxima de 0,3s; porém, o histograma nos mostra que não existem frequências altas para diferentes valores, de modo que se torna mais difícil analisar a dispersão e confiabilidade dos dados apenas pela análise do gráfico. Para que um histograma seja mais útil em análises estatísticas, é importante que ele apresente um número maior de dados. Como exemplo, pode-se comparar os histogramas das Figuras 3 e 4, onde o da Figura 3 mostra claramente uma distinção entre o valor mais provável e os demais valores.

Na Figura 5 está ilustrado um gráfico construído com o conjunto de dados obtidos por meio do software Red Light – Green Light. Ainda na observação dos dados na forma de tabela, pode-se perceber que os valores apresentam alta dispersão, situação que fica clara na análise do histograma. Por meio do software *SciDavis*, calculou-se o valor médio do tempo de reação do grupo nesse caso e obteve-se $t_{rg} = (0,4 \pm 0,2) s$. Em sala de aula o professor realizará o cálculo do valor médio em conjunto com os alunos, utilizando os valores obtidos pelos próprios alunos. É importante notar que, em um gráfico disperso como esse, a confiabilidade no valor médio diminui, de modo que é mais difícil que, se for realizada uma nova medição o valor médio esteja próximo do valor medido.

Além disso, pode-se perceber que nesse caso a média não se encontra próxima da faixa de valores com maior frequência, sequer se tem um valor na faixa em que está a média.

Figura 5: Histograma construído com o software SciDavis para os valores médios apresentados na tabela 1.

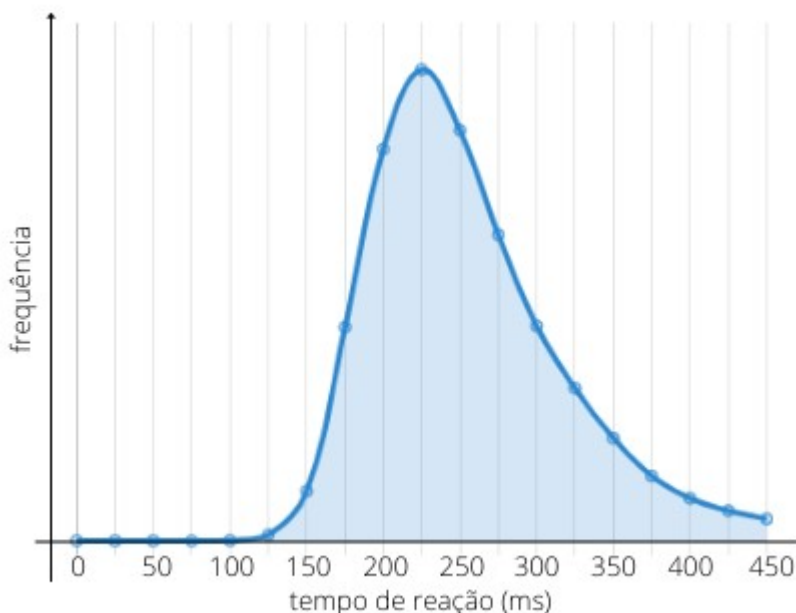


Enquanto a Figura 3 informa o valor médio de uma pessoa e a confiabilidade desse valor, as Figuras 4 e 5, que trazem valores médios de diversas pessoas, informam qual a rapidez da sua reação comparado a de outros indivíduos, e nos permite calcular qual o tempo de reação médio de uma amostra de pessoas, assim como o tempo de reação de uma pessoa mais rápida que a média. No caso do problema que se busca resolver aqui é mais importante saber quais dos candidatos são mais rápidos que a média e, no caso de “empate”, é utilizada a análise da dispersão dos valores do candidato, onde aquele que possui menor dispersão possivelmente apresentará mais habilidade no jogo.

Como discutido anteriormente, a Tabela 1 possui uma amostra limitada de valores, e o mesmo acontecerá com os dados coletados em sala de aula. Para uma análise com maior precisão, é necessário um conjunto maior de dados. O site *Human Benchmark* disponibiliza um histograma construído com os valores ali coletados, apresentado na Figura 6. O valor médio desse histograma, que conta com cerca de 81 milhões de dados, é de 215ms¹⁵.

15 Valor disponível em <<https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>> . Acesso em 25/02/2021

Figura 6: Gráfico construído pelo site Human Benchmark com valores de reação ali coletados.



Disponível em <<https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>>, com edição da autora. Acesso em 02/2021.

O histograma da Figura 6 permite uma análise visual dos dados, assim como possíveis comparações de valores. Por exemplo, a pessoa que realizou as medições para a construção do histograma da Figura 3 possui um tempo de reação de $(0,23 \pm 0,02)$ s, valor que está bem próximo do mais frequente apresentado pelo *site*, porém está acima do valor médio da amostra, que é de 0,215 s. Nesse caso, o indivíduo não tem reação mais rápida que a média. Um exemplo de indivíduo dessa amostra que seria um bom candidato à vaga no time seria aquele que apresentar valores próximos a 0,175 s.

Apêndice C – Planejamento de Aula da Atividade “Medicando seu pet”

MEDICANDO SEU PET

Pergunta geradora: *“O seu animal de estimação foi diagnosticado com vermes. Para tratar essa doença, o veterinário receitou um remédio, porém não especificou a dose necessária para o seu animalzinho. Olhando as instruções da bula, você identificou que a dose indicada é proporcional à massa do bichinho, mas você não sabe a massa do seu pet e não dispõe de uma balança para medi-la. Como descobrir qual é a dose necessária para ele?”*

A prescrição de um medicamento sempre acompanha a dose necessária dele para que cumpra o objetivo proposto. Dosagens muito altas podem causar danos, enquanto que dosagens

muito baixas podem não surtir efeito. *Dose* é uma palavra comumente utilizada na medicina e indica uma quantidade; se o medicamento é sólido, a dose costuma ser expressa em miligramas, enquanto que no caso de medicamentos líquidos, as doses frequentemente são apresentadas em mililitros. É comum que as pessoas não analisem esses valores com muito cuidado, pois a indústria farmacêutica já produz os medicamentos mais comuns em cápsulas ou comprimidos em doses bem definidas.

Ainda que, dependendo do contexto, usemos unidades diferentes para quantificarmos uma determinada grandeza, podemos compará-las e até mesmo converter uma medida para uma outra unidade. Por exemplo, uma dosagem costuma ser expressa em miligramas e a pesagem de um ser humano em quilogramas, mas em ambas as situações estamos quantificando a grandeza massa. Costuma-se utilizar os prefixos “quilo” e “mili” de maneira informal. Um quilo corresponde a um milhar de alguma grandeza, enquanto que um mili corresponde a 0,001 da grandeza (uma parte de mil). É comum os cientistas utilizem termos para simplificarem a fala, e isso ocorre comumente com valores muito grandes e muito pequenos, pois falar números extensos ocupa muito da atenção que o ouvinte está dispondo. É comum, também, que algumas palavras utilizadas não correspondam ao conceito científico. O peso, por exemplo, é um termo muito utilizado pelos cidadãos para se referir à massa de um corpo. Porém, o peso, quando inserido no campo da Física, é um conceito que representa a força gravitacional em posições próximas da superfície da Terra. Uma balança, por exemplo, realiza a medição da massa de um corpo, resultando em uma medida costumeiramente expressa em gramas, enquanto que o peso é dado em unidades de força, usualmente Newtons. A utilização dos termos peso e pesagem, porém, pode ser entendida em ambas as situações e, caso sejam utilizados nessa aula, eles representam a massa ou a medição dela. Essa discussão será realizada em aula e pode ser reforçada por meio da apresentação de um vídeo disponível no *YouTube*¹⁶.

Para dar sequência à discussão e encaminhar a resolução do problema, o professor, com o objetivo de que os alunos observem que não pode ser utilizado o mesmo instrumento para ambos os casos, perguntará: “*Como podemos realizar essa pesagem?*”. Com a pergunta “*Por que utilizamos instrumentos diferentes?*” o professor discutirá com os alunos o que é a precisão em cada caso, sempre buscando as conclusões a partir dos alunos, e fomentando a discussão caso ela tome outro rumo.

A massa é uma grandeza que influencia diversas situações. Na Física, por exemplo, é importante o conhecimento da massa dos corpos para se inferir grandezas como a força. No caso

16 Vídeo disponível em <<https://youtu.be/lRcmilYkKD4>> Acesso em 15/05/2022.

que estamos estudando aqui, a medição da massa de corpos é importante em duas situações: para conhecer a massa do animalzinho e para a determinação da dosagem do medicamento. Porém, como a massa é uma grandeza que pode apresentar valores muito pequenos ou muito grandes, é importante prestar atenção na precisão do instrumento que está sendo utilizado para a medição. A precisão de um instrumento representa a variação das medições. Uma balança de farmácia, por exemplo, frequentemente realiza a medição em múltiplos de 0,1 kg, o que significa que nesse instrumento podemos medir, com suficiente exatidão, corpos de massas de no mínimo 0,1kg. Para a medição em gramas, esse instrumento não será eficiente, pois ele dará os valores em kg, de modo que ele medirá no mínimo 100 g, e no caso de mg é de 100 000 mg. Assim, no caso em que pretendemos medir a massa de um animal e a massa do remédio prescrito, serão necessários dois instrumentos diferentes: um que permita a medição de massas maiores, e um que permita a medição de massas menores.

Para a medição apresentada nesse gabarito, foi utilizada uma balança de banheiro com incerteza de 0,1 kg e que suporta até 120 kg e uma balança de bolso com incerteza de 0,01 g que suporta até 200 g.

Na situação proposta, o remédio prescrito é nomeado *Cetoconazol gotas 20%*, um antibiótico que pode ser receitado tanto para gatos como para cachorros. A bula do remédio apresenta as seguintes informações sobre o uso veterinário: *i) 20% do peso do produto é o composto ativo; ii) Dose para cães: 20 a 40 mg/kg e dose para gatos: 10 mg/kg de composto ativo.* Isso significa que, para um cachorro de 1 kg, a dose é de 20 a 40 mg e, para um gato de 1 kg, a dose diária é de 10 mg de composto ativo. Como 20% do peso do produto é formado pelo composto, é necessária a realização de uma conversão, multiplicando-a por cinco. Assim, para o gato, a dose é de 50 mg/kg e para cães é de 100 a 200 mg/kg.

Para a atividade, foram realizadas medições da massa de um cão, quatro gatos e três protótipos feitos com pedras. A massa dos animais foi medida com uma balança de banheiro cuja menor medida é de 0,1kg, e utilizou-se água para representar o remédio, cuja massa foi medida com um conta-gotas em uma balança de bolso com menor medida de 0,01g. A Tabela 1 foi construída com os dados obtidos. As medições realizadas assim como a discussão sobre a gramatura são apresentadas aos estudantes por meio de um vídeo disponível no *YouTube*¹⁷.

17 Vídeo disponível em <<https://youtu.be/C4VzkIKJ9Nk>> Acesso em 15/05/2022

Tabela 1: Dose de remédio para o animal de acordo com a sua massa medida.

Animal	Massa corporal (+/- 0,1 kg)	Massa de remédio calculada	Massa de remédio medida (+/- 0,01 g)
Teco (cachorro)	6,6 kg	1320 +/- 20 mg	1,29 g
Darwin (gato)	4,1 kg	205 +/- 5 mg	0,20 g
Donatella (gato)	3,5 kg	175 +/- 5 mg	0,17 g
Matilda (gato)	3,1 kg	155 +/- 5 mg	0,19 g
Preto (gato)	4,6 kg	230 +/- 5 mg	0,21 g
Bruce (cachorro)	3,8 kg	760 +/- 20 mg	0,77 g
Protótipo 1 (gato)	3,0 kg	150 +/- 5 mg	0,13 g
Protótipo 2 (cachorro)	6,1 kg	1220 +/- 20 mg	1,23 g
Protótipo 2 (cachorro)	14,8 kg	2960 +/- 20 mg	2,94 g
Protótipo 3 (cachorro)	20,7 kg	4140 +/- 20 mg	4,12 g

As figuras abaixo apresentam gráficos construídos por meio do software *SciDavis*. Foram construídos dois gráficos, um para os cães e outro para os gatos, devido à diferença na dosagem de remédio dos animais. Os dados plotados correspondem à relação entre a massa de remédio e a massa do animal.

Figura 1: Gráfico representando as massas de remédio necessárias em função da massa dos gatos, assim como os dados das massas de remédio simulado medidas.

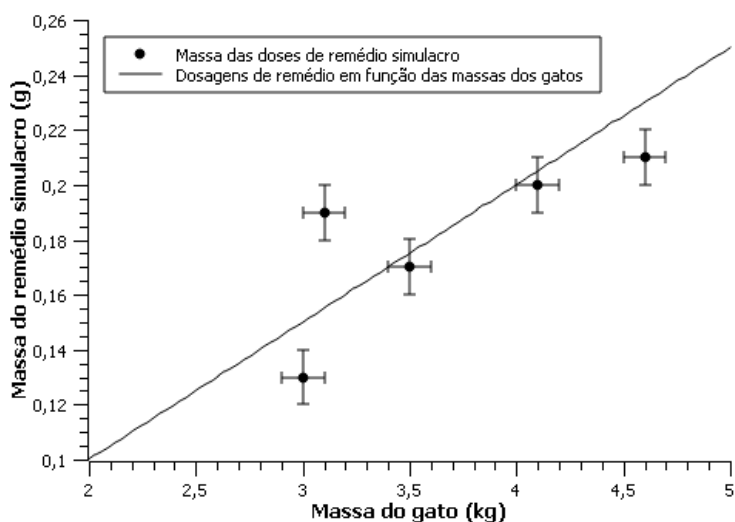
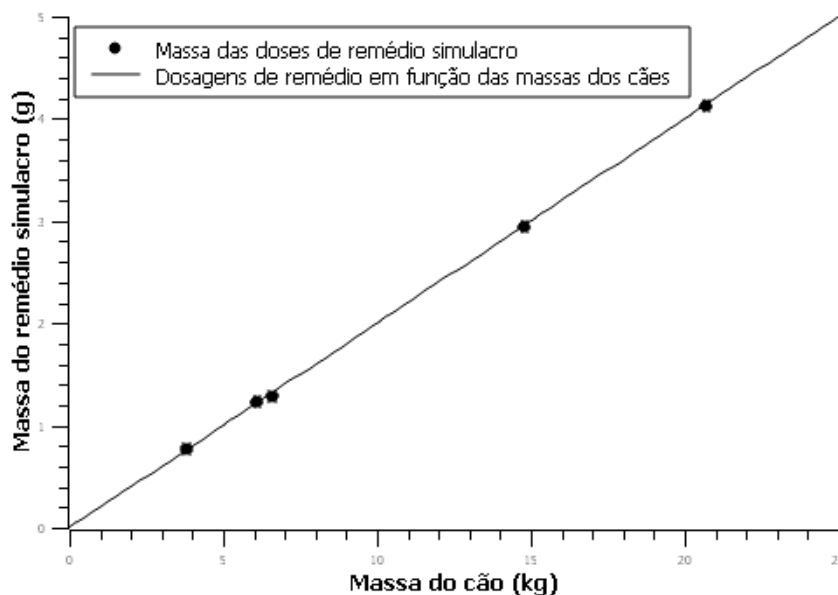


Figura 2: Gráfico representando as massas de remédio necessárias em função da massa dos cachorros, assim como os dados das massas de remédio simulado medidas.



Para a análise dos gráficos é importante observar algumas características presentes em ambas as figuras. Nelas, o eixo x representa a massa do animal, enquanto que o eixo y, a massa do remédio simulacro. Todos os dados têm associados a eles as barras de incerteza dos valores, que correspondem às barras que acompanham os dados. O erro do eixo x é de 0,1 kg enquanto que do eixo y é de 0,01g. As funções que foram plotadas são as equações utilizadas para o cálculo da quantidade de remédio necessária, sendo ela massa de remédio = fator de conversão * massa do animal / 1000; o fator de conversão é de 50 para os gatos e 200 para os cães.

Na Figura 1, nota-se maior dispersão dos dados, de modo que dois dos valores não estão em contato com a linha da função mesmo levando em conta a margem de incerteza. Isso se dá devido ao valor baixo que temos da massa de remédio e da massa dos animais, além da dificuldade de obter valores precisos com um conta-gotas, pois ele possibilitará a obtenção de massas apenas com valores que sejam uma multiplicação da massa da gota. A dificuldade com o conta-gotas parece não ser relevante quando analisamos a Figura 2, onde pode-se notar que todos os dados são coerentes com função. Isso por quê, além da massa dos animais ser mais alta, o fator de conversão é grande, fazendo com que pequenas incertezas na massa de remédio sejam menos relevantes.

O uso de gráficos desse tipo se faz relevante quando desejamos fazer inferências a partir de dados coletados. Por exemplo, com o dado da massa do animal inferimos a massa de remédio. Além disso, eles são bons para a análise da proximidade dos valores obtidos com a inferência realizada por meio de cálculos, que nesse caso é o dado da massa de remédio. Nesse caso, conseguimos controlar a massa de remédio que obteremos por meio do conta-gotas.

Apêndice E – Planejamento de Aula da Atividade “Faltou bebida no bar!”

FALTOU BEBIDA NO BAR

Pergunta geradora: *“Você é o dono de um bar e, por um descuido seu, acabaram as bebidas geladas. Como você poderia gelar as bebidas mais rápido para poder voltar a servir os seus clientes? Por que essa forma permite que as bebidas gelem mais rápido?”*

Inicialmente o professor apresentará a pergunta que guiará a problematização inicial: *“Você é o dono de um bar e, por descuido seu, acabaram todas as bebidas geladas. Como você poderia gelar as bebidas mais rápido para voltar a servir os seus clientes?”*. Os alunos serão incentivados a apresentar soluções. Espera-se que sugiram colocar sal no gelo. Caso essa resposta não seja sugerida, a discussão continuará a partir do que os alunos pontuarem. A partir da discussão, o professor debaterá com os alunos o porquê das coisas esfriarem e como é possível, então, fazer com que algo esfrie mais rápido. Para isso, podem ser feitas perguntas como *“Por que a água apenas esfria quando a colocamos na geladeira e congela quando colocamos no congelador?”*. Deseja-se assim se chegar no conceito principal da aula: a temperatura.

Buscando levar os alunos ao ponto principal da aula, o professor dará enfoque à discussão a respeito da temperatura, fazendo perguntas como *“Como podemos saber qual ambiente tem menor temperatura?”* ou *“Para falar sobre temperatura, é suficiente falarmos apenas que algo é frio ou quente?”*, que tem o objetivo de pontuar a importância da medição da temperatura. Chamando a atenção dos alunos para a incerteza que a sensação do toque traz com exemplos como um dia em que uma pessoa está de casaco e outro de manga curta, será feita a pergunta: *“Como é possível determinar a temperatura de algo? Apenas com o toque podemos ter um valor confiável?”*. Com as respostas dos alunos, o professor encaminha para as diferentes formas de medir temperatura e o porquê de se realizar essa medição.

Após, o professor conduzirá a discussão para buscar responder à pergunta inicial, agora de outra forma: *“Como podemos obter algo com temperatura inferior à do gelo? Que temperaturas conseguimos alcançar?”*. Essa pergunta será discutida em aula para que os alunos compreendam e tenham discutido o desenvolvimento da solução da pergunta geradora e o motivo da realização das medições. Na sequência os alunos assistirão um vídeo onde é realizada a medição e discutidos os cuidados que devem ser tomados e como essa medição é realizada e compreendida.

Para o resfriamento mais rápido de um corpo é necessário que ele seja submetido a temperaturas mais baixas. A água pura, no nível do mar, congela a zero graus Celsius, de modo que podemos aproximar a temperatura de cubos de gelo (água em estado sólido) por essa temperatura. Além disso, geladeiras de bares comumente estão a -4°C , de modo que, para resfriar as bebidas mais rápido do que essas geladeiras, como demanda a atividade, é necessária uma temperatura menor do que essa. Uma das formas de obter temperaturas menores é adicionando sal de cozinha (cloreto de sódio) em cubos de gelo. Nesse caso, ao entrar em contato com a camada de água presente na superfície do gelo, as moléculas de sal dissolvem, formando íons de cloro e de sódio. Nesse processo, as moléculas de sal absorvem energia do sistema, implicando a redução da temperatura do sistema formado pelo gelo, a água líquida e o sal.

Para avaliar a utilização dessa solução na resolução do problema, é necessária a medição da temperatura atingida pela mistura proposta. A temperatura é uma grandeza que é muito explorada no dia a dia das pessoas, assim como a sua medição: por exemplo, medimos a temperatura corporal para constatar a ocorrência de febre; ao sermos perguntados sobre a temperatura ambiente, é comum informarmos um dado de temperatura obtido em aplicativos ou em meios de comunicação, e assim por diante. Porém, não é raro, ao falarmos de temperatura, nos satisfizermos apenas pelas qualificações “quente” e “frio”. Nem sempre é necessária a especificação de quantos graus Celsius é a temperatura ambiente, sendo que um simples “está muito quente mesmo” basta. No entanto, existem situações em que as sensações corporais não são suficientes, ou por nos enganarem ou pela necessidade de dados mais precisos. Para a medição da temperatura corporal, por exemplo, é comum utilizarmos o tato para a constatação de que uma pessoa está com febre. Porém, como a diferença de uma pessoa com febre pode ser de apenas um grau Celsius, é necessária a medição da temperatura com suficiente precisão.

Dessa forma, é importante, quando temos em vista uma medição, atentar-nos ao objetivo que temos com ela. Essa relação determinará o cuidado utilizado na realização da medição, as influências que posso ignorar, assim como a precisão do instrumento que utilizaremos. Alguns instrumentos possuem precisões maiores ou menores e a determinação do instrumento utilizado depende da precisão que você deseja obter. No caso em que o objetivo dela está atrelado a uma pesquisa, que será socializada com outros cientistas ou comparada com outros dados, o rigor da medição deve ser elevado. A comparação de dados no contexto científico, por exemplo, só é possível se os procedimentos realizados forem controlados, possibilitando estimativas das incertezas das medições. Os instrumentos utilizados, por sua vez, precisam estar calibrados, proporcionando que o pesquisador tenha confiança nos dados coletados. Nessa aula, é necessário certo rigor nos experimentos, pois os dados serão compartilhados e comparados com os colegas.

Dados que forem tomados em situações não controlados, implicando falta de precisão sobre o evento investigado (e.g., desconhecimento sobre a concentração de sal utilizada), não poderão ser analisados de forma confiável.

Para essa investigação, foram realizadas medições para diferentes situações, sendo elas com: *i)* diferentes proporções de gelo em cubos e sal; *ii)* diferentes proporções de gelo triturado e sal; e *iii)* diferentes soluções. Para a realização das medições, foi utilizado um termômetro digital com precisão de 1°C e uma balança de bolso com precisão de 0,01g. Primeiro, foram feitas as medições das massas de gelo (inseridas em um calorímetro de isopor) e das temperaturas do gelo, e a determinação das massas do soluto (porções de sal de cozinha separadas em outro recipiente). O soluto e o gelo foram então misturados no calorímetro. As medições de temperatura foram feitas sempre após 60 segundos, que começaram a ser cronometrados a partir da mistura. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos. A apresentação das medições assim como a discussão sobre a importância do controle de variáveis nessas medições será apresentada aos alunos por meio de um vídeo disponível no *YouTube*¹⁸.

Tabela 1: Dados de temperatura para a adição de sal em uma determinada massa de gelo em cubos.

Proporção	Massa de gelo (\pm 0,01 g)	Massa de sal (\pm 0,01 g)	Temperatura inicial (\pm 1°C)	Temperatura final (\pm 1°C)
(5,4 \pm 0,6) %	74,20	3,7	1	-11
	71,65	4,6	0	-10
	75,02	3,7	0	-10
	74,67	3,7	-3	-12
	61,82	3,1	-1	-9
(9,98 \pm 0,03) %	78,07	7,8	-2	-13
	84,18	8,4	-2	-13
	71,38	7,1	1	-9
	69,86	7,0	0	-11
	75,86	7,6	0	-12
(30 \pm 2) %	80,16	24,0	1	-14
	59,44	17,8	-1	-11
	69,59	23,8	-3	-14
	40,23	12,1	1	-12
	56,04	16,8	1	-12

18 Vídeo disponível em <<https://youtu.be/r7IQbrWZP4M>>. Acesso em 15/05/2022.

Tabela 2: Temperatura para diferentes proporções de gelo triturado e sal

Proporção	Massa de gelo ($\pm 0,01$ g)	Massa de sal ($\pm 0,01$ g)	Temperatura inicial ($\pm 1^\circ\text{C}$)	Temperatura final ($\pm 1^\circ\text{C}$)
$(5,0 \pm 0,2)\%$	43,87	2,19	1	-10
$(21,3 \pm 0,2)\%$	47,89	10,21	0	-16
$(30,0 \pm 0,1)\%$	38,61	11,58	0	-17
$(49,7 \pm 0,3) \%$	53,75	26,70	-1	-19

Tabela 3: Temperatura para diferentes soluções

Solução	Massa de gelo ($\pm 0,01$ g)	Massa de soluto ($\pm 0,01$ g)	Proporção de soluto	Temperatura inicial ($\pm 1^\circ\text{C}$)	Temperatura final ($\pm 1^\circ\text{C}$)
Açúcar + gelo	69,73	19,00	$(27,2 \pm 0,5) \%$	1	-1
Água + gelo + sal	110,30	5,10	$(5 \pm 1) \%$	0	-2
Água + gelo + sal	186,90	19,10	$(10 \pm 3) \%$	2	-3
Álcool + gelo + sal	143,35	14,35	$(10 \pm 2) \%$	1	-6
Café solúvel + gelo	65,53	6,57	$(10,0 \pm 0,4) \%$	1	-1

Por meio da Tabela 1 pode-se perceber que os valores da temperatura utilizando o gelo em cubos não tiveram uma diferença significativa para diferentes proporções de sal para a massa de gelo. Já ao analisar a Tabela 2, pode-se perceber que essa diferença se torna mais significativa quando é utilizado gelo triturado. Isso porque o uso de gelo triturado implica o aumento da superfície de contato do gelo com o sal, de modo que o sal derrete o gelo com maior facilidade, exigindo que seja absorvida mais energia de dissolução do sistema. Percebe-se, inclusive, que com algumas proporções de sal, pode-se atingir temperaturas próximas de -20°C .

A análise das tabelas 2 e 3 mostra que, entre as misturas analisadas, a mistura que atingiu a menor temperatura foi a de gelo triturado e sal. Outras proporções e misturas poderiam ter sido analisadas, mas optamos aqui por analisar com mais profundidade o uso de gelo com sal. É importante ressaltar que, por mais que tenham sido realizadas com alto rigor metodológico, as medições possuem influências do ambiente, tal como flutuações estatísticas de medição de modo que apenas uma medição para cada situação não possibilita inferências confiáveis. Os valores apresentados nas tabelas 1, 2 e 3 são funcionais para fins de curiosidade e para comparação, porém apresentam baixo valor científico. Assim, para um estudo mais preciso, foram realizadas novas

medições com proporção de 5% de sal em gelo em cubos. Sabe-se que as menores temperaturas foram atingidas com o gelo triturado, porém, devido à rapidez com que o gelo triturado derrete, torna-se mais factível as medições, e a análise, com o gelo em cubos. Os dados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

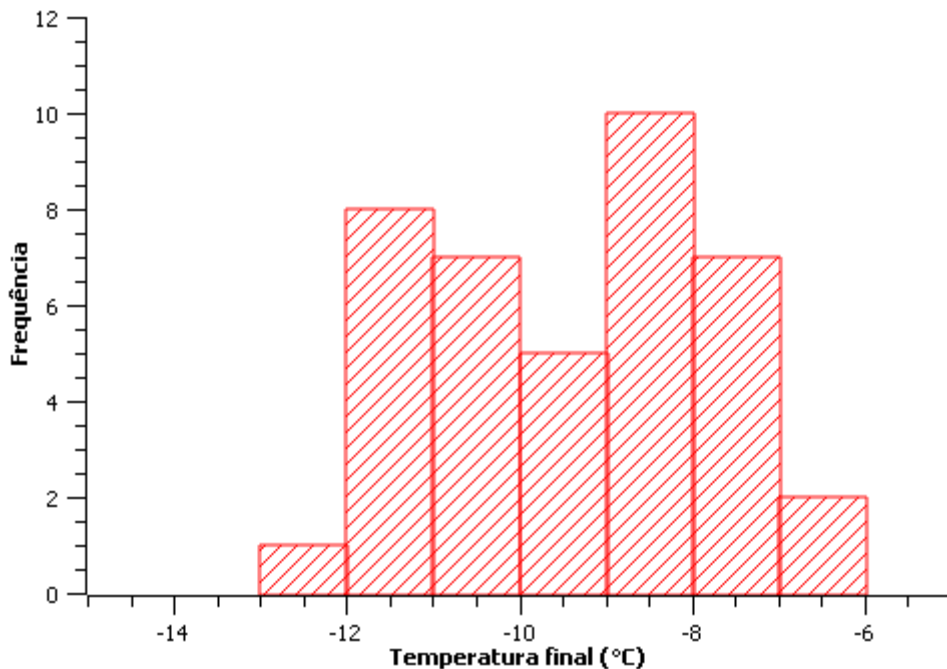
Tabela 4: Temperaturas obtidas para a solução de gelo e (5,00 +/- 0,08) % da massa de gelo em sal.

Massa de gelo (+/- 0,01 g)	Massa de sal (+/- 0,01 g)	Temperatura inicial (+/- 1 °C)	Temperatura final (+/- 1 °C)
64,08	3,22	-1	-13
61,32	3,05	0	-12
54,78	2,73	1	-8
67,53	3,37	1	-11
67,38	3,38	1	-7
72,22	3,67	0	-11
71,63	3,74	1	-9
62,79	3,19	1	-8
60,48	3,06	0	-8
67,23	3,37	0	-9
72,26	3,56	-1	-11
59,97	3,00	1	-10
62,73	3,16	0	-9
59,67	2,94	0	-8
66,62	3,37	1	-9
61,99	3,11	0	-9
71,38	3,57	0	-11
63,10	3,17	0	-8
69,69	3,45	-1	-10
61,28	3,04	-1	-9
65,55	3,25	0	-8
63,14	3,17	0	-12
70,35	3,54	0	-9
62,67	3,14	-1	-8
63,53	3,28	-1	-7
55,08	2,55	0	-9
63,53	3,19	-3	-12
63,13	3,14	-2	-12

44,44	2,22	-2	-12
48,17	2,44	-4	-12
74,20	3,71	1	-11
71,65	3,62	0	-10
75,02	3,75	0	-10
74,67	3,70	-3	-12
61,82	3,16	-1	-9
76,06	3,81	1	-9
76,30	3,83	0	-12
56,77	2,83	0	-11
55,33	2,78	1	-11
63,53	3,20	-3	-10

Utilizando os dados da Tabela 4 e o programa *SciDavis*, foi construído o histograma que está apresentado na Figura 1. Ele representa a frequência com que as medições se concentravam em cada determinada faixa de valores. Nesse caso, as faixas têm 1°C de largura, tamanho da incerteza das medições. Ainda utilizando esse software, determinou-se a média e a incerteza da média da temperatura final (T), sendo $T = -9 \pm 2^\circ C$.

Figura 1: Histograma construído por meio da temperatura final presente na Tabela 4



Analisando o histograma, percebe-se que as medições apresentam grande dispersão. A grande variação nos dados pode se dar devido à dificuldade de medição da temperatura de cubos de

gelo utilizando um termômetro digital. Dessa forma, nota-se a importância da realização de diversas medições para a conclusão do valor da grandeza investigada.

Temos, portanto, que $T = -9 \pm 2^\circ C$, valor que pode ser melhor compreendido por meio da análise da Figura 1: a média encontra-se próxima dos valores com maiores frequências e a incerteza de $2^\circ C$ é razoável frente à dispersão dos dados vista na figura. Assim, conclui-se que a mistura entre sal e gelo será efetiva para o resfriamento das bebidas de maneira mais rápida. Lembrando que, além da temperatura ser mais baixa que a temperatura média de uma geladeira ou mesmo de um congelador, a mistura de água e sal é um condutor excelente, diferente do ar, que é isolante, e é o que retira a energia da bebida no congelador.

Apêndice F – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, declaro por meio deste termo que autorizo a participação do(a) aluno(a) _____ do sétimo ano do Colégio _____, do qual sou responsável legal, na coleta de dados de uma pesquisa sobre o ensino do processo de medição no Ensino de Física. A pesquisa será realizada pela mestranda Letícia Tasca Pigosso (e-mail letitascap@hotmail.com), do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do professor Dr. Leonardo Albuquerque Heidemann. Nosso objetivo é avaliar as implicações de atividades investigativas focadas no conceito de medição científica na aprendizagem de estudantes da Educação Básica. Declaro que fui informado que: *i.* a identificação do aluno(a) será mantida em sigilo em quaisquer publicações científicas em que elas venham a ser veiculadas; *ii.* as declarações e imagens coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos (e.g. artigos científicos, palestras, seminários, etc.); *iii.* a participação na pesquisa será inteiramente voluntária; *iv.* não haverá quaisquer despesas para a participação, nem remuneração de qualquer tipo; *v.* você poderá interromper a participação do(a) aluno(a) a qualquer momento, bastando para isso manifestar o seu desejo para os pesquisadores (através de comunicação eletrônica); *vi.* este termo de consentimento foi elaborado em duas vias, sendo uma delas para você, participante da pesquisa, e outra para os pesquisadores. A colaboração terá início a partir da entrega do presente termo devidamente assinado, sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Caxias do Sul, ____ de _____ de 2021.

Leonardo Albuquerque Heidemann

Letícia Tasca Pigosso

Assinatura do responsável

Apêndice G – Termos de Assentimento Livre e Esclarecido
TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, aluno(a) do sétimo ano do Colégio Murialdo, declaro por meio deste termo que me voluntario a participar da coleta de dados de uma pesquisa sobre o ensino do processo de medição no Ensino de Ciências. A pesquisa será realizada pela mestrandia Leticia Tasca Pigosso (e-mail letitascap@hotmail.com), do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do professor Dr. Leonardo Albuquerque Heidemann. Nosso objetivo é avaliar as implicações de atividades investigativas focadas no conceito de medição científica na aprendizagem de estudantes da Educação Básica. Declaro que fui informado que: *i.* a identificação do aluno(a) será mantida em sigilo em quaisquer publicações científicas em que elas venham a ser veiculadas; *ii.* as declarações e imagens coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos (e.g. artigos científicos, palestras, seminários, etc.); *iii.* a participação na pesquisa será inteiramente voluntária; *iv.* não haverá quaisquer despesas para a participação, nem remuneração de qualquer tipo; *v.* você poderá interromper a participação do(a) aluno(a) a qualquer momento, bastando para isso manifestar o seu desejo para os pesquisadores (através de comunicação eletrônica); *vi.* este termo de consentimento foi elaborado em duas vias, sendo uma delas para você, participante da pesquisa, e outra para os pesquisadores. A colaboração terá início a partir da entrega do presente termo devidamente assinado, sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Caxias do Sul, ____ de _____ de 2021.

Leonardo Albuquerque Heidemann

Leticia Tasca Pigosso

Assinatura do aluno participante

Apêndice H – Entrevistas

Eixos de análise	Pergunta
<p>Concepções epistemológicas sobre o processo de medição</p>	<p>Vamos supor que pretendemos medir o tempo de reação de pessoas de diferentes idades e relacionar o tempo de reação com a idade. Como você faria essas medições? Quantas medições você faria?</p>
	<p>Quando queremos medir alguma coisa, o que fazemos? E como essa medição é feita em uma situação científica?</p>
	<p>Por que quando falamos sobre dados em uma conversa informal, não informamos as incertezas desses dados?</p>
	<p>Vamos levar em conta a temperatura do corpo humano. Quando medimos a temperatura de diferentes pontos do corpo, cada medição resultará em uma temperatura diferente, porém ao informarmos a temperatura do nosso corpo a um médico, informamos apenas uma temperatura. Por que isso faz sentido? Por que para um médico não apresentamos todas as temperaturas do corpo humano?</p>
<p>Concepções procedimentais sobre o processo de medição</p>	<p>O que é a média de um conjunto de dados? Como ela auxilia na representação de todas as medições?</p>
	<p>O que é um histograma? Como o uso de histogramas pode ser utilizado na construção da ciência?</p>
	<p>O que é a incerteza de uma medição experimental? Por que é importante levar em conta a incerteza de uma medição?</p>