

## PROGRAMA AVOGADRO NA EDUCAÇÃO: APERFEIÇOANDO A COMPREENSÃO DE GEOMETRIA E POLARIDADE MOLECULAR DOS ESTUDANTES

Recebido em: 03/01/2023

Aceito em: 03/02/2023

DOI: 10.25110/educere.v23i1.20239108

Heracles Pereira Wanzeler<sup>1</sup>

José Pio Iúdice de Souza<sup>2</sup>

Haroldo de Vasconcelos Bentes<sup>3</sup>

Solange Maria Vinagre Corrêa<sup>4</sup>

**RESUMO:** A abstração é uma das principais barreiras no ensino e aprendizagem de Química. E para transpô-la, docentes valem-se dos mais diversos métodos de mediação (imagens de livros didáticos, desenho no quadro-negro, conjuntos de modelo molecular, entre outros) no intuito de tornar o mundo atômico menos complexo e melhorar a compreensão conceitual dos estudantes. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a maximização das habilidades de conceituação, reconhecimento e construção de modelos através das funcionalidades de visualização tridimensional, análise e construção/manipulação de estruturas moleculares através do Avogadro (*software*). Assim, apresentam-se aqui experiências didáticas da aplicação da Química Computacional para o ensino e aprendizagem de geometria e polaridade molecular a estudantes de três turmas da 1ª série do Técnico Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), cujos resultados, medidos através de testes e participação discente, demonstram incrementos em todas as habilidades avaliadas – em especial, no reconhecimento de polaridade molecular de 23,5% (antes da aplicação) para 70,6% (pós-aplicação). Deste modo, percebe-se a viabilidade positiva do uso do Avogadro (*software*) em sequências didáticas dos referidos tópicos no ensino de química.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abstração; Avogadro (Software); Visualização Tridimensional.

### AVOGADRO SOFTWARE IN EDUCATION: IMPROVING STUDENT'S MOLECULAR GEOMETRY AND POLARITY COMPREHENSION

**ABSTRACT:** Abstraction is one the main barrier to teaching and learning chemistry. To overcome it, teachers use diverse methods of mediation (textbooks pictures, drawing on the chalkboard, Molecular model set, among others) in order to make the atomic world less complex and improve student's conceptual understanding are made. In this sense, the objective of this article is to evaluate the maximization of the abilities of conceptualization, recognition and construction of models through the functionalities of three-dimensional visualization, analysis and construction/manipulation of molecular structures through Avogadro (software). Thus, here are presented didactic experiences of

<sup>1</sup> Doutorando em Química Teórica Computacional no Programa de Pós-Graduação em Química - Universidade Federal do Pará (PPGQ-UFPA). E-mail: [hpwanzeler@gmail.com](mailto:hpwanzeler@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutor em Química, Faculdade de Química - Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: [jpio@ufpa.br](mailto:jpio@ufpa.br)

<sup>3</sup> Doutor em Educação Brasileira, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). E-mail: [haroldobentes@gmail.com](mailto:haroldobentes@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutora em Educação Brasileira, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). E-mail: [scoreacefetpa@yahoo.com.br](mailto:scoreacefetpa@yahoo.com.br)

the application of Computational Chemistry for the teaching and learning of geometry and molecular polarity to students from three classes of the 1<sup>st</sup> grade of the Integrated Technician to Secondary Education of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), whose results, whose results, measured through tests and student participation, demonstrate increases in all the evaluated skills - especially in the recognition of molecular polarity of 23.5% (before application) to 70.6% (post-application). Thus, it is perceived the positive feasibility of the use of Avogadro (software) in didactic sequences of these topics in the teaching of chemistry.

**KEYWORDS:** Abstraction; Avogadro (Software); Three-Dimensional Visualization.

### **PROGRAMA AVOGADRO EN EDUCACIÓN: MEJORANDO LA COMPRENSIÓN DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LA GEOMETRÍA Y LA POLARIDAD MOLECULAR**

**RESUMEN:** La abstracción es una de las principales barreras en la enseñanza y el aprendizaje de la Química. Y para transponerlo, los profesores hacen uso de los más diversos métodos de mediación (imágenes de libros de texto, dibujo en la pizarra, juegos de modelos moleculares, entre otros) con el fin de hacer menos complejo el mundo atómico y mejorar la comprensión del concepto de los estudiantes. En este sentido, el objetivo de este trabajo es evaluar la maximización de las habilidades de conceptualización, reconocimiento y construcción de modelos a través de las funcionalidades de visualización tridimensional, análisis y construcción/manipulación de estructuras moleculares a través de Avogadro (*software*). Así, aquí se presentan experiencias didácticas de la aplicación de la Química Computacional para la enseñanza y aprendizaje de la geometría y la polaridad molecular a estudiantes de tres promociones del 1<sup>o</sup> grado del Técnico Integrado a la Enseñanza Media del Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, cuyos resultados, medidos a través de pruebas y participación estudiantil, demuestran incrementos en todas las habilidades evaluadas, especialmente en el reconocimiento de la polaridad molecular del 23,5% (antes de la aplicación) al 70,6% (después de la aplicación). De esta manera, se percibe la viabilidad positiva del uso del software Avogadro en secuencias didácticas de estos temas en la enseñanza de química.

**PALABRAS CLAVE:** Abstracción; Avogadro (Software); Visualización Tridimensional.

### **INTRODUÇÃO**

O “mundo” atômico é geralmente uma região de difícil acesso e compreensão aos estudantes iniciantes e, em certas ocasiões, aos veteranos no estudo da ciência química. Um motivo recorrentemente discutido na literatura é a abstração, pois é a partir desta que se propõem explicações às propriedades das substâncias através de tipos, quantidades e interações entre pequenas partículas denominadas átomos (CANELAS, 2015). Tais partículas atômicas que não podem ser vistas a “olho nu” e tão pouco com o auxílio de microscópio, pois se encontram na escala nanométrica, fator relevante na sua compreensão, não são concebidas facilmente pelos estudantes. Pois “(...) a luz comporta-

se como uma onda, e um microscópio óptico só apresenta a imagem clara de um determinado objeto se ele for maior do que o comprimento de onda da luz (400nm-700nm)” (BURROWS *et al.*, 2012, pag. 66).

Na tentativa de tornar este nível particular palpável e/ou visível, docentes recorrem as mais diversas metodologias de ensino, empregando meios de mediação (imagens de livro didáticos e/ou quadro-negro, modelos atômicos com massa de modelar, conjuntos de modelo molecular de Química Orgânica, entre outros) para incutir nos alunos a visão de modelo atômico. A título de exemplificação, pode-se citar “a utilização de objetos moleculares do tipo bola-vareta, quando se propõem ensinar Química Orgânica por meio de um enfoque estereoquímico” (GIORDAN, 2013, pag. 192). O método bola-vareta traz em si pontos positivos como o estímulo as habilidades visuoespaciais - “derivada do conceito visualização espacial” (RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009, pag. 66) - que habilita cognitivamente o aluno na percepção e compreensão do objeto no espaço; e a apresentação a outras possibilidades de representações de moléculas diferentes das habituais fórmulas moleculares e estruturas planares no quadro-negro. Os inconvenientes deste método são: o severo distanciamento entre a analogia criada e o objeto de estudo, pois “no nível molecular o tempo e espaço tomam dimensões absolutamente distintas daquelas que operamos no molar” (GIORDAN, 2013, pag. 192); limitações nas construções de cadeias longas, pois a adição de bolas e varetas para uma maior variedade de estruturas tridimensionais apresentadas aos discentes prejudica severamente estudos de translações e rotações (de grande relevância nas habilidades visuoespaciais); e o momento sociocultural tecnológico vivido pelos estudantes atualmente, percebido na grande quantidade de horas gastas em aplicativos ou programas ao utilizar *tablets*, celulares e computadores, que eclipsam o interesse e a curiosidade pela interação física com os modelos moleculares tridimensionais. Portanto, partindo-se das premissas de que: “muitas concepções estudadas em química são abstratas, (...)” (GABEL, 1999, pag. 548, tradução nossa); existem limitações nos métodos tradicionais de ensino (imagens de livros e desenhos no quadro-negro - ambos limitados ao plano bidimensional; bola-vareta - limitações já expostas) e, finalmente, existe a possibilidade de potencializar a aprendizagem dos estudantes através do uso de multimídia interativa, principalmente na aplicação e construção de modelos (TASKER, 2005), propõe-se aqui, a utilização de um programa *free* de plataforma aberta com principais funções de visualização e construção de estruturas moleculares tridimensionais (3D) chamado Avogadro, atuando como mediador entre o conteúdo a ser abordado (geometria e

polaridade molecular) e as competências (habilidades de conceituação, reconhecimento e construção) a serem compreendidas pelos estudantes, proporcionando concretude, vencendo a barreira bidimensional (2D) e possibilitando a maximização do aprendizado nos conteúdos supracitados.

### **As habilidades visuoespaciais e a multimídia**

Os alunos, ao lidarem com questões da disciplina Química, na maioria das vezes, esbarram em uma grande barreira: imaginar e compreender a ocorrência/funcionamento dos fenômenos químicos. Em suas perspectivas, encontrar uma possível solução ao questionado é um desafio aparentemente inacessível e, sem uma boa habilidade visuoespacial a tarefa torna-se complexa. A habilidade visuoespacial consiste na capacidade de visualização, apreensão e compreensão de um modelo no espaço através da imaginação e, por conseguinte, na realização de operações de interação, translação e rotação mentais (CARROLL, 1993). Um excelente exemplo de habilidade visuoespacial foi a explicação dada por Kekulé ao deduzir a estrutura do anel benzeno através de um sonho, tal feito o proporcionou a capacidade de propor brilhantemente a estrutura hexagonal do benzeno em 1865.

Despertar esta habilidade, através dos meios de multimídia, é o que é proposto por muitos estudiosos, pesquisadores e professores da área de Química e entre estes podemos citar Tasker (2005, pag. 195, tradução nossa) ao afirmar que “as animações de nível molecular são recursos de aprendizado atraentes e eficazes, estes devem ser projetados e apresentados com grande cuidado para evitar gerar ou reforçar equívocos” e reforçado por educadores como Reeves e Ward (2005, pag.186, tradução nossa) ao declarar que “[os] módulos interativos de aprendizado, animações e vídeos ajudam a dar vida à química, dando vislumbres aos estudantes do mundo nanométrico dos átomos que os cientistas carregam em suas cabeças”. Assim, propõe-se o programa Avogadro como meio multimídia e didático para o alcance de tais habilidades.

### **METODOLOGIA**

O Avogadro é um programa de ferramentas intuitivas, de interface com capacidade de visualização tridimensional, construção e manipulação de modelos estruturais moleculares, disponível em 20 línguas, opera nos sistemas operacionais Apple Mac OSX, Microsoft Windows e na maioria das versões Linux. Está disponível livremente para *download* no site do fabricante sob a licença da GNU GPL v2 na página

<http://avogadro.openmolecules.net/>. Quando aplicado ao ensino/aprendizagem de Química pode ser utilizado em assuntos como: geometria molecular, polaridade de moléculas, isômeros alquenos, VSEPR básico, clusters de Hidrogênio, regra de Markovnikov, hibridação orgânica, entre outros. No site do fabricante, na seção *teach* é dada algumas dicas (em Inglês) de utilização para o ensino nos assuntos supracitados. É importante ressaltar que os leitores interessados no método explicitado na próxima seção construam de antemão as estruturas moleculares apresentadas adiante (aplicações 1 e 2), pois deste modo economizar-se-á tempo em sala de aula. Para isso, podem aprender a construir e utilizar outras ferramentas disponíveis no Avogadro pelo tutorial das seções *building a molecule: atom by atom* e *building a molecule: from fragments* (HANWELL *et al.*, 2012) manual on-line do programa Avogadro (versão em Inglês no site do fabricante).

### **Sugestões de aplicações do Avogadro (*software*) no ensino de geometria e polaridade molecular**

As sugestões, a seguir, foram realizadas em um estudo preliminar para identificar o efeito do programa Avogadro sobre as habilidades visuoespaciais dos estudantes de três turmas (total de 62 alunos) da 1ª série do Técnico Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, os quais foram avaliados por um pré-teste e um pós-teste com dez minutos de duração, composto por seis questões objetivas para geometria molecular e cinco questões objetivas para polaridade molecular, ambas com apenas uma alternativa correta. Tal estudo teve como finalidade, obter informações de competências como conceituação, reconhecimento e construções de geometria e polaridade molecular, antes e depois da aplicação. Em aulas dialogadas e expositivas com no máximo 100 minutos de duração com os temas: “O ar que nos envolve” (CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2016; WANZELER, 2017) e “O que dissolve o quê?” (CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2017).

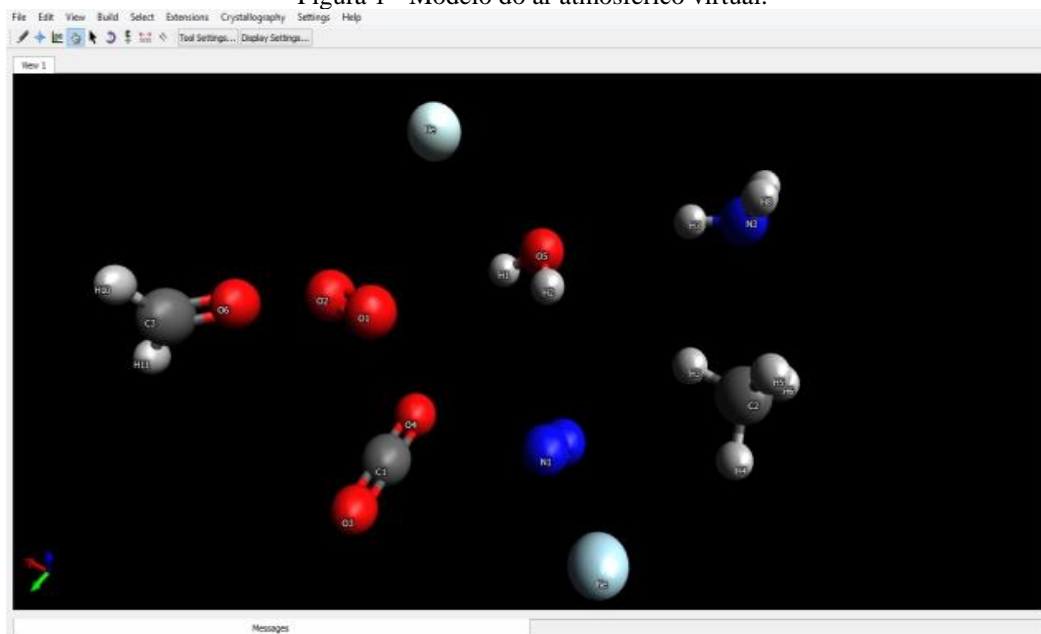
A partir das projeções de imagens em 3D de estruturas moleculares pertinentes ao estudo no ensino médio, procurou-se capacitar os estudantes a conceituar, reconhecer e construir a geometria e a polaridade molecular. Estudos apontam que, quando o aluno tem contato com o “experimento” diretamente (neste caso um computador para que este possa interagir), ele se torna investigador do mundo, propondo ideias, explicando e justificando asserções (HOFSTEIN; LUNETTA, 2004). Por conseguinte, a potencialização do aprendizado é ainda mais maximizada, porém, devido às carências

estruturais e materiais nas quais as escolas brasileiras passam (AGÊNCIA BRASIL, 2018), dificilmente encontrar-se-ão laboratórios de informática com computadores disponíveis para todos os alunos. Portanto, o material mínimo necessário para o desenvolvimento da metodologia é um datashow e um computador com o programa Avogadro instalado.

#### Aplicação 1: Geometria molecular com o programa Avogadro

Antes de iniciar a aula propriamente dita, é importante que se faça uma atividade de “aquecimento mental” com o objetivo de aguçar a imaginação dos estudantes. Este aquecimento é simples e consiste em pedir para que os alunos imaginem coisas habituais em ordem crescente de dificuldade até chegar ao objetivo que é a representação ideal do ar atmosférico. Como exemplo de imagens para o aquecimento, solicita-se aos estudantes que primeiro imaginem um cachorro (nível básico) e depois uma lhama (nível intermediário) e ao final de cada solicitação se mostre a imagem, e por último (ênfatizando que se concentrem mais, pois o próximo pedido será um pouco mais difícil) que imaginem as moléculas que compõem o ar que nos rodeiam. E então a representação 3D deve ser apresentada (figura 1) e posta para girar suavemente.

Figura 1 - Modelo do ar atmosférico virtual.



Fonte: Avogadro software, v.1.2.0

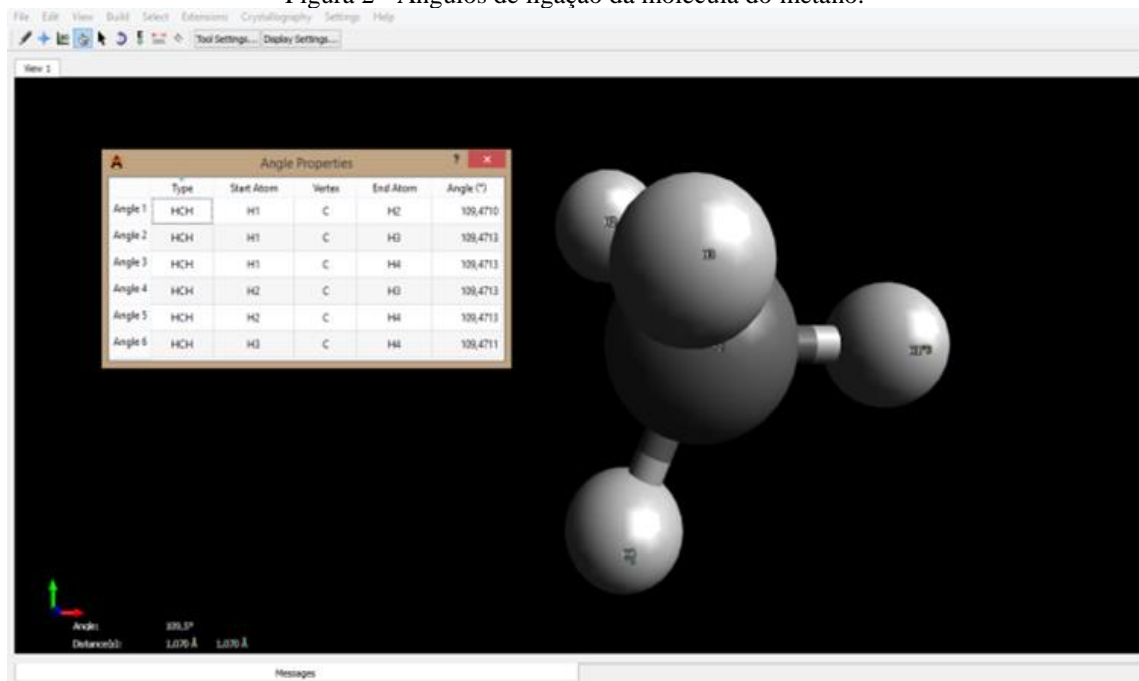
Sugere-se a apresentação com as moléculas de água, oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, metano, amônia, metanal e os gases monoatômicos hélio e neônio. O motivo destas escolhas se deve a proposta curricular do Ensino Médio que trabalha com



aplicações de ideias básicas sobre arranjos atômicos para compreensão da formação de ligações que contemplam as estruturas linear, angular, trigonal planar, piramidal e tetraédrica. Feita a apresentação, pergunta-se: Era algo assim vocês que imaginavam? Então se requisita aos alunos que observem cada molécula, comparando-as umas às outras, e em seguida, indaga-lhes sobre o que mais lhes chamou a atenção.

Posteriormente, a partir das observações feitas por eles (com a mediação do professor) define-se o conceito de geometria molecular. Em um segundo momento parte-se para apresentação, uma por vez, de cada fórmula estrutural (rotacionando-as lentamente) de modo a evitar a poluição visual e contextualizando-as. O metano, por exemplo, tem estrutura tetraédrica com ângulos de ligação de  $109,5^\circ$  (figura 2) e pode ser encontrado em lixões a céu aberto.

Figura 2 - Ângulos de ligação da molécula do metano.



Fonte: Avogadro software, v.1.2.0

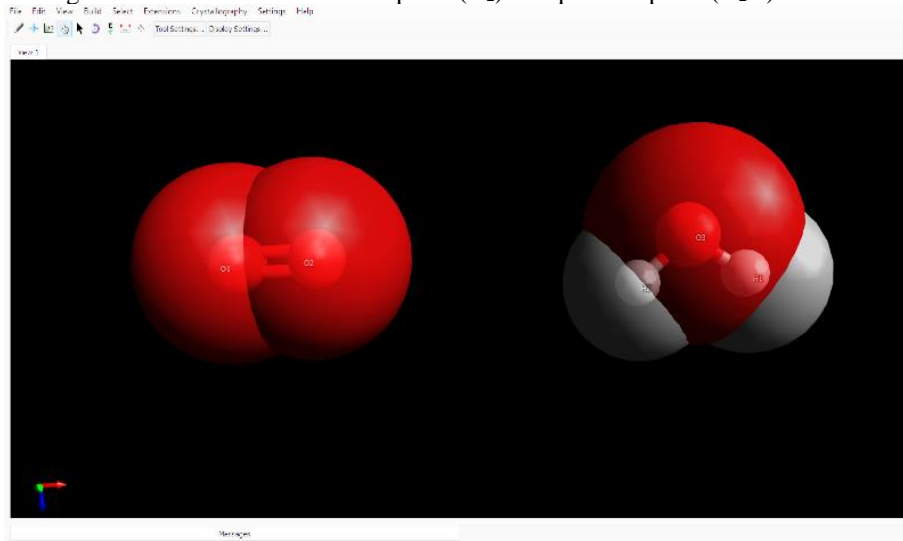
Finalizada a apresentação das estruturas, indaga-lhes sobre o porquê dos átomos unirem desta forma para produzir os formatos diversos observados, aguardando por alguns instantes alguma manifestação ou tentativa de resposta. A resposta poderá ser trabalhada pela teoria da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência (VSEPR, no Inglês) através da construção de moléculas no Avogadro - sugere-se a construção da estrutura do metano, pois ao deletar um átomo de H no programa, o formato ficará piramidal dando margem para explicação, por exemplo, da estrutura da molécula de

amônia e repetindo o processo surgirá o formato angular. Ao realizar a construção no programa os ângulos de ligação estarão irregulares, porém podem ser consertados a nível didático pela ferramenta de otimização geométrica (atalho é  $\text{crt} + \text{alt} + \text{o}$ ). Para efeito de complementação é interessante que se faça um paralelo das estruturas 2D no quadro-negro com as estruturas 3D no Avogadro.

#### Aplicação 2: Polaridade molecular com o programa Avogadro

Utilizando-se dos modelos já construídos na aplicação 1, pode-se trabalhar com o assunto polaridade molecular, pois o Avogadro oferece uma opção chamada *Van der Waals Spheres* em sua barra de ferramentas que fornece o volume ocupado pela molécula no espaço. Essa opção é muito útil para a visualização do momento de dipolo resultante de moléculas que possuam de dois a quatro átomos (para mais de quatro átomos a visualização ficará comprometida), pois as cargas parciais de moléculas heteronucleares, assim como as das homonucleares são representadas evidentemente por protuberâncias (figura 3), recaindo muito bem no estudo necessário neste momento.

Figura 3: Modelos de molécula apolar ( $\text{O}_2$ ) à esquerda e polar ( $\text{H}_2\text{O}$ ) à direita.

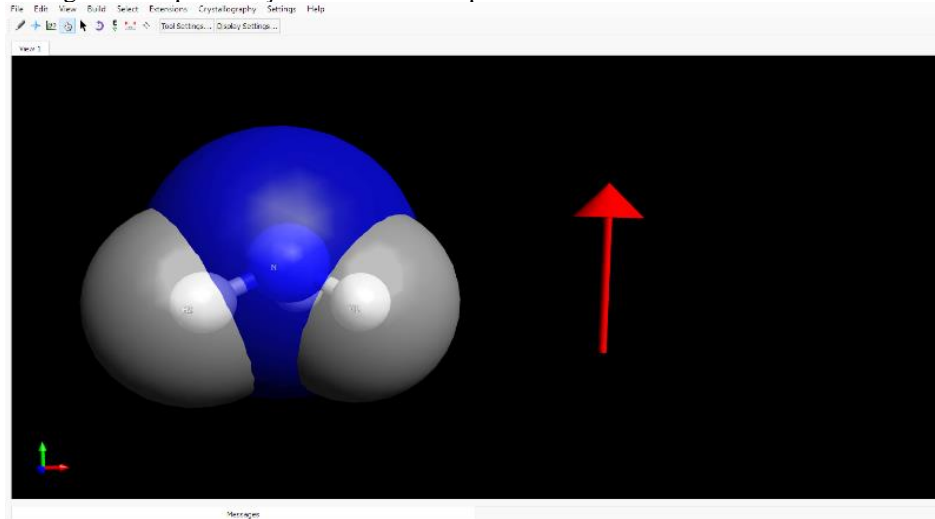


Fonte: Avogadro software, v.1.2.0

Partindo de estruturas simples como polaridade de moléculas de oxigênio e água, questionam-se os alunos sobre suas primeiras impressões acerca do assunto a ser abordado, indagando-os: qual molécula é polar e qual é apolar? E a partir desse momento, trabalha-se a definição e o reconhecimento de moléculas polares e apolares. O vetor momento dipolar resultante também pode ser apresentado (figura 4) ao se ativar a opção *dipole*.



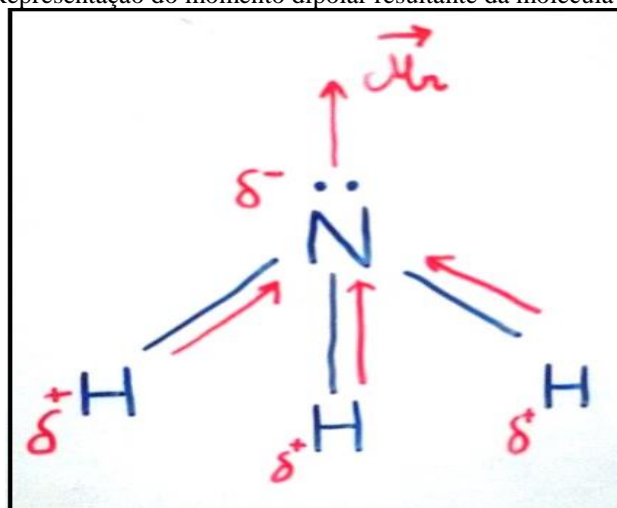
Figura 4: Representação do momento dipolar resultante da molécula  $\text{NH}_3$  em 3D.



Fonte: Avogadro software, v.1.2.0

Com o auxílio da eletronegatividade mostra-se cada uma das moléculas do ar (trabalhadas anteriormente) explicando como se determina a polaridade molecular. É importante que em cada estrutura 3D representada, faça-se um paralelo com sua representação 2D no quadro negro (figura 5) para um aumento da compreensão a nível espacial.

Figura 5: Representação do momento dipolar resultante da molécula  $\text{NH}_3$  em 2D.



Fonte: Elaborada pelos autores.

## Resumo das práticas

Nas três turmas, a primeira aula, foi sobre geometria molecular com o tema “o ar que nos envolve”, e no exercício de “aquecimento mental”, o pedido para imaginar um cachorro e uma lhama, originou semblantes sorridentes e até certa estranheza pelo pedido, além de mantê-los atentos à próxima e principal solicitação, que foi imaginar o ar atmosférico, ou simplesmente o “ar”, a sua volta. Neste último pedido, percebeu-se que alguns franziam a testa, gesticulavam, outros olhavam para o colega ao lado e os demais olhavam a sua volta. E após a apresentação do modelo computacional e do questionamento “era isso que vocês imaginavam?”, um ou outro respondeu que sim. No momento da definição de geometria molecular, nas suas concepções sobre geometria, afirmaram que esta seria forma, agregação, estrutura, organização e agrupamento. No que tange a palavra molecular, em suas visões seria átomo, ametal e ligação entre átomos. Ao organizarem suas ideias e refletirem melhor observando o modelo do “ar” projetado, cada turma, gerou conceitos de geometria molecular como: “a forma adquirida pela agregação de átomos ametais”, “a estrutura organizada formada pelas ligações de átomos ametais” e “a forma adquirida pela organização de átomos ametais através de ligações covalentes no espaço”. A definição proposta por Peruzzo e Canto (2006, pag. 166) “à distribuição espacial dos núcleos dos átomos que compõem a molécula” foi apresentada aos estudantes para efeito comparativo. Durante o momento da apresentação das estruturas uma a uma, tanto 3D, quanto em 2D (esta última no quadro), as que mais chamaram a atenção foram a piramidal e a tetraédrica 3D, pois alegaram que “finalmente puderam enxergar os átomos de Hidrogênio fora do plano”. E também, durante a construção do modelo molecular, da molécula de amônia, os alunos atentaram para o modo de construção e depois em seus cadernos construíram a estrutura da molécula de água comparando, mais tarde, suas respostas com a representada na projeção. “Agora ficou mais fácil fazer a geometria da água”, afirmou um aluno no fim da aula.

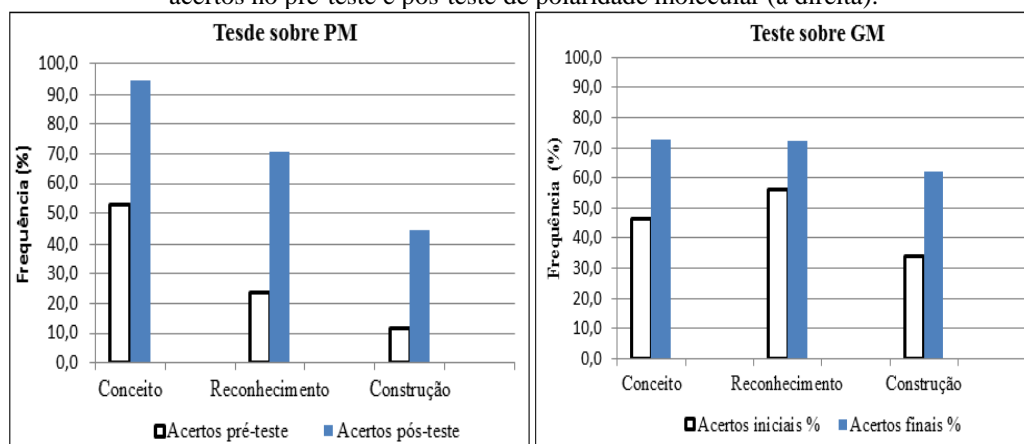
Quanto a segunda aula, sobre polaridade molecular com o tema “o que dissolve o quê?”, devido a dificuldades organizacionais, apenas uma das turmas (com 17 alunos) pode participar. A aula iniciou-se com questionamentos: “Por que lavar as mãos só com água não remove destas a sujeira ocasionada pela graxa?” e “Por que o álcool de farmácia se dissolve em água?”. Os alunos não souberam responder. Assim sendo, partiu-se para a projeção das estruturas das moléculas  $O_2$  e  $H_2O$ , seguido do acionamento da opção *Van der Waals Spheres*, os estudantes observaram por alguns instantes os modelos. E novamente foram questionados a responder intuitivamente qual das moléculas era polar

e qual era apolar? A resposta unanime foi que  $H_2O$  é polar e  $O_2$  apolar. A estrutura e a polaridade do octano e etanol foram também apresentadas. Então as palavras polar e apolar foram trabalhadas sem muito esforço, pois muitos já conheciam o prefixo grego de negação “a-” e concluíram que apolar significa “sem polo”. E, portanto, a conceituação de polaridade molecular gerada pela turma a partir das projeções foi “polo e não polo de moléculas” e a seguir a definição da literatura, “o estudo do aparecimento ou não de polos nas moléculas” (PERUZZO; CANTO, 2006), foi apresentada aos alunos como referencia comparativa. A identificação da polaridade molecular foi trabalhada qualitativamente pelo momento dipolar tanto no Avogadro (figura 4) quanto no quadro (figura 5). Na finalização da aula as questões iniciais foram respondidas com o argumento de polar dissolve polar e apolar dissolve apolar.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As avaliações dos resultados dos pré-testes e pós-testes sobre as aulas de geometria molecular (GM - gráfico 1) e polaridade molecular (PM - gráfico 2), informam que houve aumento nos índices de acertos nas questões sobre habilidade conceituação na GM e PM de 46,5% para 72,5% e 52,9% para 94,1%, respectivamente. E uma possível explicação foi o trabalho a partir das representações dos alunos (PERRENOUD, 2000), que consistiu em fazê-los refletirem e se expressarem sobre os modelos 3D projetados, empregando seus pensamentos espontâneos (com orientação) na formulação de um conceito que se aproxima do aceito cientificamente, deste modo fixando a ideia.

Gráfico 1 e 2: Número de acertos no pré-teste e pós-teste de geometria molecular (à esquerda), número de acertos no pré-teste e pós-teste de polaridade molecular (à direita).



Fonte: Elaborados pelos autores.

Quanto às questões relativas ao reconhecimento, também houve incremento, na GM foi de 56,3% para 72,2% e na PM foi de 23,5% para 70,6%. Supõe-se que os modelos apresentados pelo Avogadro funcionaram como estímulos auxiliares à memorização estabelecendo conexão entre “a figura e a palavra que se espera que memorizem” (VYGOTSKY, 1994). Portanto, facilitando o processo de reconhecimento, principalmente das figuras que necessitam ser expressas no espaço como as geometrias tetraédricas e piramidais. E apesar da maneira apenas expositiva como o Avogadro foi empregado para a construção de geometria e polaridade molecular (por falta de estrutura computacional, não houve interação direta dos estudantes) as explicações renderam progressos, na GM de 34,3% para 62,2% e PM de 11,8% para 44,1%.

Os resultados apresentados, de um modo geral, indicam uma melhoria na aprendizagem dos alunos em relação aos tópicos de GM e PM, e, por consequência, são concordantes com a viabilidade do uso do Avogadro em sequências didáticas dos referidos tópicos no ensino de química. Acredita-se, ainda, que os resultados poderão ser maximizados quando os discentes, de fato, interagirem diretamente com o programa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transposição entre o mundo macroscópico e o nível atômico ou vice-versa sempre foram e continuam sendo um desafio no ensino e aprendizagem de Química. Na tentativa de contornar essa barreira, a utilização de softwares de modelagens molecular em 3D, em particular o software Avogadro, se apresenta como uma ferramenta com grande potencial para auxiliar na compreensão de estruturas moleculares, pois a imagem possui características simplificadoras. De fato, a Química Computacional que tanto desenvolve outras áreas do conhecimento (farmácia, bioquímica, medicina entre outros), pode beneficiar a educação através de imagens de modelos com qualidades gráficas crescentes, permitindo a ligação entre “mundos” e o manuseio virtual no intuito de maximização da eficiência do conhecimento em habilidades como conceituação, reconhecimento e construção. E apesar do fator limitante, falta de interação entre discente e computador, que muito provavelmente reduziu o processo de ensino/aprendizagem, a abordagem diferenciada da tradicional trouxe de forma visível e quantificada resultados favoráveis ao uso de modelos computacionais 3D, em especial, o Avogadro *software*. Um último ponto: o quanto de perda houve pela falta de interação? É uma questão que poderá ser abordada em futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Censo aponta que escolas públicas ainda têm deficiências de infraestrutura, disponível em; < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/educacao/noticia/2018-01/censo-aponta-que-escolas-publicas-ainda-tem-deficiencias-de-infraestrutura>>, Acesso em: dezembro de 2022.

BURROWS, A. et al. **Química<sup>3</sup>**: introdução à química inorgânica, orgânica e físico-química. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 3 v.

CANELAS, D. *Introduction to Chemistry: structures and solutions*. Durham, NC. Disponível em <https://www.coursera.org/learn/basic-chemistry>, acessado em Nov. 2015.

CARROLL, J. B. **Human cognitive abilities**: A survey of factor-analytic studies. New York: Cambridge University Press, 1993.

CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 56., 2016, Belém. Software Avogadro: complementando o ensino tradicional de geometria molecular., disponível em <http://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/6/8970-21211.html>, acessado em dezembro 2022.

CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 57., 2017, Gramado. Software Avogadro no ensino/aprendizagem de polaridade molecular., disponível em <http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/6/11166-23511.html>, acessado em dezembro 2022.

GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal of Chemical Education**, v. 76(4), p. 548-554, 1999.

GIORDAN, M.. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2013.

HANWELL, M. *et al.* Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. **Journal of cheminformatics**, v. 4 (1), p. 1-17, 2012.

HOFSTEIN, A; LUNETTA, V. N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. **Science Education**, V. 88(1), p. 28–54, 2004.

PERRENOUD, P. **10 novas competências para ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

PERUZZO, T. M.; CANTO, E. L. do. **Química na abordagem do cotidiano**. 4ª ed. São Paulo: Moderna, 2006. v.1.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. Desenvolvendo habilidades visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. **Experiências em ensino de ciências**, v. 4(1), p. 66-78, 2009.

REEVES, J. ; WARD, C. R. Using multimedia to visualize the molecular world: educational theory into practice. *In* PIENTA, N.; GREENBOWE, T. e COOPER, M.

(Org.). **A Chemist's Guide to Effective Teaching**, New Jersey: Prentice Hall, p. 186-194, 2005.

TASKER, R. Using multimedia to visualize the molecular world: educational theory into practice. In Pienta, N.; Greenbowe, T. e Cooper, M. (Org.). **A Chemist's Guide to Effective Teaching**, New Jersey: Prentice Hall, p. 195-211, 2005.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 5ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

WANZELER, H. P. **Avogadro software**: potencializando o ensino/aprendizagem de geometria molecular na 1ª série do ensino médio. 2017. Orientadora: Solange Corrêa. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Habilitação em licenciatura plena em Química). Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Pará, Belém, 2017.