

A importância da comunicação qualificada de ideias no ensino de ciências

Gabriel Dall’Alba (gdalba@phas.ubc.ca)

Mestrando em Ciências Genômicas e Tecnologia, University of British Columbia

Guilherme Brambatti Guzzo (gbguzzo@ucs.br)

Doutor em Educação em Ciências e Matemática, Universidade de Caxias do Sul

DOI: 10.18226/25253824.v6.n10.01

Submetido em: 08/09/2021 Revisado em: 11/10/2021 Aceito em: 14/10/2021

Resumo: O ensino de ciências envolve aspectos que vão além dos chamados produtos científicos: ideias, teorias, hipóteses, leis e resultados. Qualquer educação que almeje a compreensão plena da ciência como um empreendimento humano deve incorporar no ensino das matérias científicas qualidades epistemológicas da natureza da ciência. Uma das estratégias para fomentar a compreensão dessas características é o emprego formal da qualificação de ideias através de termos guarda. Neste trabalho de natureza teórica, discutimos, a partir do aporte de referenciais recentes na área, algumas das características epistêmicas da ciência – o falibilismo epistemológico, a abertura a novas ideias e o processo de revisão contínua – e sua conexão com a qualificação de ideias em sala de aula. Argumentamos que o emprego de frases e termos que melhor demonstrem a força das evidências que existem para uma dada ideia são capazes de melhor refletir a presença destes elementos durante o processo científico. A substituição de termos como “provado” ou “foi comprovado que” por “provável” ou “evidências indicam que” descreve mais adequadamente o *status* epistêmico das ideias científicas, que não estão fixadas entre verdadeiro ou falso, mas sim contidas em um complexo espectro de probabilidades. Reforçar o ensino de ciências com ênfase no entendimento da natureza da ciência pode auxiliar a resolver problemas modernos, como a crescente descrença nos esforços de cientistas e nos produtos de suas pesquisas, como vacinas e medicamentos, bem como dosar razoavelmente a força com a qual podemos depositar nossas crenças neles.

Palavras-Chave: Ensino de Ciências, Pensamento Crítico, Natureza da Ciência, Qualificação de Ideias, Termos Guarda.

Abstract: Science education involves several features that are beyond the so-called products of science: ideas, theories, hypotheses, laws, and results. Any education that aims the full comprehension of science as a human endeavor should incorporate epistemic qualities of the nature of science in the teaching of scientific content. One strategy for promoting the transmission of these features is the formal employment of qualification of ideas through guarding terms. Here, we discuss some of the epistemic features of science and their connection to the qualification of ideas in classrooms: epistemic fallibilism, open-mindedness, and the ongoing review process. We argue that the employment of terms and sentences that better reveal the strength of the existing evidence for a given idea can better reflect the presence of those science features on the scientific process. The substitution of terms such as “proven” or “it was proven that” by “probable” or “evidence suggests that” can better describe the epistemic status of scientific ideas, which are not fixed between true or false, but contained in a complex spectrum of likelihood. Strengthening science education with emphasis on the understanding of the nature of science can help to fix modern problems, such as the increasing distrust in science and in their products, such as vaccines and pharmaceutical drugs, as well as helping to reasonably dose the strength of the belief on those ideas.

Keywords: Science Education, Critical Thinking, Nature of Science, Qualification of Ideas, Guarding Terms.

Introdução

O ensino de ciências engloba aspectos que vão além da apresentação de ideias, teorias, hipóteses, leis e resultados. É também uma apresentação das razões que sustentam esses produtos do empreendimento científico e dos meios pelos quais chegamos a essas conclusões. Por isso, ensinar ciências demanda que educadores estejam não somente a par do conteúdo programático de uma disciplina em que o ensino de ciências é aplicado, mas também daquilo que chamamos de natureza da ciência [1].

A investigação sobre a natureza da ciência busca entender os aspectos epistemológicos e ontológicos de como ela funciona e se apresenta como um empreendimento humano, buscando também resolver problemas históricos, como o problema da demarcação (o que separa a ciência das demais maneiras de investigar o mundo?) [1]. Quando falamos em natureza da ciência, estamos falando, essencialmente, do conjunto de características que formam o que entendemos como ciência: a maneira como cientistas trabalham, investigam e analisam os diversos fenômenos presentes na natureza; como cientistas se organizam e relacionam-se entre si e com a sociedade e como a ciência e seus métodos respondem às mais diversas perguntas [2].

McComas e Clough [1] argumentam que qualquer pessoa que aspire a ser bem instruída em ciência deve não apenas compreender o conhecimento fundamental das matérias científicas, mas também entendê-la como “uma maneira de saber”. Em sala de aula, isso significa estar interessado em suas características epistêmicas e entender as razões pelas quais ideias oriundas do empreendimento científico são ensinadas em ambientes escolares [3-6].

Qualquer educação que queira fomentar o entendimento do que é ciência pode se beneficiar da incorporação de elementos que permeiam – e muitas vezes sustentam – as ideias científicas discutidas em sala de aula. Para Arthury e Garcia [7] e Fernández et al. [8], a transmissão rígida de resultados da ciência pode levar a um entendimento equivocado do que ela é e de como ela funciona. De fato, a ausência de uma reflexão mais aprofundada sobre a natureza da ciência por parte de um educador pode dificultar o entendimento dos motivos pelos quais podemos confiar em ideias científicas.

Quando discutimos a qualidade do ensino de ciências, levamos em consideração também a importância e a função do educador nesse processo. Já argumentamos, alinhados com uma

série de autores (ver, por exemplo, [9-15]), que o educador, para auxiliar seus estudantes a compreenderem os conceitos científicos, deve ser idealmente um modelo de pensador crítico para eles. Ou seja, nas suas práticas profissionais e no emprego de estratégias de avaliar razões, um educador idealmente deve demonstrar aos seus alunos que aquilo que sustenta a prática científica pode ser visto, também, na maneira como ele ou ela a compreende, de que forma a aborda e como se comporta perante ela. Em outras palavras, se um educador deseja comunicar que devemos estar sempre abertos a novas ideias ou à possibilidade de estarmos errados, por exemplo, o próprio educador deve demonstrar que esses ideais fazem parte da sua conduta dentro da sala de aula.

Uma estratégia para refletir a natureza da ciência durante a comunicação de ideias científicas pode ser por intermédio de um conceito denominado “qualificação de ideias” ou “comunicação qualificada de ideias” [16]. A ideia de qualificar aquilo que apresentamos a outros significa atribuir às nossas afirmações um adequado grau de proporcionalidade às evidências disponíveis, também indicando o *status* epistêmico daquela ideia. Sinnott-Armstrong [16] argumenta que isso é possível utilizando os chamados “termos guarda” ou, como chamamos, “qualificadores”: expressões como “é provável”, “é possível”, “indicam que”, ao invés de termos como “provado”, “comprovado” ou “as provas encontradas”, reduzem a impressão de absolutismo em nossas afirmações. Isso, por consequência, melhor reflete a natureza da ciência, como descrevemos ao longo deste artigo.

Uma característica da boa comunicação em ciência é, portanto, a capacidade de devidamente dosar a força de afirmações e a capacidade de escolher palavras que simultaneamente transmitam as ideias científicas e melhor se alinhem ao que compreendemos sobre a natureza da ciência. Aqui, pretendemos discutir algumas das qualidades intrínsecas da ciência, a sua relação com o ensino de ciências e de que maneira estratégias como o emprego de termos “qualificadores” na comunicação de ideias em sala de aula podem resultar em um melhor entendimento da natureza da ciência e, por extensão, auxiliar no desenvolvimento do pensamento crítico em estudantes.

Para isso, primeiro abordaremos algumas das características epistêmicas da ciência. Em seguida, discutiremos e exemplificaremos a qualificação de ideias em sala de aula e sua importância para o entendimento de ciência.

1. Características epistêmicas da ciência

O trabalho de cientistas ao redor do mundo revela que o processo científico possui uma série de elementos fundamentais para o seu funcionamento. Aqui, nosso objetivo é apresentar três deles que são particularmente pertinentes para a discussão da qualificação de ideias, embora reconhecendo que somente estes não representam a totalidade de características epistêmicas da ciência: (i) o *falibilismo* epistemológico; (ii) a “abertura a novas ideias” e (iii) a revisão contínua de trabalhos, resultados

e conclusões. Os três itens estão fortemente conectados, como veremos a seguir, e podem ser observados nos mais diversos casos científicos.

1.1 O *Falibilismo* epistemológico

Falibilismo epistemológico é, de acordo com Leite [17], uma atitude ou postura intelectual. Acrescentamos que essa é uma *constante* postura intelectual encontrada em (ou empregada por) cientistas. O *falibilismo* epistemológico é a noção de que o presente estado das nossas ideias e crenças – ou, se tratarmos em termos estritamente científicos, dos resultados, conclusões e interpretações oriundos de empreendimentos científicos – não é imutável. Pelo contrário, é entender que este estado é provisório e passível de correções frente a evidências que assim surgirem. É entender que nossas ideias, independentemente do quão confiantes possamos estar sobre a força delas, podem estar erradas ou incompletas, e que por isso devemos entreter a possibilidade de elas serem corrigidas ou aprimoradas – e assim aceitar quando houver razões adequadas para isso.

Ideias científicas essencialmente incorporam o *falibilismo* em sua estrutura. Por isso, naturalmente não é surpreendente que cientistas, por extensão, também incorporem essa característica. Um bom exemplo está em uma das tarefas corriqueiras de pesquisadores e pesquisadoras: a publicação de um trabalho científico e a etapa de revisão por pares. Faz parte do processo de apresentação de ideias científicas que os autores e autoras de um trabalho o submetam ao escrutínio de alguns colegas cientistas, geralmente anônimos. Esses revisores anônimos buscam rigorosamente por possíveis erros metodológicos, tropeços na apresentação e estruturação lógica do trabalho, ideias mal fundamentadas, incongruências entre dados e conclusões, e procuram reconhecer também os acertos daqueles cientistas, entre tantos outros elementos. O trabalho é, então, aprovado, rejeitado ou devolvido com sugestões que possam aprimorá-lo.

A grande característica do empreendimento científico aqui é que, no caso de o trabalho ser aceito pelos pares e finalmente apresentado ao público geral como um manuscrito publicado, ele não recebe, então, um “passe livre epistêmico”. Ele, em princípio, estará sob escrutínio contínuo, mas agora também pelos demais membros da comunidade científica. Ou seja, a aprovação do trabalho não o isenta da crítica. É importante que se leve em consideração a possibilidade de erros terem passado despercebidos (o que nada mais é que o reconhecimento do *falibilismo* dos revisores) durante a revisão por pares. Embora isso seja possível, não significa que a revisão por pares foi completamente falha, mas serve como um lembrete de que, como qualquer outra atividade feita por humanos, científica ou não, é passível de falhas.

Sagan [6] explica o caráter *falibilista* da ciência utilizando o processo de obtenção do título de doutor em ciências como exemplo – e que pode ser estendido para as demais etapas de formação acadêmica. Sagan explica que, para o doutorando ou

estudante que se aproxima da defesa de sua tese, é necessário desenvolver estratégias para o que vai ser um momento de intenso escrutínio de suas ideias e conclusões. Uma dessas estratégias é a habilidade de antecipar perguntas que podem ser feitas pela banca examinadora. Este é um dos momentos em que, afirma Sagan, o estudante intensamente busca encontrar os pontos fracos de suas ideias: “Em que lugares da minha dissertação existem pontos fracos e que outras pessoas poderiam encontrar? É melhor identificá-lo antes que elas o façam” [6].

Ou seja, se não aceitamos que podem existir falhas naquilo que fazemos ou que pensamos, por consequência não concebemos a possibilidade de que outros identifiquem tais falhas – o que é um impedimento ao diálogo e à discussão de ideias [18]. Além disso – e voltaremos a esse tema nas próximas seções deste artigo –, a falha no reconhecimento do *falibilismo* em ideias científicas pode erroneamente guiar alunos em sala de aula à noção de absolutismo na ciência e de que as conclusões de cientistas ou de trabalhos científicos são “provas” definitivas daquilo que afirmam – ou que um único trabalho é suficiente para conceder a uma ideia o *status* epistêmico de “acima da dúvida razoável” [19].

Argumentamos que é importante identificar e discutir em sala de aula a ideia do *falibilismo* presente em ideias científicas por dois motivos principais: (i) o *falibilismo* permite reconhecermos a natureza não absoluta das ideias científicas e que uma das qualidades de um cientista é ser capaz de apresentar suas ideias refletindo isso; e (ii) compreender o *falibilismo* em ideias científicas serve também como um argumento a favor do mérito científico, uma vez que reflete a preocupação por parte dos cientistas em almejar as melhores aproximações possíveis do que pode ser considerado a verdade sobre um determinado assunto.

A grosso modo, o entendimento do mundo ao nosso redor não escapa da sua natureza *falibilista* [3]. Não sabemos se é possível determinar com garantia que uma ideia está acima da dúvida possível [19], mas isso não significa que então devemos sucumbir ao relativismo epistêmico, como o defendido por [7, 20-21]. Pelo contrário, a natureza *falibilista* das nossas maneiras de investigar o mundo e dos nossos próprios processos cognitivos serve como um lembrete da necessidade de um constante aperfeiçoamento de ideias, teorias e conclusões – tarefa que é executada constante e incessantemente por cientistas ao redor do mundo.

1.2 A abertura a novas ideias

Hare [11] descreve a abertura a novas ideias como uma postura intelectual em que um indivíduo entretém ideias que não vão de acordo com aquelas que ele ou ela assume serem corretas (ou assume serem a verdade sobre um determinado assunto). Ele descreve uma pessoa aberta a novas ideias como “disposta a revisar ou rejeitar a posição que ela assume se fortes objeções forem levantadas contra ela, [...] ela está disposta a formar seu ponto de vista à luz das evidências e argumentos disponíveis o mais objetiva e imparcialmente possível”.

A abertura a novas ideias parece ser uma sequência lógica da noção do falibilismo: se nosso entendimento sobre um determinado assunto pode estar errado, devemos estar atentos a novos conjuntos de evidências que tragam uma melhor apreensão sobre ele. Segundo Hare [22], se não pensamos que ideias distintas têm graus de plausibilidade distintos (umas mais e outras menos plausíveis, considerando as evidências disponíveis para elas), então não há razões para empregar uma postura intelectual como essa.

Da mesma forma, não haveria razões para empregarmos estratégias de investigação se não há diferenças epistêmicas entre diferentes ideias. Por isso, a abertura a novas ideias vai de encontro com o exercício do pensamento crítico [23] – sendo um fundamental componente deste – e também se apresenta como um importante elemento do *kit* de posturas intelectuais que um cientista emprega durante uma investigação científica. Por isso, essa ideia possui também implicações diretas para o ensino de ciências.

A abertura a novas ideias determina que um indivíduo (neste caso, um “indivíduo de mente aberta”) não deve pensar seletivamente sobre quaisquer ideias, principalmente sobre aquelas que são queridas para si e que, por isso, são mais defendidas por orgulho pessoal do que pela sua competência epistêmica [24-25]. Ou seja, é um indivíduo que opta por utilizar todo o seu arsenal de habilidades cognitivas na avaliação de ideias.

De tal maneira, cientistas idealmente não devem se comportar como “indivíduos de mente fechada”. Como Hare (2003) defende, a investigação (seja científica ou não) guiada pelo princípio da abertura a novas ideias compreende mais do que a avaliação de uma ideia: ela inclui o cuidado com ideias e razões preconcebidas, conclusões apressadas e vieses que podem estar influenciando nossos processos cognitivos [22, 26].

Isso se dá também pela própria natureza da investigação científica. Como McIntyre [3] argumenta, resultados de pesquisas científicas são inevitavelmente *open-ended*, ou “ficam em aberto”, no sentido de que sempre estarão sujeitos à revisão no futuro. Essa é uma das características fundamentais da ciência, evidenciando uma de suas forças maiores (a permissão à revisão) e sua flexibilidade como uma maneira de investigar o mundo (por permitir que ideias que nascem através da investigação científica sejam modificadas de acordo com novas evidências).

Um exemplo clássico é o da teoria da evolução por seleção natural. Por mais de 160 anos, cientistas de diferentes origens, em diferentes épocas e diferentes lugares do mundo coletaram e ainda coletam evidências sobre a teoria elaborada por Darwin e Wallace (que, por sua vez, assim o fizeram baseados em inúmeros trabalhos e autores anteriores). Hoje, dado o montante de evidências que dão suporte a essa teoria, parece desnecessário continuar a encontrar evidências que a sustentem, mas essa é uma das características naturais da ciência: mesmo com uma quantidade significativa

de evidências (favoráveis ou não a uma ideia), nunca há uma resposta final, um ponto de corte entre “acima da dúvida razoável” e “acima da dúvida possível” [19], e esse é o caráter *open-ended* da investigação científica.

Adicionalmente, Pigliucci [27] argumenta que o que um “indivíduo de mente aberta” deve fazer é *aceitar* – mas não acriticamente – a teoria da evolução por seleção natural como o mecanismo que explica a evolução dos seres vivos em nosso planeta. Essa ideia contraria a noção comum de que um indivíduo de mente aberta seria aquele que está disposto a *acreditar* em qualquer ideia. Na verdade, estar aberto a novas ideias significa não blindar as conclusões de seu gosto das críticas e da possibilidade de serem revisadas.

A ênfase aqui está na aceitação não acrítica dessas evidências. Uma qualidade do ensino de ciências é refletir na sua abordagem a exigência de avaliação de ideias por parte dos alunos, que para isso devem demandar evidências para afirmações feitas em sala de aula. Como Hare [22] defende, o ambiente educacional se beneficia dos pressupostos epistemológicos da abertura a novas ideias. Se adotarmos esses princípios em sala de aula, então partimos do pressuposto de que a discussão de ideias e conceitos em sala de aula – independentemente da disciplina – serve não para “reforçar preconceitos ou aceitar crenças acriticamente”, mas sim para demonstrar que aquilo que é comunicado é fruto de “[...] processos contínuos e falíveis, moldados por ideais como o entendimento, o julgamento, a apreciação, a interpretação robusta e o conhecimento”.

Dentro de escolas, universidades ou outras instituições educacionais onde o ensino de ciências é proposto, cabe então o emprego dessa postura intelectual em reflexo da própria natureza da ciência, evidenciando que ideias científicas são aprimoradas porque os cientistas estão dispostos a entreter criticamente evidências que apontem para melhorias em suas ideias.

1.3 A revisão contínua

Como exposto anteriormente, o que McIntyre [3] argumenta sobre ideias científicas nunca atingirem um *status* epistêmico de “acima da dúvida possível” e, por isso, estarem sempre sujeitas à revisão futura, é o que chamamos de “processo de revisão contínua” na ciência. A noção de que ideias, teorias e corpos de conhecimento são constantemente revisados – como a teoria da evolução por seleção natural, ou o que entendemos sobre o coronavírus SARS-CoV-2, sobre possíveis medicamentos e sobre a eficácia das vacinas frente a novas variantes do vírus – é um exemplo que demonstra o caráter contínuo de revisão na ciência.

Por isso, a ciência como uma atividade requer do cientista também cautela na força que é atribuída a afirmações ou interpretações de resultados. Recentemente, um caso envolvendo o premiado cientista Mario Molina – a quem se atribui grande parte do entendimento do efeito de gases emitidos por atividades

humanas na camada de ozônio – revela um pouco desse aspecto da conduta científica.

Durante os primeiros meses de combate à pandemia provocada pelo coronavírus SARS-CoV-2, Molina et al. [28] publicaram um estudo na revista *Proceedings of the National Academy of Science* (PNAS), argumentado que a forma dominante de dispersão do vírus é a transmissão por via aérea, por meio de partículas de aerossol.

Molina et al. [28] concluíram também que a medida protetiva mais eficaz para conter o novo coronavírus era, portanto, o uso mandatório de máscaras e que essa era a única razão pela qual o aumento linear de casos em locais como a Itália e Nova York – onde foi observado um aumento expressivo e rápido de casos ainda no início da pandemia – foi interrompido.

Contudo, uma semana após a publicação do artigo, uma carta assinada por mais de 40 cientistas foi encaminhada à revista PNAS recomendando a retratação do artigo [29-30]. No documento, os cientistas demonstram falhas metodológicas e argumentos claramente falseáveis no trabalho de Molina e seus colegas, ultimamente demonstrando que as duas principais conclusões do artigo (o uso mandatório de máscaras como a única explicação para a interrupção no aumento de casos na Itália e em Nova York e que a transmissão do SARS-CoV-2 é predominantemente aérea, por meio de partículas de aerossol) não eram devidamente suportadas pelas evidências que o grupo apresentou.

Nos meses que seguiram à publicação do artigo, surgiram evidências que corroboram a eficácia das máscaras no freio da transmissão do novo coronavírus e que sustentam a transmissão por aerossóis como um importante mecanismo de dispersão do vírus [31]. O artigo nunca chegou a ser retratado, mas ele foi corrigido.

Embora as conclusões de Molina e seus colegas fossem razoáveis e posteriormente tenham sido corroboradas, o pedido de retratação foi também razoável e por um motivo principal: as conclusões foram apresentadas de maneira absoluta, com o uso de termos demasiadamente determinísticos, como “dominante” e “única”.

A crítica da carta nasceu principalmente em razão de as conclusões serem desproporcionais à qualidade das evidências que as sustentavam. Após considerar os argumentos contrários, Molina declarou publicamente que “[...] a linguagem do artigo pode ter sido muito forte [...] Talvez tenhamos exagerado em algumas frases aqui, e nós nos desculpamos. Deveríamos ter sido um pouco mais cuidadosos com a linguagem” [32].

Outra maneira que cientistas encontram para reforçar a revisão contínua na ciência é moderando a força com que apresentam as suas conclusões. Isso é também apresentar ao

interlocutor uma indicação honesta do *status* epistêmico delas. Um caso interessante que demonstra isso envolve a possível detecção de fosfina (PH_3) na atmosfera do planeta Vênus [33]. Fosfina é uma molécula que, pelo que conhecemos até o presente momento, só ocorre naturalmente no nosso planeta, sendo resultante de atividades biológicas como a decomposição aeróbica de fosfatos em matéria orgânica [34]. Além disso, não há fontes não biológicas de fosfina conhecidas no nosso planeta.

Greaves et al. [33] utilizaram espectroscopia de absorção milimétrica para detectar moléculas que contêm fósforo em pelo menos parte da sua estrutura molecular em nuvens venusianas, aproximadamente 50 km acima da superfície do planeta vizinho. O grupo aparentemente havia tropeçado numa descoberta capaz de revolucionar nosso entendimento de processos físicos e biogeoquímicos além da Terra, ou abrir precedente para isso. Contudo, grupos diferentes ao redor do mundo, utilizando os dados que a equipe de Greaves tornou de público acesso, refizeram os cálculos originais e não foram capazes de replicá-los [35-36].

O que os diferentes grupos encontraram é que alterações nas estratégias de redução de ruído nos dados – o que é uma prática comum e necessária em pesquisas astronômicas – faziam com que o sinal da fosfina desaparecesse, reduzisse em intensidade ou se corrigisse para dióxido sulfúrico (SO_2), cujo sinal de detecção é similar ao da fosfina. Além disso, o que os grupos fizeram não foi apenas aplicar diferentes filtros de ruído, mas também abordagens consideravelmente mais simples, indicando que o grupo original da pesquisa – o qual utilizou métodos curiosamente complexos – assim o fez desnecessariamente, e isso pode tê-los guiado a conclusões equivocadas.

Em diferentes meios jornalísticos que discutiram o caso, é possível ver clássicos equívocos na comunicação científica tanto sobre a fosfina ter sido detectada quanto sobre a correlação disso com a vida fora da Terra. Enquanto o debate sobre a fosfina continua em aberto, em uma exemplar demonstração de como a ciência funciona, a má comunicação a respeito do que os resultados apresentam (seriam evidências derradeiras de processos biológicos fora da Terra ou apenas sugestões sobre a possibilidade de fosfina ter sido detectada em Vênus?) afastou a relação do caso com a natureza da ciência do público geral.

Contudo, no artigo original, as ideias de Greaves et al. [33] estão adequadamente qualificadas. No resumo do artigo, os autores “reportam a *aparente* presença de fosfina” e, mesmo discutindo amplamente possíveis explicações para a presença de PH_3 na atmosfera venusiana, eles concluem que “a presença de fosfina não é evidência robusta para a vida, apenas para química anômala e não explicada”.

O que se entende do artigo de Zhang et al. [28] é que as críticas ao trabalho talvez fossem mais moderadas (ou sua aceitação fosse maior) caso os próprios autores tivessem calibrado a força das suas conclusões em função da força das evidências

que eles haviam apresentado. No caso do artigo de Greaves et al. [33], os próprios autores indicam a falibilidade de suas ideias através do uso de termos guarda [16], como “aparente”, “provável” ou “possível”, sendo dever dos comunicadores de ciência e educadores refletir isso adequadamente – reforçando, assim, o caráter de revisão contínua da ciência.

O artigo sobre a possível presença de fosfina em Vênus teve suas falhas eventualmente expostas e, com isso, o grau de confiança nas conclusões dos autores foi modificado de acordo. A utilização de termos e sentenças que indicam certeza na conclusão dos autores não reflete adequadamente a possibilidade de futuras revisões e correções do trabalho original, omitindo essa e outras características importantes da natureza da ciência no processo.

O processo de revisão contínua na ciência é uma resposta dos cientistas à própria natureza do processo de investigação científica, admitindo que há margem para erros neste empreendimento e que é possível convencer outros cientistas quando novas evidências surgem.

2. Justificativas para o emprego da qualificação de ideias em sala de aula

Se desejamos que o ensino de ciências reflita adequadamente a natureza do empreendimento científico [1, 37], então, é ideal empregar estratégias que resgatem e comuniquem as características que consideramos fundamentais da ciência.

Como abordamos anteriormente, o emprego de estratégias de qualificação de ideias (como, por exemplo, utilizando termos guarda) faz parte do cotidiano de um cientista, revelando também como cientistas tratam as suas ideias e conclusões (i.e., com que grau de força e maleabilidade as ideias são defendidas).

Dentro do ensino de ciências, entendemos que é necessário um conjunto de abordagens que representem adequadamente a natureza da ciência, mas aqui evidenciamos uma delas: a preocupação com a boa comunicação de ideias. Nos próximos parágrafos, elencamos as razões pelas quais julgamos a qualificação de ideias como uma importante estratégia para o ensino de ciências.

É possível expressar as características epistêmicas da ciência utilizando termos e frases que melhor as refletem dentro da comunicação do conteúdo científico. O emprego de termos e frases como “é possível que”, “é provável que”, “evidências indicam que”, “as evidências até o momento apontam que”, entre outras, sugerem ao aluno a noção da falibilidade que ideias científicas possuem. Em outras palavras, a qualificação de ideias por meio do emprego de termos como esses ajuda a derrubar a noção de que ideias científicas são operadas em termos absolutos. Indo além, podemos afirmar que o cuidado com a linguagem pode trazer a noção de proporcionalidade entre ideias científicas e as evidências existentes para elas.

É importante destacar aos alunos durante o ensino de ciências a ideia de que eles e elas são também agentes do processo de avaliação de ideias. Por isso, é papel do educador discutir um pacote de estratégias cognitivas que os ajudem a refletir sobre o *status* epistêmico de ideias e crenças. Ao invés de estarem posicionadas entre o “verdadeiro” e “falso”, conclusões científicas geralmente estão dentro de um complexo espectro que liga ambas as extremidades [38]. Isso promove o que Siegel [39] argumenta ser uma das causas maiores dentro da educação: a noção de que alunos devem ser tratados como pensadores críticos e que, por isso, um educador deveria orientar seus alunos através de razões apropriadamente avaliadas. Ou seja, ao invés de serem receptores acríticos de ideias e razões, os estudantes devem ser preparados para avaliá-las durante o processo de ensino.

Juntamente com a utilização de termos guarda, o emprego de exercícios reflexivos que convidem os estudantes a pensar na falibilidade das suas ideias pode ajudar a revelar conceitos como o da abertura a novas ideias e da revisão contínua na ciência. Perguntas como “Que tipo de evidências poderia lhe convencer de que essa ideia está errada?”, “O que fariamos com essa ideia se evidências do tipo *X* (contrárias à ideia) surgissem?” ou “O conjunto de evidências existentes para a ideia *A* é suficiente para dizer que ela é verdadeira?” estimulam o aluno a explorar as possíveis fraquezas de uma ideia da mesma maneira que um cientista o faz. Exercícios reflexivos como esse são capazes de aproximar alunos do exercício do pensamento crítico e científico.

Imaginemos que somos professores de biologia do Ensino Médio e estamos em uma aula de zoologia, mais especificamente tratando de anfíbios. Dentro do folclore popular sobre sapos, é comum ouvirmos a seguinte afirmação: sapos podem lançar ou “esguichar” veneno.

Então, para responder essa pergunta, apresentamos aos alunos o curioso caso do sapo-cururu *Rhinella icterica* (Spix, 1824). Essa espécie – juntamente com alguns outros gêneros de sapos – possui glândulas especializadas denominadas parotoides, utilizadas para defesa contra predadores [40] através de secreções contendo toxinas, como bufaginas e bufotoxinas [41].

Exibimos, então, o seguinte trecho de uma matéria jornalística [42] que trata do assunto e que, para o nosso exercício, traz as informações mais atualizadas sobre o assunto até o momento:

“Ao contrário do que prega a crença popular, os sapos não conseguem esguichar seu veneno por vontade própria quando se sentem ameaçados. As glândulas de defesa desses animais só reagem se forem pressionadas pela mordida de um predador, por exemplo. A teoria acaba de ser provada por cientistas do Instituto Butantan, da USP, e da Universidade de Düsseldorf, na Alemanha.”

A afirmação de que “a teoria acaba de ser provada por cientistas” nos leva a entender que essa é a conclusão definitiva para a questão. Portanto, sapos não são capazes de lançar ou esguichar veneno e não há margem para correções. A ideia de que algo está provado demonstra rigidez excessiva quanto ao *status* epistêmico da ideia. Como discutimos ao longo deste artigo, a história do desenvolvimento de ideias científicas parece não concordar com essa premissa.

As evidências até aquele momento sugeriam que sapos eram capazes de liberar veneno apenas através de estímulos mecânicos, como da mordida de um predador, e os cientistas haviam demonstrado observando o sapo-cururu, extrapolando o mecanismo para a maioria dos demais sapos [43].

Cerca de dois anos mais tarde, o mesmo grupo de pesquisadores teve que revisar a posição apresentada em 2009: foram documentadas evidências de que o sapo *Rhaebo guttatus* (Schneider, 1799) é capaz de esguichar veneno a partir das parotoides [44]. Em uma matéria da Revista FAPESP da época, Carlos Fioravanti [45] escreve que:

*“Os pesquisadores do Butantan ouviam com desconfiança os comentários de que sapos poderiam, sim, espirrar veneno porque pensavam que se tratava do fato de sapos, rãs e pererecas soltarem jatos de água armazenada na bexiga que poderia atingir os olhos, inclusive de pessoas. Mas tiveram de mudar de opinião quando Miguel Trefaut Rodrigues, professor da Universidade de São Paulo (USP), lhes trouxe *Rhaebo guttatus* coletados nos municípios de Jacareacanga, no Pará, e de Borba, no Amazonas, que ele próprio viu, in loco, lançando venenos.”*

Ou seja, aquilo que em 2009 foi descrito como “provado” sofreu modificações, evidenciando que, na verdade, a ideia de que sapos não são capazes de esguichar veneno nunca foi de fato “provada”. A ideia nunca esteve acima da dúvida possível, mas era, contudo, a melhor explicação para o conjunto de evidências sobre anfíbios até a descoberta da capacidade no sapo *R. guttatus*.

Em uma sala de aula, apresentar o atual *status* de uma ideia por meio de termos absolutistas – como “provado” – não reflete a natureza do empreendimento científico. O caso dos sapos que esguicham veneno é um claro exemplo em que a qualificação de ideias através do uso de termos guarda refletiria a derrotabilidade de ideias científicas e a revisão contínua encontrada na ciência. Indo além, refletiria também a postura de abertura a novas ideias, e um exemplo disso é a postura do pesquisador Carlos Jared, que esteve envolvido nos dois trabalhos e viu aquilo que era sua posição inicial ter que ser revisada frente a novas evidências sobre o assunto.

O uso de termos absolutistas no ensino de ciências pode não só desviar o aluno do entendimento mais adequado da natureza da ciência, como pode ser danoso para a confiança na ciência em si.

Reforçar – durante o estudo de casos como o do sapo-cururu – o processo contínuo ao qual ideias científicas estão sujeitas, por outro lado, pode mitigar essa possibilidade ao preparar os alunos para a possibilidade de ideias recentes ou contemporâneas serem confirmadas ou revisadas e refutadas. Em outras palavras, ao ter contato com exemplos de falibilidade da ciência, o aluno estaria mais qualificado para identificar que a ciência é um processo contínuo de revisão e correção. Por isso ressaltamos que a boa comunicação no ensino de ciências é fundamental para a formação de estudantes competentes no entendimento da ciência como uma forma confiável de investigar o mundo.

Por fim, do ponto de vista epistêmico, demonstrar um certo apreço à possibilidade de que ideias podem ser derrotadas é também demonstrar uma preocupação com a verdade. Se estamos inclinados a revisar nossas ideias – por mais que julguemos que elas estejam bem estabelecidas – estamos então assumindo que mais importante do que a manutenção de nossa crença é o entendimento objetivo e bem fundamentado de ideias.

Conclusão

Ao longo deste artigo, apresentamos algumas características que demonstram a natureza da ciência, do empreendimento científico, e discutimos ideias que podem promover e melhorar o ensino de ciências, especialmente a qualificação de ideias e o emprego de termos guarda.

Outra característica também discutida ao longo deste artigo é o educador como um modelo de práticas intelectuais. A própria competência de um educador em comunicar ideias bem qualificadas pode auxiliar no processo de alinhamento do ensino de ciências às práticas científicas. Enquanto o grande desafio dessa questão é responder como incorporar essas estratégias em sala de aula, durante o ensino de ciências, um possível caminho – como apontado por Guzzo e Lima [46] – é através da transformação do ambiente de uma sala de aula em um ambiente de livre intercâmbio de ideias e razões, rico em diálogo e esforços coletivos para a investigação de afirmações.

Assim como no empreendimento científico, uma sala de aula onde alunos são instigados a trabalhar coletivamente – empregando estratégias cognitivas e posturas intelectuais que se assemelhem ao trabalho de cientistas – aproxima a educação da pesquisa científica. Com a conciliação de características epistêmicas da ciência nesse processo, o diálogo não só é favorecido como também passa a ser um componente necessário para a apropriada avaliação de ideias.

O objetivo fundamental da adoção de práticas como essas envolve a capacitação de alunos e professores como pensadores críticos, capazes de avaliar razões apropriadamente, humildes a ponto de reconhecer falhas na própria maneira de pensar e capazes de revisar e acatar melhorias quando há boas razões para isso.

Reforçar e aprimorar o ensino de ciências parece ser um notável objetivo educacional em tempos em que a capacidade e a necessidade de pensar sobre ciência têm sido constantemente desafiadas, seja por meio de quantidades massivas de informação disponível – o que desafia múltiplas gerações em suas competências de avaliação de ideias – ou através de crises sanitárias globais, como no caso da pandemia provocada pelo SARS-CoV-2 e de movimentos antivacina ao redor do mundo.

Frente a isso, aproximar alunos e cientistas de acordo com suas posturas intelectuais e a compreensão epistêmica da natureza da ciência é um caminho viável, e que pode impactar também a maneira como os estudantes irão interagir, interpretar e compreender o mundo e a si próprios através da formação de crenças e da tomada de decisões razoáveis.

REFERÊNCIAS

- [1] McComas, W. & Clough, M. P. (2020). Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations. In: W. McCOMAS (Ed.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (p. 3-22). Switzerland: Springer Nature Switzerland AG.
- [2] Allechin, D. (2013). *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*. Saint Paul: Ships Education Press.
- [3] McIntyre, L. (2019). *The scientific attitude: defending science from denial, fraud, and pseudoscience*. Cambridge: The MIT Press.
- [4] Pennock, R. T. (2019). *An instinct for truth: curiosity and the moral character of science*. Cambridge: The MIT Press.
- [5] Oreskes, N. (2019). *Why trust science?* Princeton: Princeton University Press.
- [6] Sagan, C. (1997). *O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro*. São Paulo: Companhia das Letras.
- [7] Arthury, L. H. M. & Garcia, J. O. (2020). Em prol do realismo científico no ensino. *Ciência & Educação*, 26, e20011.
- [8] Fernández, I., Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, 20(3), p. 477-488.
- [9] Tishman, S., Perkins, D. N. & Jay, E. (1999). *A cultura do pensamento na sala de aula*. Porto Alegre: Artmed.
- [10] Jackson, P. W. (2012). *What is education?* Chicago: The University of Chicago Press.



- [11] Hare, W. (1979). *Open-mindedness and education*. Kingston e Montreal: McGill-Queen's University Press.
- [12] Hare, W. (1999). Critical thinking as an aim of education. In: R. MARPLES (Ed.). *The aims of education* (p. 85-99). Londres: Routledge.
- [13] Hare, W. (2013). Propaganda in the classroom: the Keegstra case. In: W. HARE, J. P. PORTELLI (Ed.). *Philosophy of education: introductory readings* (p. 358-373). Edmonton: Brush Education.
- [14] Demo, P. (2010). *Educação e alfabetização científica*. Campinas: Papirus.
- [15] Guzzo, G. B. & Dall'Alba, G. (2016). The role of educators in desacralizing ideas. *Humanist Perspectives*, 49(2), p. 8-11.
- [16] Sinnott-Armstrong, W. (2018). *Think again: how to reason and argue*. Nova York: Oxford University Press, 2018.
- [17] Leite, A. (2010). Fallibilism. In: E. SOSA, M. STEUP (Ed.). *The Blackwell's Companion to Epistemology* (p. 370-375). Oxford: Blackwell.
- [18] Boghossian, P. & Lindsay, J. (2019). *How to Have Impossible Conversations: a very practical guide*. Boston, Massachusetts: Da Capo Lifelong Books.
- [19] Vaughn, L. & Macdonald, C. (2010). *The power of critical thinking*. Don Mills: Oxford University Press.
- [20] Feyerabend, P. K. (1977). *Contra o método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves.
- [21] Feyerabend, P. K. (1978). *Science in a Free Society*. Nova York: Verso.
- [22] Hare, W. (2003). The ideal of open-mindedness and its place in education. *Journal of Thought*, 38(2), p. 3-10.
- [23] Siegel, H. (2009). Open-mindedness, critical thinking, and indoctrination: homage to William Hare. *Paideusis* 18(1), p. 26-34.
- [24] Grayling, A. C. (2011). *The good book: a humanist bible*. Nova York: Walker Publishing Company.
- [25] Savater, F. (2012). *O valor de educar*. São Paulo: Planeta.
- [26] Sternberg, R. J. & Halpern, D. F. (Ed.). (2020). *Critical Thinking in Psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [27] Pigliucci, M. (2000). *Tales of the rational: skeptical essays about nature and science*. Smyrna: Freetought Press.
- [28] Zhang, R., Li, Y., Zhang, A. L., Wang, Y. & Molina, M. J. (2020). Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Science*, 117(26), 14857-14863.
- [29] Haber, N. et al. (2021). Formal request for the retraction of Zhang et al., 2020. Disponível em: <<https://metrics.stanford.edu/PNAS%20retraction%20request%20LoE%20061820>>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- [30] Non-Pharmaceutical Interventions. (2020). Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. Non-pharmaceutical interventions. Disponível em: <<https://ncrc.jhsph.edu/research/identifying-airborne-transmission-as-the-dominant-route-for-the-spread-of-covid-19/>>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- [31] Lewis, D. (2020). Coronavirus in the air. *Nature*, 583, p. 510-513.
- [32] Mandavili A. (2020). Scientists take aim at another coronavirus study in a major journal. *The New York Times*. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2020/06/18/health/coronavirus-retractions-studies.html>>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- [33] Greaves, J. S. et al. (2020). Phosphine gas in the cloud decks of Venus. *Nature Astronomy*, 5, p. 655-664.
- [34] Ball, D. W. (2021). Phosphine Detected on Venus? We still don't know. *Skeptical Inquirer*, 45(3), p. 9.
- [35] Lincowski, A. P. et al. (2021). Claimed Detection of PH₃ in the Clouds of Venus Is Consistent with Mesospheric SO₂. *The Astrophysical Journal letters*, L44.
- [36] Snellen A. G. et al. (2020). Re-analysis of the 267-GHz ALMA observations of Venus: No statistically significant detection of phosphine. arXiv. Doi: 10.1051/0004-6361/202039717.
- [37] Matthews, M. R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In: M. S. Khine (Ed.). *Advances in Nature of Science Research* (p. 3-26). Nova York: Springer Dordrecht Heidelberg London.
- [38] Law, S. (2011). *Guia ilustrado Zahar: Filosofia*. Rio de Janeiro: Zahar.
- [39] Siegel, H. (1988) *Educating reason: rationality, critical thinking and education*. Nova York: Routledge.



[40] Lema, T. & Martins, L. A. (2011). *Anfibios do Rio Grande do Sul: Catálogo, diagnoses, distribuição*. Porto Alegre: EdUPUCRS.

[41] Sonne, L. et al. (2008). Intoxicação por veneno de sapo em um canino. *Ciência Rural*, 38(6), 1787-1789.

[42] Cabral, N. L. (2009). Sapo não esguicha veneno de propósito, diz cientista. *Folha de São Paulo*.

[43] Jared, C. et al. (2009). Parotoid macroglands in toad (*Rhinella jimi*): Their structure and functioning in passive defence. *Toxicon*, 54(3), 197-207.

[44] Jared, C. et al. (2011). The Amazonian toad *Rhaebo guttatus* is able to voluntarily squirt poison from the parotoid macroglands. *Amphibia-Reptilia*, 32, 546-549.

[45] Fioravanti, C. (2012). Sapo amazônico espirra veneno. *Pesquisa FAPESP*. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/sapo-amazonico-espirra-veneno/>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

[46] Guzzo, G. B. & Lima, V. M. R. (2018). O exercício do pensamento crítico em face dos vieses cognitivos. *Anais do X CIDU, 2018, Brasil*.