

# **Desenvolvimento de uma metodologia para caracterização da resolução de problemas envolvendo representações visuais da estrutura tridimensional de moléculas**

Development of a methodology for characterization of problem solving involving visual representations of the three-dimensional structure of molecules

**Ms. Claudia Ayres<sup>1</sup>, Rodrigo Consoli<sup>2</sup>, Gustavo N. Cruz<sup>3</sup>, Dra. Camila A. T. Cicuto<sup>4</sup>, Dr. Guilherme A. Marson<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências – IFUSP, <sup>2, 3,</sup>

<sup>5</sup>Instituto de Química – USP, <sup>4</sup>Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

<sup>1</sup>claudia.ayres@usp.br, <sup>2</sup>rodrigoconsoli@gmail.com, <sup>3</sup>gustavo.ncruz88@gmail.com,

<sup>4</sup>camilacicuto@gmail.com, <sup>5</sup>gamarson@iq.usp.br

## **Resumo**

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia para análise de fatores que influenciam na interação de estudantes com representações tridimensionais de moléculas a partir do registro quantitativo de suas ações em ambiente virtual. Para tal, um protocolo com questionários, testes e o uso de um visualizador de estruturas moleculares tridimensionais foi criado e aplicado a uma amostra de 22 indivíduos com formação acadêmica diversa advindos de um cursinho pré-vestibular comunitário. Os dados obtidos indicam três subgrupos dentro desta amostra, inicialmente caracterizados pela pontuação que os mesmos obtiveram no teste de rotação mental (PVRot). Cada subgrupo apresenta características comuns quanto à resolução dos testes com o visualizador, sugerindo que o mesmo foi capaz de registrar as diferenças nesta habilidade visuoespacial. Ao mesmo tempo, o perfil das curvas obtidas nos testes indica a preservação das características de resolução de cada indivíduo.

**Palavras chave: visualização, habilidades visuoespaciais, representações visuais, três dimensões**

## **Abstract**

The general objective of this research is to develop a methodology for analyzing factors that influence the interaction of students with three-dimensional representations of molecules from the quantitative record of their actions in a virtual environment. A protocol with questionnaires, tests and use of a three-dimensional molecular structure viewer was created and applied to a sample of 22 individuals with diverse academic backgrounds coming from a community pre-university course. The data obtained indicate three subgroups within this sample, initially characterized by score that they obtained no mental rotation test (PVRot). Each subgroup presents common characteristics regarding the resolution of the tests with the

viewer, suggesting that it was capable to register the differences in visuospatial ability. At the same time, the structure of the curves obtained in the tests indicates a preservation of the resolution characteristics of each participant.

**Key words: visualization, visuospatial abilities, visual representation, three-dimension**

## Introdução

O conhecimento químico está fortemente vinculado às visualizações se partirmos da premissa que a Química é uma ciência visual, na qual a primeira percepção da ocorrência das transformações é sensorial mas a estruturação do conhecimento no cognitivo do aluno depende de sua capacidade de transitar entre os modos representacionais e de se apropriar de modelos mentais explicativos coerentes com os modelos científicos da área.

Nesta área do conhecimento as explicações e previsões são trabalhadas nos três modos de representação: o macroscópico, o microscópico e o simbólico (GABEL, 1999). Segundo Johnstone (1991) o modo macroscópico (ou fenomenológico) corresponde às representações mentais ou internas obtidas a partir dos fenômenos observáveis percebidos através dos sentidos; o modo submicroscópico é relativo às representações abstratas como os modelos explicativos para a estrutura da matéria; o modo simbólico é identificado através do uso de fórmulas, equações, etc para expressar os conceitos químicos. A compreensão do conhecimento químico implica na compreensão e transição entre estes três modos de representação (JOHNSTONE, 1993).

A visualização é central na aprendizagem, especialmente nas ciências, onde os estudantes têm que aprender a transitar dentro e entre estas modalidades da representação (GILBERT, 2005). Na química, a visualização ocorre no nível fenomenológico, através da observação direta dos fenômenos mas também através de modelos, os quais representam os fenômenos no modo submicroscópico. Os modelos são representações de uma ideia, de um objeto com o intuito de facilitar a compreensão de um fenômeno, possibilitar a construção de explicações e previsões acerca do sistema em estudo (FERREIRA; JUSTI, 2008).

De acordo com Gilbert (2005, p. 11),

[...] modelos podem funcionar como uma ponte entre a teoria científica e o mundo vivenciado (realidade) de duas maneiras. Eles podem agir como descrições simplificadas do real observado, produzido para finalidades específicas, como para as abstrações das teorias. Podem, igualmente, serem idealizações de uma realidade imaginada, baseada nas abstrações da teoria, produzidas de modo que possam ser feitas as comparações com a realidade observável.

A comunidade científica faz uso contínuo dos modelos para fins de explicação de fenômenos ou como subsídio para as teorias. Estes modelos são aceitos pela comunidade e sua elegibilidade é negociada de acordo com a acurácia das informações que o mesmo sustenta. Os químicos apresentam uma grande facilidade em usar estes modelos para não só compreender fenômenos mas também como ferramenta para transitar entre os três modos de representação (JOHNSTONE, 1991 e 2010). Para os estudantes das ciências, especialmente a Química, a compreensão dos modelos e do que representam é um fator que delimita seu conhecimento e sua capacidade de reflexão sobre alguns conceitos.

A capacidade de transitar entre os modos de representação pode estar intimamente relacionada com as habilidades visuoespaciais. Esta conjectura é possível quando analisamos, por exemplo, o trabalho de Wu e Shah (2004) onde usando diversos estudos, estes autores buscam estabelecer relação entre esta habilidade e o uso de diferentes representações. Segundo Choi (2001 *apud* SEABRA e SANTOS, 2004), a visualização espacial compreende também a rotação mental e a percepção espacial. De acordo com Raupp *et al* (2009), "essas três categorias envolvem o pensar em imagens, bem como a capacidade de perceber, transformar e recriar diferentes aspectos do mundo visual e espacial."

Três fatores são considerados dentro da habilidade espacial: a visualização espacial, as relações espaciais e a flexibilidade restrita (GARDNER, 1993). O fator relações espaciais é formado por tarefas que envolvem a rotação mental de um objeto no plano (2D) ou fora do plano (3D). Já o fator flexibilidade restrita envolve a habilidade de esconder uma parte específica ou uma figura ou figuras (ou padrões) dentro de outra mais complexa. E a visualização espacial é um fator formado por tarefas que tem um componente espacial como o movimento ou deslocamento de partes da figura (HARLE & TOWNS, 2011).

A importância desta habilidade nos domínios das ciências, engenharias, tecnologia e matemática (*STEM* em inglês) é reconhecida, mas todo o conhecimento já obtido ainda não é estruturado de forma a contribuir em processos educacionais. Esta é a posição de Wai, Lubinski e Benbow (2009) no artigo publicado pelos mesmos onde buscam compilar os conhecimentos psicológicos acumulados dos últimos 50 anos. Eles destacam, logo no começo do referido artigo, a " negligência contemporânea na não utilização deste conhecimento" principalmente nas instruções e configurações do currículo educacional. Enfatizam não só a relevância dos mesmos na seleção de jovens talentos, mas, principalmente, que a avaliação da capacidade espacial pode beneficiar a uma grande parcela dos estudantes regulares. Eles afirmam que estudantes em qualquer intervalo de desenvolvimento desta habilidade poderiam se beneficiar da avaliação da habilidade espacial, bem como da criação de oportunidades educacionais que viabilizassem o desenvolvimento da mesma.

Porém o que percebemos é que as instituições escolares, em geral, estimulam estas habilidades espaciais nas crianças em sua fase inicial de escolarização, mas, com o passar dos anos, estas mesmas instituições vão deixando de valorizar o desenvolvimento destas habilidades mesmo como forma de comunicação em razão de uma intensificação de outras aptidões escolarmente mais valorizadas, como a linguística e a lógico-matemática. Consequentemente, áreas do conhecimento que apresentam conceitos abstratos e necessitam desta aptidão espacial para um melhor entendimento, acabam sendo vistas como áreas mais difíceis, "duras" de serem estudadas. A Química é uma das áreas que se encaixam nesta situação.

Segundo levantamento recente sobre a pesquisa no campo da visualização no ensino de química, as metodologias de pesquisa sobre o tema envolvem diversas abordagens já consagradas nos estudos da área de ensino de ciências como o uso de questionários, observação, registro em áudio e vídeo, entrevistas etc. Tais metodologias são utilizadas seja em estudos dedicados ao modo como estudantes utilizam recursos didáticos individualmente, seja naqueles dedicados ao papel de tais recursos como mediadores simbólicos das interações dialógicas entre os sujeitos (TERUYA *et al.*, 2014).

Esta pesquisa foi motivada pela possibilidade de desenvolver uma metodologia que propiciasse contemplar as duas abordagens, isto é, preservar informações sobre o processo individual de apropriação de representações visuais presentes em recursos didáticos e, simultaneamente, permitir a aquisição de informações com grandes grupos de indivíduos. O

objetivo desta investigação é desenvolver uma metodologia para análise de fatores que influenciam na interação de estudantes com representações tridimensionais de moléculas a partir do registro quantitativo de suas ações em ambiente virtual.

## **Desenvolvimento da ferramenta de obtenção de dados e atribuição de significados**

Foi discutida a organização de um protocolo de aplicação de vários testes e questionários que nos orientassem na obtenção de informações sobre as habilidades visuoespaciais aplicadas ao contexto da manipulação de estruturas moleculares 3D interativas em um visualizador molecular, bem como o perfil dos indivíduos que realizaram os testes, sua vivência com este tipo de recurso e a usabilidade do visualizador.

Cada teste e questionário tem um objetivo específico, visando nos orientar sobre características individuais que possam contribuir na compreensão dos dados obtidos e, conseqüentemente, as possíveis implicações no uso deste tipo de recurso. São eles:

- Termo de Livre Consentimento: formulário de livre consentimento para a aplicação da pesquisa.
- Formulário do perfil: tem como objetivo coletar informações gerais de cada indivíduo que participou da coleta, tais como nome, idade, sexo, formação acadêmica bem como obter informações se o indivíduo já tinha visto e/ou mexido com modelos tridimensionais estáticos na tela do computador, impressos em livros e apostilas, físicos e interativos no computador.
- Testes de cores de Ishihara: tem como objetivo detectar deficiências visuais congênitas, como o Daltonismo.
- Teste de Interpretação de representações moleculares: tem como intuito levantar informações sobre a capacidade de transposição de estruturas moleculares representadas tridimensionalmente para estruturas moleculares bidimensionais.
- Teste PVRot: é usado para medir a habilidade de rotação mental 3D de indivíduos a partir de 13 anos em um tempo limite estabelecido pelo autor de 10 min.
- Teste com um visualizador molecular: instrumento baseado no visualizador de moléculas JSMol, construído nas linguagens HTML e Javascript. Esta ferramenta gera duas representações tridimensionais de uma mesma molécula em diferentes orientações: uma delas imóvel e a outra é interativa. Ambas são apresentadas ao indivíduo como um problema no qual deve-se explorar a estrutura interativa de maneira a se obter a mesma imagem, ou a mais próxima possível da imagem modelo. Durante a interação, a cada meio segundo o instrumento registra parâmetros relacionados à orientação do modelo molecular. Assim, os parâmetros de todas as interações feitas podem ser analisados posteriormente com apreciável detalhe, e ainda possibilitam obter um *replay* das interações feitas pelo voluntário. Cada indivíduo interagiu com quatro representações neste programa: a primeira identificada como "0" era uma molécula estruturalmente simples de  $C_2H_4ClOH$  para ambientação e treinamento com o programa, propiciando uma familiarização com a ferramenta sem qualquer controle do tempo que o indivíduo use nesta primeira vivência. A segunda era uma molécula identificada como "intro", era a fórmula estrutural da caprolactama,  $C_6H_{11}NO$ , representada com diferenciação de cores para os átomos de elementos químicos distintos; a terceira, identificada como "teste 1" era a fórmula estrutural da batracotoxina,  $C_{31}H_{42}N_2O_6$ , também representada com diferenciação de cores para os átomos de elementos químicos distintos e a quarta representação, identificada como "teste 2" também era a batracotoxina,  $C_{31}H_{42}N_2O_6$ , com todos os átomos representados em coloração cinza.
- Questionário sobre o esforço mental: Um questionário online onde numa escala Likert de 1 a 9, sendo 1 "muito, muito baixo esforço mental" e 9 "muito, muito alto esforço mental", o indivíduo indica o seu esforço mental no uso do programa de visualização molecular, tanto na

molécula de treinamento, quanto na intro, na colorida e na cinza.

- Questionário de Usabilidade: Um questionário online onde numa escala de 1 a 5, sendo 1 "Discordo totalmente" e 5 "Concordo completamente", o indivíduo indica se julgou adequadas as cores nas moléculas, se as cores auxiliaram na resolução de problemas, se as instruções eram claras, organizadas e úteis, se a tela do computador apresentava contraste, se o mouse funcionou adequadamente, entre outras afirmações correlatas aos testes e equipamentos utilizados.

Todo este protocolo foi aplicado a três perfis de grupo, totalizando 23 indivíduos: estudantes de um cursinho pré-vestibular gratuito (18), aluno da pós graduação em farmácia (1) e alunos da graduação em farmácia (4). O grupo do cursinho era bastante heterogêneo, tendo 3 estudantes já graduados (dois em química e um em engenharia). Os dados foram tomados na sala de multimídia do Instituto de Química com computadores em número suficiente para cada indivíduo. Cada participante da pesquisa respondeu a todos os questionários e executou individualmente este conjunto de testes. Cada sessão levou cerca de 60 minutos.

O primeiro levantamento feito foi a elaboração de uma planilha com o total de acertos obtidos no PVRot (PVRot), o tempo total gasto por cada indivíduo para posicionar da maneira mais precisa possível a representação molecular interativa (t), o tempo de resolução (t Res), que é o tempo que indica que o posicionamento da molécula está bastante próximo do posicionamento do modelo e a diferença de orientação (Diferença), que indica o quão próximo do modelo ficou o arranjo molecular manipulado. Os tempos e a diferença foram extraídos das três moléculas do protocolo: molécula de intro, a colorida e a cinza.

#	PVRoT	Intro			Cor			Cinza		
		tempo	tRes	Diferença	tempo	tRes	Diferença	tempo	tRes	Diferença
1	12	22,5	9,5	106,7	40,5	26,5	118,5	39	24	58,8
2	1	181	-	508,5	54	-	152,6	124	-	321,7
3	12	30	5,5	142,6	24,5	15	81,4	26	16	246,6
4	9	67,5	31	107,5	67	55,5	76,4	43	19,5	89,2
5	10	23,5	6	78,3	91	37,5	142,6	94,5	46,5	30,6
6	16	13,5	4	24,3	33	10	95,3	42,5	8,5	35,9
7	8	12,5	4	49,9	97	32,5	128,6	31	22,5	92,5
8	7	121,5	47,5	184,9	10,5	8	166,9	134,5	78,5	229,9
9	12	25,5	20	17,7	54,5	11,5	120,4	129,5	108,5	19,7
10	15	61,5	17,5	91,8	47	4	195,5	26,5	10,5	126,4
11	13	96	16,5	90	58	30,5	53,3	131	13	61,2
12	4	74	12	15,6	98	29	145,3	145	104,5	57
13	7	54	45,5	10,7	85	63	239,6	106,5	28,5	21,5
14	10	73,5	54	181,7	41	22,5	236,3	34	18	195,5
15	5	36,5	5,5	14,3	42,5	3	109,6	65	44,5	39,6
16	6	110	76,5	24,7	102,5	31	31,7	101	26,5	58,4
17	18	19	5	11,9	35	6,5	21,8	21	9	8,5
18	6	142	62,5	146,7	98,5	89,5	242,5	39,5	28,5	161,5
19	7	36	15,5	76,9	47,5	32,5	109,7	74,5	42	87,7
20	3	184	47	71,4	86	59	18,7	143,5	96,5	99,2
21	1	155	31	30,8	48	5,5	27,3	44,5	30,5	119,7
22	12	40,5	23,5	108,4	83	7	105,1	104,5	58,5	73
23	2	70	52	51,5	40,5	15	71,2	77,5	45	126,6

Tabela 1: Dados da Coleta de Setembro de 2015

O valor correspondente ao PVRot é o total de acertos que o indivíduo conseguiu dentro do tempo de aplicação do teste - 10 min. Já o tempo total gasto (t) é o tempo que o programa de visualização coletou quando o indivíduo clicou em "enviar" considerando que o mesmo julgou o teste por terminado, enquanto o tempo de resolução (tRes) foi obtido através da análise do gráfico que o programa de visualização gerou a cada movimento que o indivíduo realizava com o modelo. Consideramos que, quando o gráfico apresentava uma queda abrupta em um curto intervalo de tempo e as oscilações a partir deste ponto eram pequenas e em torno de um valor de diferença abaixo de 200, este seria o tempo de resolução do problema e todo o restante a partir deste ponto foi considerado um ajuste fino, onde o indivíduo faz pequenos ajustes no modelo interativo buscando refinar o posicionamento da molécula. O valor 200 para a diferença foi estabelecido dentro da própria amostra a partir da análise dos resultados obtidos.

Identificamos que a maior parte da amostra considera ter resolvido os problemas em tempo inferior a 100 segundos e com diferença inferior a 150 para os três testes considerados para análise: molécula intro, teste 1 (cor) e 2 (cinza).

Com relação à molécula "cor", dos 23 indivíduos somente 3 não conseguem resolvê-la com diferença inferior a 200 e o mesmo acontece com relação à molécula "cinza", não sendo necessariamente os mesmos indivíduos.

A partir dos resultados obtidos pela amostra no PVRot e comparando este com o tempo de resolução dos testes no visualizador, estabeleceu-se o valor 10 como um valor de referência para a análise e subdivisão da amostra. Indivíduos com resultados superiores a 10 no PVRot apresentaram, geralmente, baixo tempo de resolução para os 3 testes no visualizador, enquanto que indivíduos com resultados inferiores a 10 no PVRot apresentaram, em geral, dois perfis de comportamento: um perfil formado por alguns participantes que apresentaram bom rendimento no visualizador (apesar do resultado do PVRot indicar baixas habilidades visuoespaciais) e o restante apresentou pouca produtividade com o visualizador.

O grupo com PVRot alto ( $> 10$ ) é formado por dez indivíduos: cinco mulheres e cinco homens.

Indivíduo	PVRot	Intro		Cor		Cinza	
		t res	Esforço Mental	t res	Esforço Mental	t res	Esforço Mental
1	12	9,5	5	26,5	6	24	7
3	12	5,5	2	15	5	16	7
5	10	6	5	37,5	6	46,5	7
6	16	4	3	10	5	8,5	6
9	12	20	3	11,5	5	108,5	7
10	15	17,5	3	4	5	10,5	4
11	13	16,5	5	30,5	5	13	6
14	10	54	3	22,5	5	18	5
17	18	5	2	6,5	4	9	3
22	12	23,5	7	7	5	58,5	9

Tabela 2: Participantes com PVRot maior ou igual a 10

Entre estes participantes, três (indivíduos 5, 9 e 22) apresentaram tempo de resposta no teste cinza muito maior do que apresentaram para a molécula intro e a colorida. Este tempo maior gasto é um forte indicativo de que a estratégia de resolução destas participantes depende da presença de cor na imagem. Ao confrontarmos o tempo de resolução com os valores que os indivíduos atribuíram ao esforço mental para resolver estes testes, percebemos que estes três indicaram um maior esforço mental na molécula cinza, o que pode ser um indício de maior sobrecarga cognitiva na resolução deste teste. Os demais participantes não apresentam grandes diferenças entre os tempos de resolução e mesmo de esforço mental, tendo aqueles que resolvem o teste da molécula cinza mais rapidamente do que o teste da colorida (indivíduos 14, 11, 6), denotando que para estes a cor não é um fator relevante na identificação visual para a resolução deste perfil de problema. E qual seria a estratégia de resolução destes participantes?

Uma possibilidade é que estes indivíduos "aprenderam" a molécula colorida e reconheceram que o teste cinza se refere à mesma sem coloração. Esta aprendizagem pode ter se dado pelo reconhecimento de padrões na forma da imagem, bem como na posição relativa entre as partes constituintes da mesma. Esta consideração se respalda no artigo de Bülthoff, Edelman & Tarr (1994) que trata sobre o reconhecimento e representação de objetos em três dimensões gerados por computador. Na publicação algumas teorias e experimentos são comentados e os respectivos resultados favorecem uma teoria alternativa de reconhecimento, a qual baseia-se em pontos de vista específicos para a grande parte das representações bidimensionais. No caso de representações tridimensionais, o referido artigo trata que o reconhecimento destes objetos depende intensamente do posicionamento do mesmo. Esta abordagem refere-se a teorias que tratam o reconhecimento de representações tridimensionais por pontos de vista específico ("Viewpoint-specific three-dimensional representations").

O segundo grupo da amostra é identificado pelo resultado no teste PVRot inferior a 10 e se subdivide em dois subgrupos em função de seus resultados:

O primeiro subgrupo, que contempla 7 indivíduos, é caracterizado por baixo tempo de resolução da molécula colorida comparado ao tempo de resolução da molécula cinza. Além disso, o valor que cada indivíduo atribuiu ao esforço mental para resolver a molécula colorida é, na maioria dos casos, bem inferior quando comparado ao valor do mesmo parâmetro para a molécula cinza, o que nos indica que os mesmos consideraram a molécula cinza mais difícil de ser resolvida, o que pode ser entendido como uma tarefa que causou uma sobrecarga cognitiva para o indivíduo.

Indivíduo	PVRot	Intro		Cor		Cinza	
		t res	Esforço Mental	t res	Esforço Mental	t res	Esforço Mental
8	7	47,5	3	8	2	78,5	7
12	4	12	2	29	3	104,5	4
15	5	5,5	2	3	3	44,5	8
19	7	15,5	2	32,5	5	42	7
20	3	47	6	59	7	96,5	9
21	1	31	5	5,5	5	30,5	5
23	2	52	3	15	3	45	5

Tabela 3: Participantes com PVRot menor que 10 e melhor desempenho na molécula colorida.

Este resultado denota a possível dependência que estes participantes apresentaram com relação a presença de cor como fator de identificação visual para a resolução do problema. Embora não tenhamos como ser assertivos quanto a estratégia usada, é possível esta ponderação se considerarmos que, visualmente os pontos coloridos na molécula se destacam em relação ao restante da coloração da mesma.

Nos gráficos obtidos distinguimos 3 seções da curva: a seção em vermelho caracteriza o período de exploração da molécula, onde o participante busca, através de diversas rotações, o posicionamento que o aproxima de uma possível resolução do teste; a seção em laranja caracteriza o momento em que consideramos que o participante resolveu o teste, visto que há uma redução acentuada da diferença de orientação em um curto intervalo de tempo e a seção em verde caracteriza o que chamamos de ajuste fino, momento onde o participante faz pequenos ajustes no posicionamento da molécula, visando um refinamento de sua resposta.

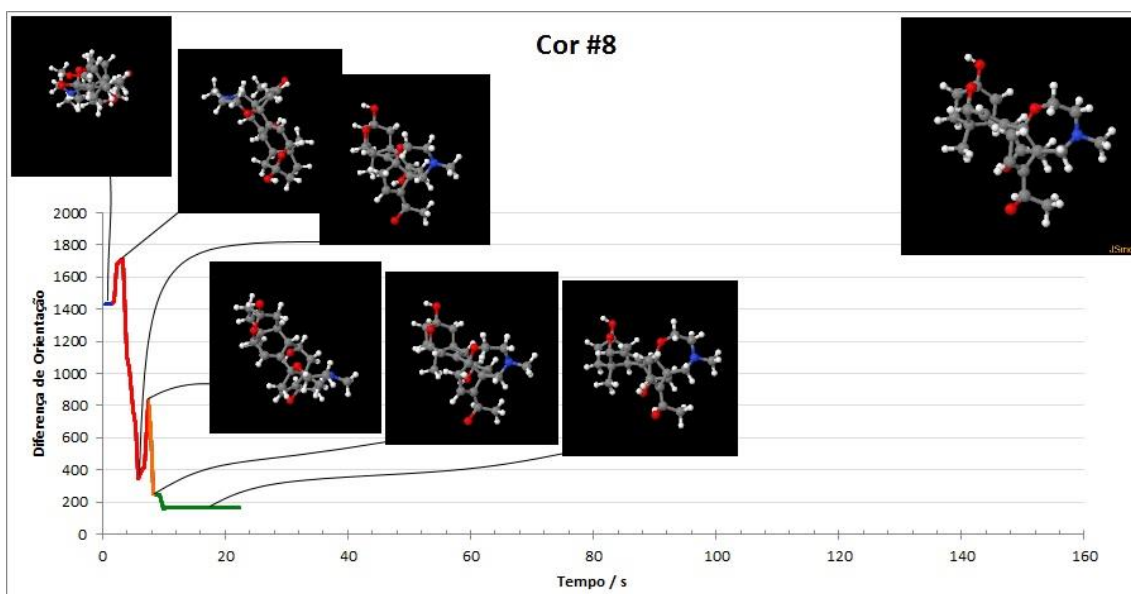


Gráfico 1: Gráfico da resolução da molécula colorida do indivíduo 8.

Tanto pelo perfil da curva quanto pelas imagens das posições da molécula interativa durante o teste, podemos observar a resolução do participante. Além deste registro estático, também pudemos analisar em vídeo as alterações que o mesmo realizava durante todo o teste, o que nos auxiliou na análise e consideração dos dados apresentados. No gráfico 3 consideramos o t res como sendo 8 segundos pois não só há uma queda abrupta da curva neste ponto como, comparando as imagens antes da queda e logo depois, verificamos que o posicionamento da mesma já se equipara com o modelo estático, cabendo ao participante alguns ajustes com pouca ou nenhuma alteração da estrutura interativa. O indivíduo 8 indicou um esforço mental baixo para este teste, o que corrobora com a rápida resolução que o mesmo apresentou.

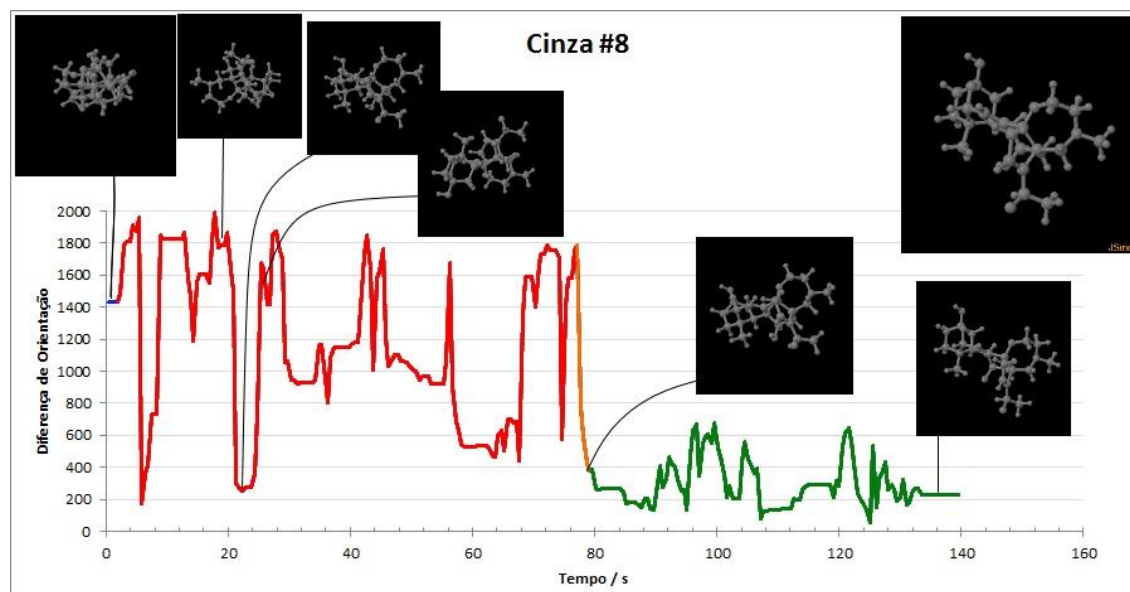


Gráfico 2: Gráfico da resolução da molécula cinza do indivíduo 8.

O gráfico 2 apresenta um curto período de observação da estrutura, caracterizado pela seção azul, seguido por uma seção de exploração bastante longa, com períodos de variação intensa onde o indivíduo 8, por duas vezes, se aproximou da resolução do teste mas possivelmente não reconheceu a proximidade de posição e continuou provocando alterações na posição da representação até o tempo de resolução de 78,5 segundos, momento a partir do qual alguns ajustes de menor intensidade são feitos até o tempo de finalização do teste (134,5 segundos). O esforço mental indicado por este indivíduo para este teste é superior ao valor que o mesmo indicou na molécula colorida, denotando que a percepção de dificuldade para este teste foi mais intensa, o que ratifica tanto o perfil do seu gráfico quanto o tempo despendido na resolução.

O segundo subgrupo, formado por 5 indivíduos, é caracterizado por baixo tempo de resolução da molécula cinza comparativamente ao tempo de resolução da molécula colorida. No entanto, 3 destes indivíduos indicaram que tiveram um maior esforço mental na molécula cinza em comparação com a molécula colorida, enquanto um indicou a molécula cinza como um teste com menor esforço mental e outro indicou que todas as moléculas envolveram um alto esforço mental (9 é o valor máximo da escala de esforço mental em nosso questionário, indicando que o indivíduo teve um grande esforço mental).

Indivíduo	PVRot	intro		cor		cinza	
		t res	Esforço Mental	t res	Esforço Mental	t res	Esforço Mental
4	9	31	4	55,5	6	19,5	4
7	8	4	2	32,5	4	22,5	6
13	7	45,5	7	63	5	28,5	8
16	6	76,5	9	31	9	26,5	9
18	6	62,5	2	89,5	3	28,5	5

Tabela 4: Participantes com PVRot menor que 10 e melhor desempenho na molécula cinza.

Este menor tempo de resolução da molécula cinza pode ser entendido como uma possível indicação de que estes indivíduos também conseguiram "aprender" a molécula colorida e que ocorreu o reconhecimento de padrões e formas da mesma na molécula cinza, visto que são exatamente a mesma estrutura molecular.

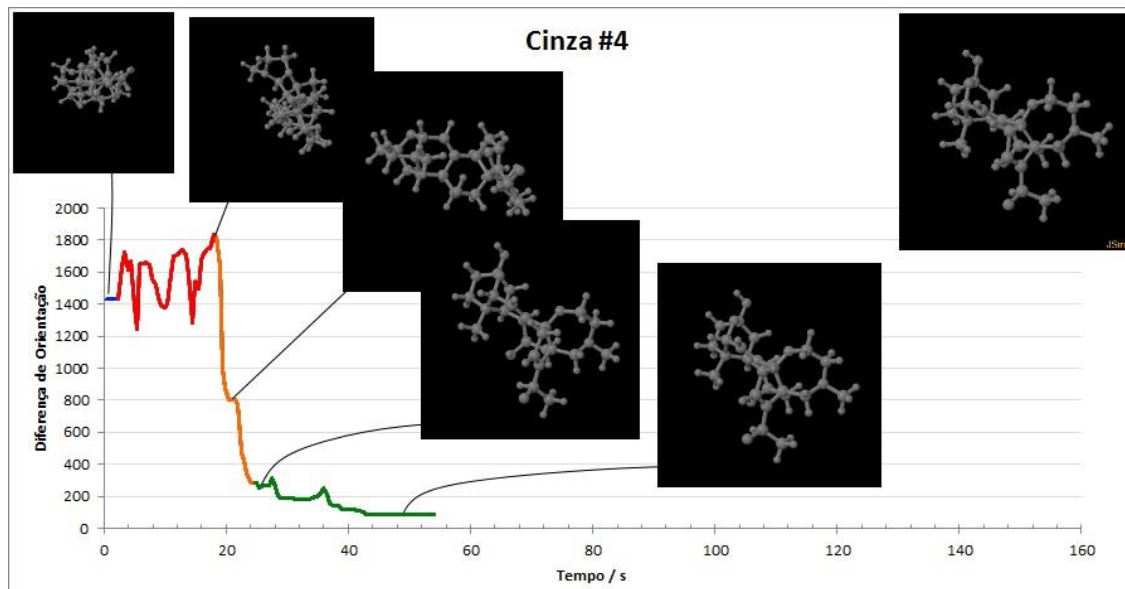


Gráfico 3: Gráfico da resolução da molécula cinza do indivíduo 4.

No gráfico 3, identificamos uma seção relativa à observação da imagem, sem qualquer interação do indivíduo, seguida de algumas movimentações da imagem até atingir o tempo de resolução em 19,5 segundos. A partir desta seção do gráfico, a curva apresenta pequenas alterações correspondentes ao ajuste fino da posição da imagem até o indivíduo considerar o teste resolvido.

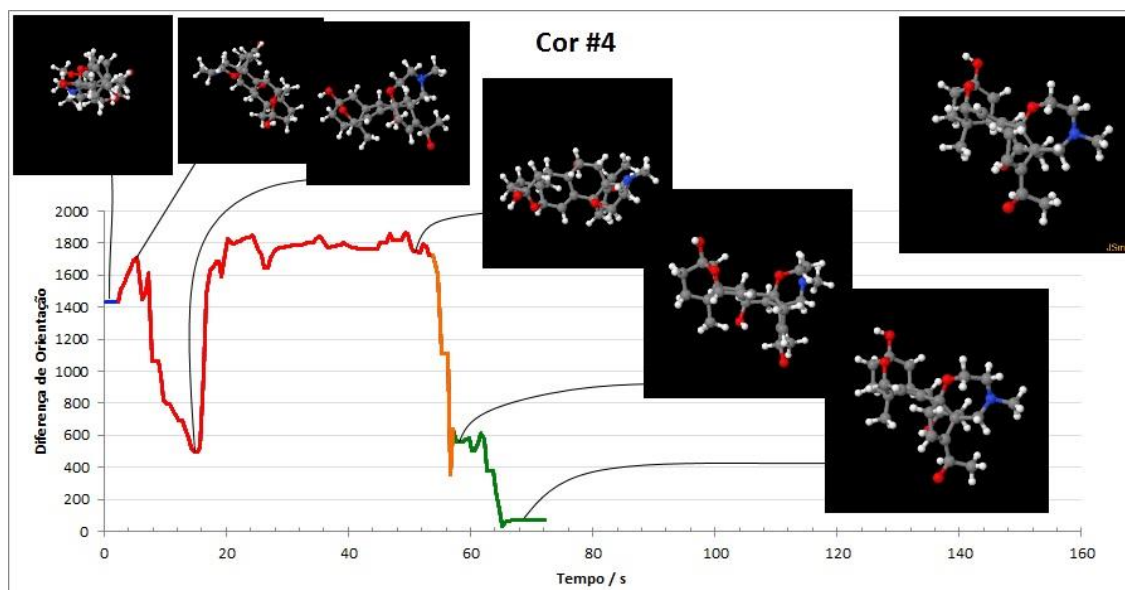


Gráfico 4: Gráfico da resolução da molécula colorida do indivíduo 4.

No gráfico da molécula colorida do indivíduo 4 também há a seção azul correspondente à observação da imagem sem interação, um momento de análise, seguida de um intervalo maior

de tempo de exploração, no qual há uma queda na diferença de orientação seguida de um período de pouca variação nesta diferença até que em 55,5 segundos o posicionamento da imagem se aproxima razoavelmente da molécula imóvel. A partir de então, ocorrem ajustes no posicionamento da mesma até que a diferença de orientação se reduz bastante, indicando que a molécula interativa está em posicionamento muito próximo ao da molécula imóvel. Neste teste, o valor de esforço mental (6) indicado pelo indivíduo foi superior ao valor atribuído ao teste da molécula cinza (4), indicando que o mesmo percebe a resolução do teste colorido mais difícil do que o anterior. No entanto, ao verificarmos a resposta deste indivíduo no teste de usabilidade para a afirmação “As cores dos átomos me ajudaram muita na resolução dos problemas. ”, a resposta indicada foi “Concordo totalmente”. Podemos atribuir que para este indivíduo a resolução do teste com a molécula cinza teve como estratégia o reconhecimento de formas e posições relativas entre partes da molécula ou até um possível reconhecimento da molécula cinza como sendo a mesma que a molécula colorida, o que facilitaria sua resolução.

### **Conclusão**

Os dados obtidos indicam que a ferramenta desenvolvida e todo o protocolo envolvido, com questionários e testes, nos fornecem indicadores consistentes tanto para caracterização da amostra como para obtermos com maior consistência informações sobre o processo de apropriação de representações visuais de cada indivíduo, um dos objetivos principais desta pesquisa. Além disso, o uso do visualizador viabiliza a aplicação e exploração não só das habilidades visuoespaciais como também de conceitos químicos correlatos à visualização.

É relevante considerar que a possibilidade do indivíduo interagir com as imagens pode favorecer aqueles que possuem as habilidades visuoespaciais pouco desenvolvidas, visto que a sobrecarga cognitiva que o mesmo sofreria em necessitar modelar a estrutura em seu cognitivo, é minimizada pela projeção da mesma na tela do computador, cabendo ao indivíduo somente visualizar e analisar a imagem e não ter de necessariamente modelá-la mentalmente. Portanto, mostra-se uma ferramenta importante para suportar este perfil de aluno e favorecer sua vivência e progressão em atividades acadêmicas, principalmente nas áreas correlatas ao *STEM*.

### **Referências**

- BÜLTHOFF, H. H.; EDELMAN, S. Y. & TARR, M. J. "How are three-dimensional objects represented in the brain?", **Cereb Cortex**, May-Jun; 5(3), 1994, 247-60.
- FERREIRA, P. F. M. e JUSTI, R. S. Modelagem e o Fazer Ciência. **Química Nova na Escola**, 28 : 32, 2008.
- GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal Chemical Education**, 76(4), 1999, 548-554.
- GARDNER, H. **Frames of Mind: the Theory of Multiples Intelligences**. Published by BasicBooks, 1983.
- GILBERT, J. **Visualization in Science Education**, 1a ed., Netherlands, Springer, 2005, 375 p.
- HARLE, M. and TOWNS, M. A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction. **Journal Chemical Education**, 88(3), 2011, 351-360.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, 7(2), 1991, 75-83.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, 70(9), 1993, 701-705.

JOHNSTONE, A.H. You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, 87(1), 2010, 22-29.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. Desenvolvendo Habilidades Visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. **Experiências em Ensino de Ciências**, 4(1), 2009, 65-78.

Seabra, R.; Santos, E. Proposta de desenvolvimento da habilidade de visualização espacial através de sistemas estereoscópicos. **4º Congresso Nacional y 1ro. Internacional Rosário, Argentina**, 2004. Acesso em 14 maio 2016 em [http://www.academia.edu/826250/Proposta\\_de\\_Developimento\\_da\\_Habilidade\\_de\\_Visualiza%C3%A7%C3%A3o\\_Espacial\\_Atrav%C3%A9s\\_de\\_Sistemas\\_Estereosc%C3%B3picos](http://www.academia.edu/826250/Proposta_de_Developimento_da_Habilidade_de_Visualiza%C3%A7%C3%A3o_Espacial_Atrav%C3%A9s_de_Sistemas_Estereosc%C3%B3picos)

TERUYA, L. C., ARROIO A. e MARSON, G. A. Trends in visualization in chemistry teaching. **Journal of Science Education**, 1(15), 2014, 22-25.

WAI, J., LUBINSKI, D. and BENBOW, C. P. Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. **Journal of Educational Psychology**, 101 (4), 2009, 817–835.

WU, H-K. & SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, 88(3), 2004, 465-492.