

O ÁTOMO É VISÍVEL? DETECTÁVEL? RETRATÁVEL? UMA PESQUISA SOBRE A UTILIZAÇÃO E CONCEPÇÃO DE TERMOS DE LICENCIANDOS DAS CIÊNCIAS NATURAIS

IS THE ATOM VISIBLE? DETECTABLE? DEPICTABLE? A RESEARCH ABOUT THE UTILIZATION AND CONCEPTION OF TERMS FROM NATURAL SCIENCES TEACHERS IN TRAINING

Guilherme Manassés Pegoraro  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ guilherme.ms.pegoraro@gmail.com

Alessandro de Souza Mourato  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ alessandro.sm22@gmail.com

Giovanni Miraveti Carriello  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ giovannimiraveti@gmail.com

Giovanni Pimenta Mambrini  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ gpmambrini@ufscar.br

João Batista dos Santos Junior  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ joabats@ufscar.br

RESUMO: A visibilidade ou invisibilidade do átomo não é algo de fácil discussão, seja em níveis instrumentais, com as técnicas e aparelhos para este fim, ou dentro da esfera terminológica, se relacionando com a definição das palavras e a discussão sobre o que é algo visível ou invisível. Essa discussão ocorre também em salas de aula por intermédio do professor, o qual nem sempre utiliza os termos de forma consoante com a literatura científica. Dados esses pontos, o presente trabalho teve como intuito compreender a utilização dos termos que futuros professores utilizam para descrever as propriedades do átomo, tal como analisar, de forma geral, o quão próximo ou distante os termos utilizados estão dos avanços científicos da microscopia de um átomo isolado. Ao final do trabalho, se percebeu que os termos utilizados pelos futuros professores de Ciências Naturais muitas vezes se distanciam dos avanços tecnológicos da microscopia, podendo servir como uma ferramenta que perpetua as concepções alternativas dos alunos sobre o átomo, o que pode prejudicar a compreensão dos alunos deste conceito, tão importante para as ciências.

PALAVRAS-CHAVE: Terminologia. Microscopia. Formação de professores. Polissemia.

ABSTRACT: The visibility or invisibility of the atom is not something that can be easily discussed, either at instrumental levels, with the techniques and devices for this purpose, or within the terminological sphere, relating to the definition of words and the discussion about what is something visible or invisible. This discussion also takes place in classrooms through the teacher, who does not always use the terms in accordance with scientific literature. Given these points, the present work aimed to understand the use of terms that future teachers employ to describe the properties of the atom, such as analyzing, in general, how close or far the used terms are from the scientific advances of microscopy of an isolated atom. At the end of this work, it was noticed that the terms used by future teachers of Natural Sciences often distance themselves from the technological advances of microscopy, serving as a tool that perpetuates the students'

alternative conceptions about the atom, which can harm the students' understanding of this concept, so important for science.

KEY WORDS: Terminology. Microscopy. Teacher training. Polysemy.

Introdução

A terminologia da Química é essencial para a consolidação da própria Química enquanto Ciência. Ela é marcada por termos técnicos (como por exemplo, os nomes de elementos químicos) e termos não técnicos (como por exemplo, as palavras “espontâneo” e “sensível”). Os termos não técnicos são trazidos do vocabulário coloquial, o que pode causar problemas de compreensão aos estudantes de Química, devido à sua associação com o seu significado coloquial, em detrimento da terminologia química (Quílez, 2019).

A complexidade da terminologia química fica mais evidente quando se pondera que a própria ciência utiliza modelos e teorias para explicar fenômenos abstratos e invisíveis ao olho nu humano. Neste caso, as palavras utilizadas, tanto pelo professor em sala de aula, ou de um livro didático, possuem um papel significativo para a compreensão e comunicação da Química, podendo inclusive, quando distantes das palavras utilizadas no meio científico, fazer com que o estudante de Química tenha concepções alternativas à científica sobre aquele determinado assunto que está sendo abordado (Quílez, 2019).

A concepção de alunos de educação básica acerca dos modelos atômicos e suas características têm sido alvo de muitos estudos, mostrando que é um dos assuntos da Química que mais apresenta problemas de ensino e aprendizagem. A atomística tem grande importância para o ensino de Química, principalmente por ser um assunto introdutório, sendo tratada no início da maioria dos currículos e livros didáticos, além de servir como base para conhecimentos químicos de diversos assuntos trabalhados posteriormente. Dentre as dificuldades apresentadas pelos alunos, pode-se destacar: a insistência no modelo de Dalton, o significado de um modelo e a desconsideração da mutabilidade da ciência conforme novas descobertas são feitas (Melo & Neto, 2013; Melzer; Castro; Aires & Guimarães, 2009).

Esses problemas de ensino e aprendizagem de modelos de átomos são frequentemente analisados sob a ótica de Bachelard, como é o caso do trabalho de Gomes e Oliveira (2007). Os autores identificaram como obstáculos epistemológicos a superação de cada modelo atômico, a presença de analogias e metáforas no material didático, além da atuação do professor em contornar esses obstáculos. Entretanto, as principais discussões sobre as dificuldades no ensino de modelos atômicos em Química se limitam aos livros didáticos, natureza e história da ciência e a formação de professores, como discutido por Melo e Neto (2013). Nota-se que, no Brasil, há uma ausência de trabalhos que discorram sobre a visibilidade, detecção ou retratação do átomo, principalmente da perspectiva da linguagem usada. Uma abordagem sobre esse assunto é levantada pelos autores, quando disponibilizam uma figura contendo uma imagem gerada a partir de um microscópio de tunelamento - bem compreendido em Campos Valadares (1992) - em um livro didático:

A associação dessa figura com o conceito de modelo faz com que o aluno aceite o modelo atômico como real e não como uma construção científica e social sujeita a alterações, evidenciando o caráter dinâmico da ciência. Ressaltamos que a figura apresentada é fruto de uma interpretação gráfica, feita por um programa computacional em resposta aos sinais emitidos pelo microscópio de tunelamento e não uma foto dos átomos (Melo & Neto, 2013, p. 113).

O termo usado pelo professor ou por um autor de um livro didático tem um efeito na interpretação do aluno. Quílez (2019) reúne diversas palavras que podem ser fontes de concepções alternativas na Química, dentre as quais a palavra detecção aparece. De acordo com

o autor, a linguagem química pode apresentar barreiras epistemológicas para um estudante, podendo conter termos cunhados especificamente para a ciência, sentidos duplos ou até serem frutos da nominalização de outras palavras.

Ao contrário da discussão terminológica, o uso da história da ciência é mais comumente encontrado na literatura, especialmente no ensino de modelos atômicos. Melo e Neto (2013) apontam que a adoção de uma abordagem histórica pode ser importante para que o aluno entenda que os modelos atômicos apenas respondem aos fenômenos macroscópicos previamente observados ou notados, sendo sujeitos a adequações a qualquer momento. Essa perspectiva pode auxiliar na compreensão do aluno da natureza da ciência e a mutabilidade dos modelos atômicos, assim como qualquer outro modelo científico.

Dessa forma, estudos que busquem verificar a compreensão de estudantes sobre palavras da terminologia química e sobre átomos e modelos atômicos são relevantes, visando contribuir com a discussão acadêmica e aumentar o arcabouço teórico disponível para os professores de Química e para a formação inicial de cursos de licenciatura. Para esse fim, o presente trabalho pretendeu reconhecer a concepção de licenciandos e licenciandos em Ciências Naturais acerca das palavras “visibilidade”, “detecção” e “retratação” de átomos, já que através destes termos pode-se construir diferentes caminhos que levam a compreensões muitas vezes não condizentes com estudos atuais. Deste modo, discutir as respostas dos estudantes à luz dos conhecimentos construídos no século XX, com o advento de novas tecnologias que permitiram aos cientistas uma representação cada vez mais detalhada da estrutura atômica, pode indicar possíveis raízes de concepções alternativas que possivelmente serão propagadas.

Desta maneira, através de uma revisão bibliográfica, uma discussão sobre a evolução e o ensino dos modelos atômicos é apresentada, além das terminologias científicas das palavras “visibilidade”, “detecção” e “retratação”. Segue na seção seguinte o método adotado para a coleta de dados e as discussões acerca da temática investigada. Por fim, as considerações finais são apresentadas.

Evolução dos Modelos Atômicos e a Tecnologia

A inquietude de se conhecer o que nos forma e o que nos cerca é tema de pensamento antigo, de tal forma que não se pode determinar um ponto de início exato. No entanto, ao menos ao que se tenha registro, tem-se as primeiras ideias, estudos e escritos com Demócrito de Abdera, em meados do século V a.C. Defronte de um princípio postulado por Parmênides, em que se dizia que “O ser é uno, contínuo e eterno”, inferia-se que o movimento, assim, seria uma ilusão dos sentidos, conclusão para a qual Demócrito não convergia, concluindo então que, em realidade, o ser é uma multiplicidade, a qual consiste-se de *atomos idea*, junção de *tomos* (segmentado) com um prefixo de negação, além da derivação do verbo *idein*, compreendida por Demócrito como um corpo visível para o intelecto (Auffray, 2001).

Demócrito estabelece uma entidade indivisível, originando o termo “átomo”, e suas ideias, mesmo abstratas, são levadas à frente e posteriormente aperfeiçoadas por Lucrecio e Epicuro. Séculos depois, a ideia do átomo ganharia força novamente, a partir de escritos de Gassendi – o primeiro a falar em moléculas como aglomerados de átomos –, Isaac Newton, Antoine Lavoisier e Robert Boyle. Esta discussão inspirou John Dalton a estudar este assunto (Auffray, 2001; Viana, 2007; Parente & Tort, 2013).

Pode-se dizer que o primeiro aprofundamento desta teoria atômica se deu com Dalton e seus estudos de fenômenos atmosféricos e de solubilidade dos gases, de onde lança mão de avanços consideráveis desta teoria, como tabela de massas atômicas e as proporções destas em compostos de óxidos de nitrogênio, símbolos para os elementos, conceito de átomo simples e composto – estudando melhor o agrupamento de átomos – e um primeiro modelo daquilo que

poderia ser compreendido como o átomo. Em seu modelo, Dalton entende os átomos como as menores partículas da natureza, esféricas, sólidas e, independentemente se simples ou compostos, estariam envolvidos por calórico, o que explicaria a repulsão (Viana, 2007).

Ainda que Dalton tenha trazido suas ideias com bases experimentais e de maneira metodológica, experimentos utilizando a bem fundamentada e estudada eletricidade iniciam um novo capítulo nesta história. Vencedor do prêmio Nobel de Física de 1906, Joseph John Thomson, através de suas fundamentais contribuições sobre condução de eletricidade em gases, chega a resultados importantes sobre a composição atômica, resultados estes que mudariam a concepção sobre o átomo de forma revolucionária. Thomson descobre, com base em experimentos com tubos de raios catódicos que, independentemente do gás ou dos metais utilizados como eletrodos, obtinha-se sempre os mesmos resultados para uma relação entre massa por carga elétrica. Desta forma, propôs que todos os elementos químicos deveriam ser constituídos por “corpúsculos” mais fundamentais, que hoje conhecemos como elétrons. Reforçando esta tese, Robert Millikan, com seu famoso experimento da gota de óleo, determina o valor da carga elétrica e que os valores de cargas elétricas das gotas de óleo eram sempre múltiplos desta carga fundamental (Lopes, 2009).

A fim de explicar como sua nova descoberta aliava-se à neutralidade do átomo, Thomson propõe um novo modelo atômico, que agora inclui estes corpúsculos. Em seu modelo, as cargas negativas – elétrons – estariam distribuídas uniformemente em uma esfera positiva. Entretanto, ao estudar a interação de uma placa de ouro com partículas alfa, um de seus alunos, Ernest Rutherford, notou que a distribuição de cargas positivas desta maneira não se adequava aos resultados por ele obtidos, já que as partículas alfa eram espalhadas em diferentes ângulos ao se colidirem com átomos de finas folhas de metal. Devido a esta nova característica percebida, Rutherford propõe um outro modelo para o átomo, em que as cargas positivas estariam concentradas em um núcleo, pequeno, ao centro do átomo. Este modelo é conhecido como modelo planetário, uma vez que os elétrons estariam orbitando este núcleo, tal qual ocorre em sistemas planetários (Melzer & Aires, 2015; Parente & Tort, 2013).

O modelo de Rutherford, apesar de explicar os resultados de seu próprio experimento, não leva em consideração um problema físico de eletrodinâmica, vide que cargas em movimento, ao mudarem de direção, emitem energia, o que causaria um problema, pois os elétrons seguiriam em espiral até colidirem com o núcleo, o que não é observado. No início do século XX, a Física Quântica surgia através de estudos, principalmente, da radiação de corpo negro por Max Planck, e do efeito fotoelétrico por Albert Einstein, que apontaram uma nova direção para a solução deste problema. Solução essa encontrada por um aluno de Rutherford, Niels Bohr, que sugeriu que as órbitas dos elétrons ao redor do núcleo deveriam ter níveis energéticos bem definidos, de tal forma que só poderiam alterar suas órbitas através da interação com energias, também, muito bem definidas (Parente & Tort, 2013).

O modelo atômico de Bohr foi de fundamental importância, seja por recuperar resultados experimentais, como as linhas espectrais do hidrogênio, seja para a própria compreensão da estrutura da matéria. Ressalta-se, no entanto, que o modelo Bohr não explicava adequadamente átomos com maiores números de elétrons em órbitas. Outra proposta para tentar cobrir aquilo que o modelo Bohr não explicava adequadamente partiu de Sommerfeld, que sugeriu órbitas eletrônicas não circulares, mas elípticas. Entretanto, foi a partir de estudos de Broglie, relacionando massa a um comprimento de onda, que novas visões surgiram, especificamente com Erwin Schrödinger, Max Born e Werner Heisenberg, com seu princípio da incerteza. O nascimento desta nova Mecânica Quântica proporcionou, portanto, uma nova compreensão do átomo, com maiores ou menores probabilidades de estados dos elétrons, de acordo com seus níveis de energia (Parente & Tort, 2013; Auffray, 2001).

Essa evolução sobre a concepção da estrutura da matéria possibilitou um rápido desenvolvimento, também, tecnológico, culminando na criação do primeiro microscópio eletrônico em 1933 por Ernst Ruska, bem exposto por Campos Valadares (1992), trazendo consigo melhorias com relação aos microscópios ópticos. A partir de aperfeiçoamentos a este método, aliado a novos estudos, possibilitou-se ainda na década de 1980 o surgimento do microscópio de varredura por tunelamento, por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, que se vale do princípio de tunelamento quântico para obter imagens de amostras com resolução atômica, dando início a um amplo campo de microscopia, conhecido como microscopia de varredura por sonda (SPM). As contribuições de Ruska, Binnig e Rohrer foram tamanhas e se mostraram tão promissoras na retratação e no estudo da superfície de átomos que, em 1986, os três foram laureados com o prêmio Nobel de Física (Nobel Prize Outreach AB, 2021; Neves, Vilela & Andrade, 1998).

Terminologia Científica

Quílez-Pardo e Quílez-Díaz (2015) dizem que há várias palavras que possuem um significado dentro da terminologia científica diferente do conceito atribuído a ela no cotidiano, sendo então necessário levar em consideração o contexto específico em que aquela palavra está inserida, para que o seu significado seja claramente compreendido e não cause confusão. A posterior há uma breve discussão dos termos visibilidade, detecção e retratar na terminologia científica.

Visibilidade na Terminologia Científica

Visibilidade na língua portuguesa é, conforme Figueiredo (2010), “Qualidade do que é visível”. A palavra “visível”, para o autor, é um adjetivo que significa “Que se pode ver”, sendo que o verbo “ver” tem como um dos seus significados “Conhecer ou perceber pelo sentido da vista. Contemplar; observar”. Sendo que “vista” também é uma palavra polissêmica, podendo significar o “efeito de ver” ou até mesmo se referenciar a uma parte de um capacete. Ao que se trata ao étimo da palavra “visibilidade”, Nascentes (1955 e 1966) diz que veio da palavra do latim *visibilitate*. Entretanto, segundo Figueiredo (2010), o étimo é *visibilitas*, também do latim. A diferença de étimos conforme a fonte é algo comum na etimologia, pois conforme Nascente (1955), a etimologia é algo complexo.

Independentemente dessa variação de étimos dos dicionários, o significado de “visibilidade” está correlacionado com o verbo “ver”. Nesse ponto, tendo como base Quílez-Pardo e Quílez-Díaz (2015), não basta só avaliar esse significado no cotidiano, mas sim dentro da terminologia científica, que nem é sempre consensual e simples. Barbosa (2010) ainda traz outro problema enfrentado dentro da terminologia: a tradução interlínguas.

O presente artigo está escrito em português, e se o leitor se adiantar e for para referências irá se deparar com várias fontes em outras línguas. Visto isso, é importante ressaltar, por exemplo, que uma coisa é a palavra “visibilidade”, da língua portuguesa, e outra é “*visibility*”, da língua inglesa. O processo de tradução interlínguas é, conforme Barbosa (2010), algo complexo. Visto isso, se deve buscar, durante a tradução, palavras entre as línguas que apresentem, dentro do contexto que elas estão inseridas, a maior equivalência entre os termos.

Um exemplo de utilização da palavra *visibility* em língua inglesa é de Crewe e Langmore (1970), quando os autores discutem sobre *visibility* de um átomo isolado. Embora os autores não definam exatamente o que eles estão considerando como *visibility*, a leitura do trabalho permite compreender que a obtenção de uma imagem de um átomo isolado o torna *visible*. Para isso, os autores utilizam um microscópio de varredura de alta resolução desenvolvido por eles mesmos, onde um feixe de elétrons varre a amostra a ser analisada. Esse conceito de *visible* (que é atrelado ao conceito de *visibility*) traduzido pelos autores vai ao desencontro de algumas das definições

que Figueiredo (2010) traz para visível, mais especificamente aquelas que dizem que ser visível está atrelado ao sentido da visão. Chen *et al.* (2021), em seu trabalho de ptiografia eletrônica, utilizam o termo *visibility* de forma similar à de Crewe e Langmore (1970), mas se referenciando a dopantes em imagens.

É interessante ressaltar alguns pontos no que tange os trabalhos originais dos cientistas aos quais atribuem-se os modelos atômicos. Todavia, isso só é possível de se analisar no de John Dalton, visto que Thomson (1904), Rutherford (1911), Bohr (1913) e Schrödinger (1926) não utilizam esses termos. Dalton (1808 e 1810) utiliza a palavra *visible* muito atrelado ao sentido da visão, como quando descreve um fenômeno envolvendo o enxofre, utilizando a expressão *scarcely visible* (em tradução livre dos autores: quase invisível) como a dificuldade de se observar, pelo impedimento de sobreposição por algo como, por exemplo, um objeto em um recipiente fechado será quase invisível (*scarcely visible*) se algo que tem a propriedade cor for colocado em quantidade suficiente para impedir que um observador consiga observar de forma nítida o objeto no interior do recipiente.

Em relação à cor (em tradução livre dos autores para o inglês *colour*), Dalton (1808 e 1810) utiliza como uma propriedade da substância, a qual pode ou não ter. Caso ela não tenha essa propriedade, o autor a referencia como *colourless*, já que a terminação *less* no inglês traz, conforme Wedgwood e Hensleigh (1872), a ideia de perda. Tanto as palavras cor, do português, e *colour*, do inglês, possuem o étimo do latim, *color*. Nesse caso, cabe mais uma vez ressaltar as adequações da tradução, uma vez que está sendo empregada pelos autores do presente artigo a palavra incolor como tradução para *colourless*, visto que, ao se analisar a palavra da língua portuguesa se tem o prefixo latino *in*, o qual traz o significado de negação ao radical, seguido pelo radical que, no caso, é igual ao étimo em latim da palavra cor (Wedgwood; Hensleigh, 1872; Figueiredo, 2010; Nascente, 1955; Nascente, 1966; Loysen, 2010; Santiago-Almeida, 2011).

Dalton (1810) utiliza uma única vez a palavra *invisible* (invisível, tradução livre dos autores), quando se refere às propriedades do gás de ácido muriático (tradução livre dos autores dos termos em inglês *muriatic acid gas*). Nesse ponto, o fato de ser invisível está atrelado a uma propriedade da matéria, tal como o que o autor entender como incolor.

É interessante notar que, embora a palavra *visible*, que Crewe e Langmore (1970) utilizam, seja igual à que Dalton (1808 e 1810) utiliza, a sua significação apresenta diferenças. Isso vai ao encontro com o que Quílez-Pardo e Quílez-Díaz (2015) e Quílez (2019) dizem sobre evolução dos termos químicos conforme a construção e evolução da ciência e o contexto científico que a palavra está inserida, aumentando a dificuldade de definição dessas palavras a modelos científicos e conceitos teóricos.

Detecção na Terminologia Científica

Detecção, na língua portuguesa é, conforme Santiago-Almeida (2011), o “ato ou efeito de detectar”, sendo que a palavra detectar é, conforme o autor, um verbo que significa “perceber a existência de algo que não está manifesto”. A palavra manifesto tem mais de um significado, podendo ser um adjetivo que significa “patente, evidente, claro”. A palavra perceber também tem vários significados, sendo que o autor traz cinco:

1. Captar através dos sentidos.
2. Distinguir (visual ou auditivamente) de maneira clara.
3. Dar-se conta da existência de; notar.
4. Entender, compreender.
5. Receber (ordenado, pagamento, rendimento) (Santiago-Almeida, 2011, p. 536).

Sobre a origem da palavra detecção, Nascente (1966) diz que a palavra é uma adaptação da palavra *detection*, do idioma inglês, e que também há uma palavra em latim com o mesmo significado, *detectio*.

Do ponto de vista da terminologia científica, detecção é a nominalização do verbo detectar e, por isso, representa um processo de complexa abstração (Quílez, 2019). A União Internacional de Química Pura e Aplicada (comumente conhecida como IUPAC, da sua abreviatura do inglês) não chega a definir isoladamente o termo *detection*, mas utilizam-no ao definir termos *amperometric detection method*, *chemiluminescent methods of detection*, *detection efficiency*, *detection limit* e *limit of detection* (International Union of Pure and Applied Chemistry [IUPAC], 2014). Nessas definições, o termo *detection* aparentemente é usado como um substantivo que possui um dos significados que Santiago-Almeida (2011) atribui ao verbo perceber “Dar-se conta da existência de; notar”. Todavia, deixando claro algumas condições para que a detecção seja considerada válida.

Dalton (1808 e 1810), Thomson (1904), Rutherford (1911) e Bohr (1913) utilizam o termo *detection* e o verbo que lhe deu origem de forma similar ao que a IUPAC traz em 2014. Um exemplo explícito disso é do trabalho de Rutherford, quando o autor diz que, em dadas condições descritas em seu experimento, uma propriedade da partícula alfa (magnitude) pode ser detectada experimentalmente: “Esta é de uma magnitude que pode ser facilmente detectada experimentalmente (Rutherford, 1911, tradução nossa)”. Chen *et al.* (2021) também utiliza o termo *detection* e o verbo que lhe deu origem de forma similar ao que a IUPAC traz, enquanto Crewe e Langmore (1970) não utilizam nem o termo e nem o verbo que lhe originou.

Retratar na Terminologia Científica

Retratar, na língua portuguesa, é uma palavra polissêmica, visto que apresenta vários significados. Santiago-Almeida (2011) diz que retratar é “fazer retratos, pintando ou fotografando”. Contudo, Figueiredo (2010) traz três significados para essa palavra, dependendo se o verbo é intransitivo, prenominal ou transitivo. No caso de “retratar” ser intransitivo, assume o significado de “trate de novo. Ter como não dito, desdizer-se”, no caso de estar como prenominal tem o significado de “desdizer-se; confessar que errou” e quando é um verbo transitivo há mais uma vez uma polissemia, podendo significar, entre seus significados, “descrever perfeitamente” e “representar com exatidão”.

Dependendo do significado que o verbo tem, a sua origem se altera. Se “retratar” está como um verbo intransitivo ou prenominal, seu étimo é a palavra do latim *retractare*, que significa, de forma semierudita, “puxar para trás”. Quando é um verbo transitivo, é oriundo do substantivo retrato com a terminação -ar, sendo que o étimo de retrato, como substantivo, vem de *ritratto*, da língua italiana, que é utilizada para designar uma figura humana pintada ou esculpida. (Figueiredo, 2010; Nascente, 1955; Nascente, 1966; Pianigiani, 1907).

A tradução do português para o inglês da palavra retratar (no sentido que Santiago-Almeida [2011] define como “descrever perfeitamente”) conforme Allen (2014), é *depict* ou *paint*, sendo que, para o mesmo autor, a palavra *depict* é traduzida do inglês para o português como pintar e representar, enquanto *paint* possui várias traduções conforme o autor, mas nenhuma como retratar. Em contrapartida, para a palavra em inglês *retract*, o autor coloca com uma das traduções possíveis o verbo retratar, com o significado de desdizer. Isso pode ser explicado pelo que Barbosa (2010) trata como complexidade da tradução interlínguas, já que se deve procurar um termo com maior equivalência, tomando cuidado para a tradução possuir apenas uma pequena variação do discurso original do trabalho.

Embora se tenha visto que a palavra retratar é polissêmica, a utilização desse verbo com o sentido de “descrever perfeitamente” e “representar com exatidão”, conforme Santiago-Almeida (2010), para o átomo é bastante comum na literatura em português, como visto em Tenfen e Wagner (2017), Schultz e Danusa (2020), Sá, Moreira e Varjão (2013), Silva, Dutra-Pereira e Santos (2019). O termo de língua inglesa *depict* é utilizado no *website* da Nobel Prize Outreach AB, quando se

fala dos laureados pelo Nobel de Física em 1986. Conforme Nobel Prize Outreach AB, os pesquisadores ganharam o Nobel por “*This makes it possible to depict individual atoms, that is, to study in the greatest possible detail the atomic structure of the surface being examined* (Nobel Prize Outreach AB, 2021)” ou, em tradução livre, “Isso torna possível retratar átomos individuais, ou seja, estudar com o maior detalhamento possível a estrutura atômica da superfície que está sendo examinada (Prêmio Nobel Outreach AB, 2021, tradução nossa)”.

Revisão sobre o Ensino de Modelos Atômicos

Conforme Quílez (2019), o conceito de átomo é um dos que apresentam dificuldades terminológicas aos alunos do ensino médio por apresentar um novo termo e conceito, o qual por si só evoluiu juntamente com a Química ao longo da história. O conceito de átomo pode ser de difícil compreensão para o aluno, pois entender as diferenças conceituais entre cada um dos modelos atômicos (como por exemplo, os modelos de Dalton, Thompson, Rutherford, Rutherford-Bohr e Schrödinger) pode não ser trivial.

No entanto, visões distorcidas sobre o conceito de átomo não são exclusivas de alunos. A literatura também aponta casos em que os próprios professores apresentam dificuldades ao definir e descrever o que é um átomo. Papageorgiou e Sakka (2000) realizaram um questionário com professores de escola primária acerca de alguns temas básicos da Química, dentre os quais estavam átomos e moléculas. Uma parcela considerável dos professores não foi capaz de dar definições precisas desses conceitos, elaborando inclusive definições iguais para ambos os termos. Em outros casos, os professores consideraram moléculas e átomos como componentes de elementos químicos, não sabendo diferenciar as duas palavras.

Isso leva a uma indagação a respeito do quão completa é a formação inicial do futuro professor de ciências ou de Química. Recentemente, Muştu e Özkan (2019) encontraram, em mapas mentais elaborados por futuros docentes da área de ciências, concepções de átomos e da estrutura atômica muito discrepantes do modelo mais aceito atualmente. Os autores discutem a possibilidade dos livros didáticos e das figuras neles dispostas serem algumas das fontes dessas concepções, fazendo com que os professores em formação, por mais que já tivessem cursado disciplinas de Química e Física na universidade, associassem majoritariamente o átomo ao modelo de Bohr, o que pode induzi-los a certas características do modelo que não mais refletem a realidade como hoje conhecemos, tal como a representação dos elétrons em órbitas bem definidas.

No Brasil, o mesmo fenômeno já havia sido observado em futuros professores de Ciências. Nesse caso, Moraes (2017) identificou em estudantes dos períodos finais de Licenciatura em Ciências Biológicas, portanto já tendo realizado disciplinas de Química no ensino superior, a mesma insistência em representar os átomos como no modelo de Bohr. Novamente, a questão das representações atômicas em livros didáticos é trazida pela autora como justificativa para os resultados verificados, também enfatizando o fato de que uma parcela grande das aulas de ciências no Ensino Fundamental II é ministrada por egressos de Ciências Biológicas, que acabam por apresentar aos alunos os seus primeiros conceitos de Química, baseando-se nos conhecimentos que adquiriam em sua formação inicial.

De acordo com Blanco e Niaz (1998), o entendimento de ambos o estudante e o professor está relacionado com a compreensão da própria natureza da Ciência. Em seu estudo, os autores verificaram o pensamento de alunos e de docentes acerca dos átomos de Thomson, Rutherford e Bohr, concluindo que existe muita similaridade nas concepções de ambos, fator que foi evidenciado por suas respostas, em maioria positivistas, dando muita ênfase às propriedades atribuídas a cada um dos modelos atômicos e desconsiderando a mutabilidade da ciência, o estabelecimento de hipóteses que se confrontam, a execução de experimentos para comprová-

las e a motivação por trás da Ciência. Para os autores, a melhor compreensão da estrutura atômica ocorre quando se tem a noção de que os fatores previamente citados influenciam a construção dos modelos atômicos.

Parte da fonte dos motivos da dificuldade do aluno pode ser a linguagem que o professor utiliza para explicar o conteúdo, a qual, segundo Herron (1975, 1978 e 1979), acontece devido ao fato de que professores ensinam os seus alunos da forma que foram ensinados, sem reflexão nenhuma em suas práticas, o que inclui a sua linguagem e termos utilizados na hora de explicar um conteúdo. Afinal, como diz Pardo (2016), o professor de Química também é um professor de língua, já que esta ciência exige um domínio de termos, palavras e símbolos específicos. Todavia, Driscoll (1978) ressalta a importância de definir e clarificar os termos que o professor de Química utiliza, porém também levanta a discussão e problematização de até onde o refinamento excessivo de termos químicos não é contraprodutivo para a aprendizagem do aluno.

Tendo em mente a noção de que os próprios professores de Ciências podem apresentar concepções alternativas sobre os átomos e suas estruturas, é importante que se pautem a ocorrência da transposição didática, seja ela no Ensino de Química, Física ou Ciências. De acordo com Chevallard (2013), a transposição didática trata da transformação de um saber científico em um saber escolar, passando por mudanças para que possa ser ensinado didaticamente. Aplicando esse conceito ao ensino de modelos atômicos, se pode pensar nas diferenças que existem entre o que foi experimentalmente verificado pelo cientista proponente de um determinado modelo atômico, o trabalho que por ele foi publicado, e aquilo que é lecionado pelo professor em sala de aula. As pesquisas envolvendo a transposição didática no ensino de Química são ainda pouco difundidas no Brasil, mas têm aumentado o interesse por essa abordagem na última década, conforme discutido por Melzer, Simões Neto e Silva (2016), que justificam essa baixa difusão com base nas raízes dos pensamentos teóricos-metodológicos do ensino brasileiro, grandemente focados em saberes de origem popular.

Gomes e Oliveira (2007) afirmam que a atuação do professor é de grande importância para que o aluno possa aceitar ou refutar modelos atômicos, sendo possível a execução de uma abordagem histórica e que contenha uma linha de raciocínio que favoreça o entendimento das rupturas e superações presentes em cada modelo, situação pela qual os autores afirmam se dar a real aprendizagem. Isso vai ao encontro do que foi relatado por Santana (2010), cujo trabalho identificou um distanciamento entre o saber científico e o saber transposto pelos professores no que se refere aos modelos atômicos. O autor aponta que o aluno pode ser induzido a pensar que a ciência é neutra, objetiva e sem conflitos, o que é intensificado não apenas pela transposição didática do docente, mas também pelo uso excessivo de livros didáticos e apostilas, que tendem a fragmentar o conteúdo, desconsiderar a natureza de um modelo como uma criação científica, e dar pouca significância ao contexto histórico de como aquele conhecimento foi construído.

Chassot (1996) afirma que os modelos atômicos oferecem explicações razoáveis para fenômenos diferentes, tal como o modelo de Rutherford-Bohr para o ensino de ligações em um cristal de cloreto de sódio, que apresentaria dificuldades para explicar uma molécula de gás hidrogênio, a qual demandaria o conceito de orbitais. O autor ainda discorre sobre o modelo de Demócrito, e aponta que o mesmo é suficiente para fornecer a maioria das explicações sobre átomos. A adoção dessa perspectiva por parte de professores no ensino de átomos é citada por Gomes e Oliveira (2007), evidenciando o fato de que a generalização faz com que os alunos não questionem as premissas do que está sendo ensinado, se contentando com uma lei geral que aparentemente explica todo o universo estudado. Conforme aponta a literatura, fenômenos como a transposição didática ou a centralização do ensino de modelos atômicos aos livros didáticos são contribuintes para a construção de concepções alternativas de átomos e a sua estrutura, tornando importante o prosseguimento de investigações nessa linha.

Assim sendo, é importante conduzir estudos que investiguem os termos empregados na Química, especialmente com ênfase na educação, já que a linguagem é uma das principais ferramentas utilizadas pelos professores em sala de aula. Tendo em vista que os modelos atômicos são frequentemente abordados nas aulas de Química e são usados para explicar diversos fenômenos, pesquisas que explorem os termos relacionados e a natureza do átomo assumem um papel relevante (Herron, 1979; Sá, Moreira & Varjão, 2013; Pardo, 2016).

Métodos para Coleta de Dados

Os dados do presente trabalho foram obtidos por meio de um formulário anônimo, baseando-se nas considerações feitas por Bell (2016), que aponta algumas boas práticas na elaboração de questionários, tais como a aparência, a redação de perguntas objetivas e como analisar devidamente os dados. O questionário foi aplicado para licenciandos e licenciados nas áreas de Ciências Naturais, e teve perguntas de múltipla escolha para o universo da pesquisa, identificando a área de formação em Biologia, Física ou Química, a situação de formação (por exemplo, se ainda está se formando ou há quanto tempo se formou) e o tempo de atuação como docente, caso houvesse. Finalmente, como objeto de pesquisa, foram dispostas afirmações a respeito das características dos átomos, com as quais os participantes poderiam concordar ou discordar. As afirmações usadas foram baseadas na pesquisa de Griffiths e Preston (1992), que trabalharam com a estrutura, forma, tamanho, massa e animismo dos átomos. No presente questionário, dentre as afirmações sobre o tamanho dos átomos, destacam-se três, que foram posteriormente objeto de estudo:

- Q1 – Átomos são grandes o suficiente para serem vistos ao microscópio.
- Q2 – Átomos isolados podem ser detectados por técnicas instrumentais.
- Q3 – Átomos isolados podem ser retratados por técnicas instrumentais.

Dados Obtidos

Ao final da pesquisa, foram obtidas respostas de 42 licenciandos, sendo 26% da área de Ciências Biológicas, 19% de Física e 55% da Química. Os dados das respostas para cada questão estão na tabela 1.

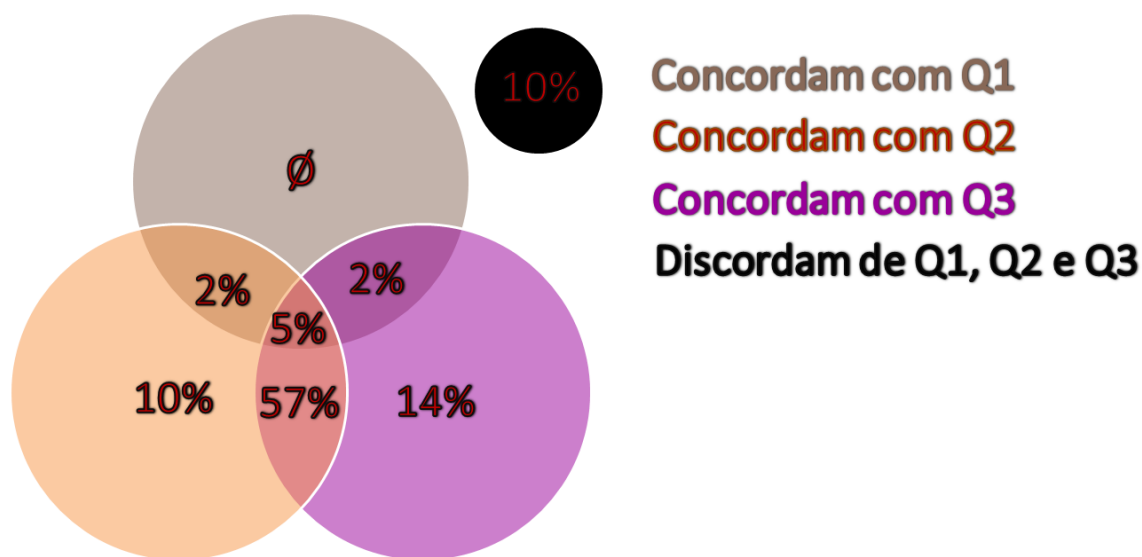
Tabela 1: Dados, em porcentagem, obtidos.

Questão	Concordo	Discordo
Q1	10%	90%
Q2	74%	26%
Q3	79%	21%

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Visto que o fato de um respondente concordar ou discordar em uma questão não implica diretamente que ele irá concordar ou discordar com outra, para analisar isso foi criado um diagrama de Venn com as respostas (figura 1).

Figura 1: Diagrama de Venn com as respostas obtidas.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

As intersecções da figura 1 mostram todas as porcentagens em relação às combinações de respostas possíveis. 2% concordaram apenas com Q1 e Q2, 2% com Q1 e Q3, 57% com Q2 e Q3, e 5% com Q1, Q2 e Q3. Como se trata de um diagrama que apresenta os dados da tabela 1, caso se some os valores de porcentagem de cada um dos círculos, obter-se-á os valores em concordância com a tabela 1. A variação na soma da Q1, que na figura 1 resulta em 9% e na tabela 1 está em 10%, assim como a Q2, que possui uma soma de 78% na figura 1 e 79% na tabela 1, é devida aos arredondamentos matemáticos das casas decimais. No entanto, a soma de todos os valores na figura 1, assim como de cada linha na tabela 1, mantém-se em 100%.

Discussão

Em Q1, se tem a palavra “vistos”, enquanto em Q2, a palavra “detectados” e Q3 a palavra “retratados”. Isoladamente, saber se o licenciando concordou ou discordou da afirmação não revela muito, mas pode-se separar as palavras por conjuntos com intersecções em que os participantes concordam com as questões, como será feito posteriormente.

A concordância com a questão Q1 foi baixa, tendo 10% de ocorrência entre todo o grupo verificado, resultado similar ao encontrado por Griffiths e Preston (1992), que relataram também um número de 10% para estudantes acadêmicos de áreas científicas, universo similar àquele aqui analisado. Na pesquisa dos autores, esse número foi maior para estudantes acadêmicos de áreas não científicas ou participantes não acadêmicos, indicando que o contato com as ciências no ensino superior parece reduzir a concepção de que os átomos podem ser vistos ao microscópio comum. Isso também pode ser justificado quando se compara com os livros acadêmicos de Brady, Jesperesen e Senese (2009), Bruce, Lemay Jr., Bursten e Burdge (2005), Kotz, Treichel, Townsend e Treichel (2015), Bettlhein, Brown, Campbell e Farrel (2012), Zumdahl e Decoste (2015), Atkins, Jones e Laverman (2018), Chang (2010), Burdge (2011), Ebbing e Gammon (2007) e Tro (2010), que afirmam que técnicas instrumentais já conseguiram obter dados que resultaram em uma imagem no livro que é atribuída a um átomo isolado.

Em Q2 e Q3, houve pouca diferença em termos gerais, já que houve concordância de 74% e 79%, respectivamente, evidenciando que as respostas de cerca de 3 a cada 4 estudantes de Ciências Naturais aqui analisados reconhecem a capacidade de equipamentos atuais de detectar átomos individuais ou retratá-los em imagens geradas por essas técnicas instrumentais. Um possível aprofundamento nessa linha de investigação poderia questionar os estudantes que concordaram

com as afirmações a respeito de quais técnicas instrumentais são essas, embora isso tenha de ser feito com o cuidado de não induzir os participantes a alguma resposta, razão pela qual não houve tamanho aprofundamento no presente estudo.

A discussão acerca da detectabilidade ou retratabilidade de átomos por meio de técnicas instrumentais é basicamente inexistente na área de educação, já que os estudos geralmente visam também outras características atômicas, como a forma do átomo ou suas propriedades (Cokelez, 2012). No caso de Griffiths e Preston (1992), por exemplo, não houve nenhum questionamento a esse respeito. Entretanto, o conceito de visibilidade de um átomo é mais predominante em áreas específicas de pesquisa científica, tal como a microscopia.

Um exemplo pode ser encontrado no trabalho de Haider, Hartel, Müller, Uhlemann e Zach (2009), que discorrem sobre a melhoria da resolução de microscópios eletrônicos, afirmando que naquele ano já era possível obter imagens com resoluções menores do que 1 Å (angstrom). A invisibilidade dos átomos perante as técnicas de instrumentação modernas passou a ser colocada em xeque há muitos anos. De acordo com Haynes *et al.* (2017), o menor raio covalente dentre os elementos químicos pertence ao átomo de hidrogênio, correspondendo a 0,32 Å, enquanto átomos maiores, como o carbono e o ferro, apresentam raio covalente de 0,75 Å e 1,24 Å, respectivamente. Embora isso seja pouco tratado na área de educação, esse rompimento de paradigma com base no desenvolvimento de novas tecnologias já foi discutido em livros didáticos, como apresentado por Melo e Neto (2013).

Nas próximas subseções, será discutido cada um dos conjuntos presentes na figura 1. Considera-se que cada conjunto seja uma possível combinação de concordância e discordância em relação às questões Q1, Q2 e Q3, totalizando 8 conjuntos.

Conjunto que Concordaram com Q1 e Discordaram de Q2 e Q3 (∅)

É interessante notar que o conjunto dos respondentes que concordaram apenas com Q1 está vazio. Esse grupo, por si, apresenta uma inconsistência lógica, afinal, considerando que átomos são grandes o suficiente para serem vistos ao microscópio, não há nexos em afirmar que átomos isolados não podem ser detectados e nem retratados por técnicas instrumentais.

Conjunto que Concordaram com Q2 e Discordaram de Q1 e Q3 (10%)

Esse conjunto corresponde aos participantes que assumem que os átomos não são grandes suficientes para serem vistos ao microscópio e nem retratáveis por técnicas instrumentais, mas que podem ser detectados por elas. Nesse sentido, a detecção apresenta o significado que Santiago-Almeida (2011) traz sobre “Dar-se conta da existência de; notar”, e que vai de encontro também com a utilização que a IUPAC (2014) traz. Esse conjunto foi o terceiro mais predominante entre todos os possíveis, sendo relevante para o universo estudado.

Na intersecção aqui analisada, isso pode ser um indicativo de que os participantes reconhecem a possibilidade de detecção do átomo por meios que não envolvem a geração de uma imagem, mas relutam em concordar com a sua retratação. O Grande Colisor de Hádrons, por exemplo, combina conceitos de calorimetria e espectrometria em projetos chamados de ATLAS e CMS, visando inclusive a detecção de partículas subatômicas (Froidevaux & Sphicas, 2006). A discordância com a questão Q3 pode ser oriunda da noção de que átomos são invisíveis também para técnicas instrumentais, já que essa característica é citada frequentemente em livros didáticos, além de estar presente nas concepções de alunos sobre átomos (Cokelez, 2012).

Nesse caso, é importante ressaltar que pode haver diferentes interpretações do que se quer dizer com “invisível”, tanto pela parte do livro didático, quanto pelo leitor. Quando uma imagem de microscopia eletrônica é gerada, o instrumento não capta luz visível vinda do átomo, até porque esses são muito menores que os comprimentos de onda na faixa da luz visível. Na realidade,

trabalha-se com feixes de elétrons de alta energia e com comprimentos de onda muito menores, permitindo uma melhor resolução (Granger; Yochum, Grander & Sienerth, 2017). Dessa forma, pode-se considerar que o átomo seria sim invisível, já que a técnica geradora da imagem não se usa do comprimento de onda de luz visível. Para tentar driblar essa interpretação, optou-se pelo uso da palavra “retratar” em Q3. Investigações subsequentes poderiam focar justamente nessa interpretação por parte do respondente, visando verificar se essa concepção realmente está presente.

Conjunto que Concordaram com Q3 e Discordaram de Q1 e Q2 (14%)

Esse conjunto é dos licenciandos que assumem que os átomos não são grandes suficientes para serem vistos ao microscópio e nem detectáveis por técnicas instrumentais, mas que podem ser retratáveis por elas. O fato de discordar de Q2 pode indicar haver a concepção de que os átomos podem ser retratados no sentido de representação de imagens, mas não são detectáveis isoladamente. Todavia, não se pode concluir o que estes estudantes entendem como retratar átomos isolados sem uma investigação mais aprofundada, que neste caso, poderia induzir a respostas diferentes para as outras questões. Uma possível maneira de verificar a interpretação dos participantes a respeito do significado de “retratar” seria que descrevessem a técnica de instrumentação que acreditam ser capaz disso, já que concordaram apenas com Q3.

Conjunto que Concordaram com Q1 e Q2 e Discordaram de Q3 (2%)

Esse conjunto apresenta a concepção de que átomos são grandes o suficiente para serem vistos por microscópios e que também podem ser detectados, todavia discordam que eles podem ser retratados por técnicas instrumentais. O significado de detecção aparentemente é aquilo que Santiago-Almeida (2011) dizem sobre “Dar-se conta da existência de; notar” e, também, com a utilização da IUPAC (2014).

Nota-se que houve uma porcentagem muito baixa de casos específicos dessa combinação de respostas. Concordar com Q1, por exemplo, trata-se de um erro conceitual, já que não existe microscópio óptico com lentes capazes de guiar luz visível de átomos para nossos olhos, haja vista o próprio tamanho dos átomos, que é menor que o comprimento de onda da luz que estaria emitindo para ser identificado isoladamente (Granger *et al.*, 2017). A concordância com Q2, nesse caso, pode abranger ainda mais interpretações em relação ao conjunto discutido anteriormente. Considerando que esses participantes imaginam ser opticamente possível observar os átomos, até uma câmera poderia se enquadrar como uma técnica instrumental capaz de detectar ou retratar o átomo isolado, gerando uma inconsistência lógica.

Conjunto que Concordaram com Q1 e Q3 e Discordaram de Q2 (2%)

Assim como conjunto que concorda com Q3 e discorda de Q1 e Q2, o fato de discordar de Q2 faz com que possa haver a concepção de que os átomos podem ser retratados no sentido de representação de imagens, mas não são detectáveis isoladamente. Todavia, não se pode concluir o que este grupo entende como retratar átomos isolados. Além disso, essa intersecção apresenta a concepção de que o átomo é grande o suficiente para ser visto no microscópio, um erro conceitual. Essa combinação é pouco representativa em relação ao universo da pesquisa, tendo apenas 2% dos casos.

Conjunto que Concordaram com Q2 e Q3 e Discordaram de Q1 (57%)

Nesse conjunto, há a maioria dos respondentes. O fato de discordar de Q1 e concordar com Q2 é um forte indício de que a concepção de detecção é a que Santiago-Almeida (2011) diz sobre “Dar-se conta da existência de; notar”, o que está de acordo com a utilização que a IUPAC (2014)

traz. A concordância com Q3, juntamente com concordância com Q2 e a discordância de Q1 deixam evidente que os alunos tenham o entendimento que Santiago-Almeida diz como “descrever perfeitamente” e “representar com exatidão”.

Conforme os aspectos apresentados ao início da discussão, esse grupo representa a maior coerência conceitual ao discordar de Q1 e maior reconhecimento da capacidade atual das técnicas de instrumentação empregadas na investigação de materiais, superfícies, e até átomos individuais, embora não se tenha questionado os respondentes sobre quais eram essas técnicas.

O universo aqui pesquisado envolveu formandos e formados em cursos de Ciências Naturais de ensino superior. Dessa forma, pode-se esperar um número mais relevante de participantes que reconhecem a capacidade de representar os átomos em figuras, mesmo que obtidas de maneira indireta e não dependentes de luz visível, tal como discutido por Melo e Neto (2013).

Por mais que essas figuras sejam encontradas em livros didáticos mais voltados ao ensino médio, como mostraram Melo e Neto (2013), imagina-se que os livros voltados ao ensino superior tratem do tema com maior ênfase, assim como os professores, podendo trazer aos alunos o repertório necessário para responder às questões Q2 e Q3. Livros usados para o ensino de Química Geral em universidades, por exemplo, disponibilizam figuras que ilustram átomos individuais em imagens geradas por microscopia de tunelamento já em sua seção inicial de fundamentos (Brady; Jesperesen & Senese, 2009; Bruce; Lemay Jr.; Bursten & Burdge, 2005; Kotz; Treichel; Townsend & Treichel, 2015; Bettlheim; Brown; Campbel & Farrel, 2012; Zumdahl & Decoste 2015, Atkins; Jones & Laverman, 2018; Chang, 2010; Burdge, 2011; Ebbing & Gammon, 2007; Tro 2010).

Conjunto que Concordaram com Q1, Q2 e Q3 (5%)

O fato de discordar de Q1 e concordar com Q2 é um forte indício que a concepção de detecção é a que Santiago-Almeida (2011) diz sobre “Dar-se conta da existência de; notar”, o que é vai também com a utilização que a IUPAC (2014) traz. Ao concordar com todas as questões, é possível que os participantes sequer tenham a concepção de quão pequenos são os átomos, podendo inclusive confundir as diferentes ordens de grandeza entre átomos, moléculas, células e outros conceitos. Isso é observado com certa frequência em alunos durante a educação básica, tal como evidenciado por Papageorgiou, Markos e Zarkadis (2016). Os autores relataram a inabilidade de diferenciar átomos de moléculas e íons e tratar esses termos como sinônimos, além de também afirmar que átomos são feitos de moléculas.

Concepções como essas podem ser trazidas ao ensino superior e não serem modificadas ao longo da formação, perpetuando a ideia de que os átomos podem ser vistos por microscópios comuns (Q1), conseqüentemente detectá-los e retratá-los seria apenas uma consequência em Q2 e Q3.

Conjunto que Discordaram de Q1, Q2 e Q3 (10%)

Esse grupo, ao discordar de Q1, Q2 e Q3 traz um forte indício que a concepção de detecção é a que Santiago-Almeida (2011) diz sobre “Dar-se conta da existência de; notar”, visto que discordam de Q1 e Q2. Além disso, faz com que tenha coerência também em discordar de Q3, visto que concordar implicaria uma forma de detecção de um átomo isolado. Essa combinação de respostas foi relevante no universo analisado, atingindo 10%. A discordância das questões Q2 e Q3 pode indicar um desconhecimento das técnicas instrumentais de caracterização mais atuais.

Tal fenômeno seria um fator motivador também para investigações subsequentes voltadas ao ensino superior e livros didáticos desse nível, visando verificar a discussão, caso exista, dos métodos instrumentais mais modernos em diferentes subáreas das Ciências Naturais. Dessa forma, verificar-se-ia qual a exposição dos alunos desses cursos aos conhecimentos mais atuais relevantes para o aprendizado de átomos e modelos atômicos.

Considerações Finais

O conceito de átomo é de grande importância para a devida compreensão das Ciências Naturais como um todo. Assim, informações sobre sua dimensão, por exemplo, tornam-se essenciais e são parte do dia a dia do profissional que lida com alguma destas ciências. Certas concepções alternativas, no entanto, foram verificadas em um grupo de pessoas composto por profissionais em formação e outros já formados em Física, Química ou Biologia. Em Q1, por exemplo, embora a maior parte dos participantes reconheça o fato de que os átomos são pequenos demais para serem vistos por um microscópio simples, 10% não o fizeram. Considerando o conjunto que discordou de Q1 e concordou com Q2 e Q3 como aqueles que apresentam um entendimento mais completo da natureza de um átomo, apenas 57% dos respondentes atingiram essa coerência conceitual. Em outras palavras, quase metade dos licenciandos e licenciados em Ciências Naturais demonstraram alguma incoerência na compreensão das dimensões atômicas ou a capacidade de detectar e retratar átomos com técnicas instrumentais modernas.

Em nossa compreensão, isto é um indicativo de que muitos dos conceitos que não são devidamente compreendidos acabam sendo passados adiante em um processo sistemático de transmissão de percepções alternativas, que necessita ser interrompido para que uma compreensão mais ligada à ciência que temos atualmente se faça presente, minimizando progressivamente concepções alternativas sobre o átomo e conceitos como sua retratação e detecção, ligados à sua dimensão. Além disso, se faz necessário a discussão e reflexão do sentido destas palavras no próprio contexto terminológico, visto que são palavras polissêmicas. As incongruências encontradas foram evidenciadas por alguns respondentes das questões Q2 e Q3. Em torno de um em cada quatro, houve discordância da capacidade de detectar ou retratar átomos por meio de técnicas instrumentais.

No que se refere à formação de novos profissionais, há de se deixar claro que existem diferentes técnicas (microscopia eletrônica e microscopia de varredura por sonda, por exemplo) há tempos capazes de obter imagens com resolução atômica. Estas são algo presente no cotidiano para pesquisadores das diversas áreas dentro das Ciências Naturais. Muitas destas técnicas são relatadas em livro didáticos utilizados em cursos superiores de Química, inclusive de formação de professores. Em um primeiro momento, pode parecer que é incongruente com alguns dados obtidos no presente trabalho. Todavia, com outro ponto de vista, isso pode ser considerado um indício que o perpetuamento do processo sistemático da transmissão de concepções alternativas não será finalizado tão somente com atualizações no material didático utilizado em sala de aula, seja essa aula de aula em ensino médio ou de ensino superior.

Referências

- Allen, Maria F. (2014). *The Routledge Portuguese Bilingual Dictionary: Portuguese–English and English–Portuguese*. Nova Iorque: Routledge.
- Atkins, Peter, Jones, Loretta, & Laverman, Leroy. (2018). *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. Bookman Editora.
- Auffray, Jean-Paul. (2001). *O átomo*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Barbosa, Maria A. (2010). Tradução e estudos interdisciplinares: A multiconceptualização do mundo. *Revista Italiano UERJ*, 1(1), 18.
- Bell, Judith. (2016). *Projeto de pesquisa: guia para pesquisadores iniciantes em educação, saúde e ciências sociais*. Porto Alegre: Artmed Editora.

- Bettelheim, Frederick A.; Brown, William H.; Campbell, Mary K. & Farrel, Shawn O. (2012). *Introdução à química geral, orgânica e bioquímica*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- Blanco, Rafael & Niaz, Mansoor. (1998). Baroque tower on a gothic base: A Lakatosian reconstruction of students' and teachers' understanding of structure of the atom. *Science & Education*, 7(4), 327-360.
- Bohr, Niels. (1913). I. On the constitution of atoms and molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26(151), 1-25.
- Brady, James E., Jespersen, Neil D., & Senese, Frederick A. (2009). *Chemistry: the study of matter and its changes*. John Wiley & Sons.
- Brown, Theodore L.; Lemay Jr., H.E.; Bursten, Bruce E. & Burdge, Julia.R. (2005). *Química: a ciência central*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Burdge, Julia. (2011). *Chemistry*. New York: McGraw Hill, 2011.
- Chang, Raymond. (2010). *Chemistry*. Boston: McGraw Hill, 2010.
- Chassot, Attico. (1996). Sobre prováveis modelos de átomos. *Química Nova na Escola*, 3, 3-7.
- Chen, Zhen, Jiang, Yi, Shao, Yu-Tsun, Holtz, Megan E., Odstrčil, Michael, Guizar-Sicairos, Manuel, Hanke, Isabelle, Ganschow, Steffen, Schlom, Darrell G., Muller, David A. (2021). Electron ptychography achieves atomic-resolution limits set by lattice vibrations. *Science*. 372(6544), 826-831.
- Chevallard, Yves. (2013). Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, 3(2), 1-4.
- Cokelez, Aytekin. (2012). Junior high school students' ideas about the shape and size of the atom. *Research in Science Education*, 42(4), 673-686.
- Crewe, Albert V., Wall, J., & Langmore, J. (1970). Visibility of Single Atoms. *Science*, 168(3937), 1338-1340.
- Dalton, John. (1808). *A New System of Chemical Philosophy: Part 1*. Londres: Dawson.
- Dalton, John. (1810). *A New System of Chemical Philosophy, Part 2*. Londres: Bickerstaff.
- Driscoll, D. R. (1978). Comments on ionization. *Journal of Chemical Education*, 55(7), 465.
- Ebbing, Darrell D. & Gammon, Steven D. (2007). *General Chemistry*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Figueiredo, Cândido de. (2010). *Novo dicionário da língua portuguesa*. Recuperado de <http://www.gutenberg.org/files/31552/31552-pdf.pdf>
- Froidevaux, Daniel, & Sphicas, Paris. (2006). General-purpose detectors for the Large Hadron Collider. *Annual Review of Nuclear Particle Science*, 56, 375-440.
- Gomes, Henrique J. P., & Oliveira, Odisséa B. (2007). Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. *Ciências & Cognição*, 12, 96-109.
- Granger, Robert M., Yochum, Hank M., Granger, Jill N., & Sienerth, Karl D. (2017). *Instrumental analysis*. Oxford University Press.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of research in Science Teaching*, 29(6), 611-628.

- Haider, M., Hartel, P., Müller, H., Uhlemann, S., & Zach, J. (2009). Current and future aberration correctors for the improvement of resolution in electron microscopy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1903), 3665-3682.
- Haynes, William M. et al. (2017). *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC Press.
- Herron, J. D. (1975). What is oxidation? *Journal of Chemical Education*, 52(1), 51.
- Herron, J. D. (1978). Response to "Are Chemical Terms Well Defined". *Journal of Chemical Education*, 55(6), 393.
- Herron, J. D. (1979). Hey, watch your language! *Journal of Chemical Education*, 56(5), 330.
- International Union of Pure and Applied Chemistry. (2014). *Compendium of Chemical Terminology: Gold Book*. Recuperado de <https://goldbook.iupac.org/files/pdf/goldbook.pdf>
- Kotz, John C.; Treichel, Paul M.; Townsend, John R. & Treichel, David A. (2015) *Química geral e reações químicas*. São Paulo: Cengage Learning.
- Lopes, Cesar V. M. (2009). *Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica*. Tese (Doutorado), PUC-SP; Brasil.
- Loyson, Peter. (2010). Influences from Latin on Chemical Terminology. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1303–1307.
- Melo, Marlene R., & Neto, Edmilson G. L. (2013). Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. *Química nova na escola*, 35(2), 112-122.
- Melzer, Ehrick E. M., & Aires, Joanez A. (2015). A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 11(22), 62-77.
- Melzer, Ehrick E. M., Castro, Leandro de, Aires, Joanez A., & Guimarães, Orliney M. (2009). Modelos atômicos nos livros didáticos de química: obstáculos à aprendizagem. In: *ENPEC– Encontro Nacional de Pesquisa em Educação Em Ciências*, 7. Florianópolis.
- Melzer, Ehrick E. M., Simões Neto, José E., & da Silva, Flávia C. V. (2016). Analisando as pesquisas Envolvendo Transposição Didática de Conteúdos Químicos Publicadas no Brasil. *Revista ENCITEC*, 6(1), 100-114.
- Moraes, Cinara A. (2017). As ligações entre os átomos e suas representações: dificuldades de futuros professores de ciências. In: *XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1-10.
- Muştu, Özlem E., & Özkan, Emin B. (2019). Determining the pre-service teachers' perceptions of atom and atomic structure through word association test. In: *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* (Vol. 20, No. 1, pp. 1-29). The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies.
- Nascente, Antenor. (1955). *Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa* (1a ed.). Rio de Janeiro: Jornal do Commercio.
- Nascente, Antenor. (1966). *Dicionário Etimológico Resumido*. Rio de Janeiro: INL/MEC.
- Neves, Bernardo R. A., Vilela, José M. C., & Andrade, Margareth S. (1998). Microscopia de varredura por sonda mecânica: uma introdução. *Cerâmica*, 44, 212-219.
- Nobel Prize Outreach AB 2021. (2021). *Press release*. Recuperado de <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1986/press-release/>
- Papageorgiou, George, & Sakka, Despina. (2000). Primary School Teachers' Views on Fundamental Chemical Concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2), 237-247.

- Papageorgiou, George, Markos, Angelos, & Zarkadis, Nikolaos. (2016). Understanding the Atom and Relevant Misconceptions: Students' Profiles in Relation to Three Cognitive Variables. *Science Education International*, 27(4), 464-488.
- Pardo, Juan Q. (2016). ¿Es el profesor de Química también profesor de Lengua? *Educación química*, 27(2), 105-114.
- Parente, F. A. G., dos Santos, A. C. F., & Tort, A. C. (2013). Os 100 anos do átomo de Bohr. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(4), 1-8.
- Pianigiani, Ottorino. (1907). *Vocabolario etimologico della lingua italiana M-Z*. Roma-Milano: oietà editrice Dante Alighieri di Albrighi,
- Quílez, Juan. (2019). A categorisation of the terminological sources of student difficulties when learning chemistry. *Studies in Science Education*, 55(2), 121-167.
- Quílez-Pardo, Juan, & Quílez-Díaz, Ana M. (2015). Clasificación y análisis de los problemas terminológicos asociados con el aprendizaje de la química: obstáculos a superar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 20-35.
- Rutherford, Ernest. (1911). LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(125), 669-688.
- Sá, Carmen S. S., Moreira, Bárbara C. T., & Varjão, Tatiana. (2013). Modelização do átomo: implementando e avaliando uma proposta didática. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 934-940.
- Santana, Rafael de J. (2010). *Formação e atuação do professor de química: um estudo sobre a transposição didática dos modelos atômicos* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Sergipe.
- Santiago-Almeida, Manoel M. (2011). *Minidicionário Livre da Língua Portuguesa*. São Paulo: Editora hedra.
- Schrödinger, Erwin. (1926). Quantisierung als eigenwertproblem. *Annalen der physik*, 385(13), 437-490.
- Schultz, Adriana K., & Bonotto, Danusa L. (2020). Modelagem nas ciências e o desenvolvimento da alfabetização científica. *I Simpósio Sul-Americano de Pesquisa em Ensino de Ciências*, (1), Cerro Largo.
- Silva, Thamyres R.; Dutra-Pereira, Franklin K.; & Santos, Maria B. H. (2019). Desenhos científicos no Ensino de Química: as concepções prévias dos alunos do ensino médio sobre os átomos. *In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12. Natal: 2019,
- Tenfen, Danielle N., & Tenfen, Wagner (2017). O modelo atômico de Bohr e as suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(1), 216-235.
- Thomson, Joseph J. (1904). XXIV. On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 7(39), 237-265.
- Tro, Nivaldo J. (2010). *Principles of chemistry: a molecular approach*. New Jersey: Pearson.
- Viana, Hélio E. B. (2007). *A Construção da teoria atômica de Dalton como estudo de caso—algumas reflexões para o ensino de química* (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo-USP. São Paulo.

O Átomo é Visível? Detectável? Retratável? Uma Pesquisa sobre a Utilização e Concepção de Termos de Licenciandos das Ciências Naturais

Wedgwood, Hensleigh, & Atkinson, John. C. (1872). *A dictionary of English etymology*. Londres: Trübner & Company.

Zumdahl, Steven S. & Decoste, Donald J. (2015). *Introdução à química: fundamentos*. São Paulo: Cengage Learning, 2015.