

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS  
EDUCACIONAIS EM REDE

Alex Eder da Rocha Mazzuco

**MMAR: SISTEMA *WEB* PARA MODELAGEM MOLECULAR  
TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA**

Santa Maria, RS  
2017



**Alex Eder da Rocha Mazzuco**

**MMAR: SISTEMA *WEB* PARA MODELAGEM MOLECULAR  
TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais em Rede – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Educacionais em Rede.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Giliane Bernardi

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mazzuco, Alex Eder da Rocha  
MMAR: SISTEMA WEB PARA MODELAGEM MOLECULAR  
TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA / Alex  
Eder da Rocha Mazzuco.- 2017.  
181 p.; 30 cm

Orientadora: Giliane Bernardi  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Educação, Programa de Pós-Graduação em  
Tecnologias Educacionais em Rede, RS, 2017

1. Modelagem Molecular 2. Realidade Aumentada 3.  
Ensino e Aprendizagem 4. Sistema Web I. Bernardi,  
Giliane II. Título.

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Alex Eder da Rocha Mazzuco. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: alexmazzuco@gmail.com

**Alex Eder da Rocha Mazzuco**

**MMAR: SISTEMA WEB PARA MODELAGEM MOLECULAR  
TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais em Rede – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Tecnologias Educacionais em Rede**.

**Aprovado em 05 de setembro de 2017:**

---

**Giliane Bernardi, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Cláudia Smaniotto Barin, Dra. (UFSM)**

---

**Érico Hoff do Amaral, Dr. (UNIPAMPA) – Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2017



## RESUMO

### **MMAR: SISTEMA WEB PARA MODELAGEM MOLECULAR TRIDIMENSIONAL UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA**

AUTOR: ALEX EDER DA ROCHA MAZZUCO

ORIENTADORA: GILIANE BERNARDI

Esta dissertação faz parte do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Tecnologias Educacionais em Rede, da linha de Desenvolvimento de Tecnologias Educacionais em Rede e disponibiliza como produto final um sistema *Web* denominado MMAR (*Molecular Modeling with Augmented Reality*), que utiliza conceitos de Realidade Aumentada (RA), projetado e desenvolvido para apoiar a aprendizagem de estruturas moleculares tridimensionais. Devido à complexidade destas composições estruturais, o aprendizado referente às moléculas torna-se abstruso, sendo, ainda, agravado pela interatividade dos *softwares* estar restrita, na maior parte dos casos, em movimentos e ações costumeiras. Ainda, esta dificuldade pode ser explicada pela maioria dos estudantes não apresentar o conhecimento necessário para trabalhar com sistemas biomoleculares, afetando, também a motivação destes pelo objeto de estudo. Nesse contexto, a RA surge como uma tecnologia diferenciada, proporcionando novas oportunidades visuais de aprendizagem aos alunos, sendo uma estratégia inovadora para auxiliar os estudantes a atingirem bons resultados no ensino. O objetivo desta pesquisa foi analisar as possíveis influências relacionadas à interatividade, usabilidade e motivação, proporcionadas pelo Sistema MMAR. O mesmo foi desenvolvido adotando a metodologia Interad, dirigida ao projeto de interfaces gráficas para materiais educacionais digitais. Para a avaliação do sistema, foi utilizada a abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM), estabelecendo os pilares para a realização desta. O Sistema MMAR foi aplicado a vinte e cinco alunos na disciplina de Química, do Curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio, do Instituto Federal Farroupilha Campus São Borja. Considerou-se que o uso da tecnologia de RA, como apoio ao ensino de composições moleculares tridimensionais, possibilitou auxiliar os alunos na fixação de conhecimentos enquanto, simultaneamente, eles se divertiam, propiciando um aprendizado de forma não convencional. Também, viabilizou que o conhecimento alcançado fosse relevante e útil, permitindo uma aprendizagem de forma lúdica e prazerosa, oportunizando uma forma de melhorar a prática do ensino. Ficou evidenciado, nesta pesquisa, que o sistema apresenta inúmeros recursos, contudo, é simples, objetivo, de fácil utilização e entendimento, apresentando uma forma de manipulação dos modelos moleculares mais natural, por meio de marcadores, deixando os alunos mais interessados pelo conteúdo. Destaca-se, ainda, que a interface de RA, no contexto desta aplicação, pode ser considerada inovadora e, por apresentar características atrativas tão peculiaridades, possibilita motivar os alunos a desejarem, cada vez mais, manipular (e estudar) um número maior de moléculas. Os resultados mostram a existência de indícios de que aspectos relacionados à interatividade, usabilidade e motivação, conferidos pelo sistema, influenciaram na acentuação da atratividade, da curiosidade, da atenção, do entusiasmo e da relevância do objeto de estudo de um assunto tão complexo em Química, como a composição tridimensional de estruturas moleculares.

**Palavras-chave:** Modelagem Molecular. Realidade Aumentada. Ensino e Aprendizagem. Sistema *Web*.





## ABSTRACT

### MMAR: WEB SYSTEM FOR THREE-DIMENSIONAL MOLECULAR MODELING USING AUGMENTED REALITY

AUTHOR: ALEX EDER DA ROCHA MAZZUCO

ADVISOR: GILIANE BERNARDI

The present work is a part of the Stricto Sensu Postgraduate Program in Network Educational Technologies, following the line of research of Development of Network Educational Technologies, and makes available as its final product a web system called Molecular Modeling with Augmented Reality (MMAR), which uses concepts from Augmented Reality (AR) projected and developed to support the learning of 3D molecular structures. Because of the complexity of these structural compositions, the learning about molecules becomes abstruse, being it even worse due to the fact that the interactivity of the softwares available is limited, in most cases, in motion and other customary actions. Additionally, this difficulty may be explained by the fact that most students do not master the knowledge to work with bimolecular systems, affecting their motivation to study this subject as well. In this context, the AR comes as a differentiated technology, offering new visual opportunities for learning and being an innovative strategy to help students reach better educational results. The objective of this research is to analyze possible influences related to interactivity, usability and motivation provided by the MMAR System. It was developed adopting the Interad Methodology (Digital Interactive Interfaces Applied to Education), directed to the project of graphic interfaces for digital educational materials. To evaluate the system, it was used the Goal, Question, Metric Approach (GQM), establishing the bases to carry out this work. The MMAR System was applied to 25 students in a Chemistry class of the Events Technician Course Integrated to High School in Instituto Federal Farroupilha, in the city of São Borja – Brazil. It was considered that the use of AR technology as a support to the teaching of 3D molecular compositions helped the students retain the knowledge while, simultaneously, they had fun in class, providing the learning in a non-conventional way. In addition, it propitiated that the acquired knowledge was useful and relevant, making the learning a playful and pleasurable activity as well as providing a way to enhance the teaching practices. It was evidenced, in this research, that the system presents innumerable resources, but, at the same time, it is simple, objective and easy to use and understand, presenting a more natural way to manipulate the molecular models, by using markers, and making the students more interested in the subject. It is also pointed out that the AR interface, in the context of this application, may be considered innovative and, for presenting such peculiar and attractive characteristics, it motivates students to want more and more to manipulate (and study) a greater number of molecules. The results show the existence of evidences that aspects related to interactivity, usability and motivation, checked by the system, influenced in the increase of the attractiveness, the curiosity, the attention, the enthusiasm and the relevance of the object of study in such a complex subject in Chemistry as it is the 3D composition in molecular structures.

**Keywords:** Molecular Modeling. Augmented Reality. Teaching and Learning. Web System.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fórmulas moleculares e estruturais e os modelos moleculares de quatro moléculas .....	28
Figura 2 – Modelo ball and stick da molécula Cafeína, gerado pelo software UCSF Chimera.....	30
Figura 3 – Modelo stick com a aplicação simultânea do modelo surface da molécula Cafeína, gerado pelo software UCSF Chimera .....	31
Figura 4 – Modelo VDW da molécula Hemoglobina, gerado pelo software VMD .....	32
Figura 5 – Modelo new cartoon da molécula Hemoglobina, gerado pelo software VMD .....	32
Figura 6 – Representações moleculares dos anos de 1956 e 1962.....	36
Figura 7 – Ferramentas utilizadas na química para ilustrações de representações moleculares.....	37
Figura 8 – Representações moleculares da sacarose, Taxol e C <sub>60</sub> .....	38
Figura 9 – Capsídeo do HIV em invólucro de vítreo .....	39
Figura 10 – Exemplo de RA contendo marcador e dispositivo móvel .....	44
Figura 11 – Interface do sistema Educ-AR exibindo dois modelos 3D representando moléculas .....	48
Figura 12 – Interface do sistema ProteinScanAR exibindo dois objetos 3D.....	50
Figura 13 – Interface do sistema Augmented Chemical Reactions exibindo a sequência de ações para a criação de ligações químicas .....	52
Figura 14 – Interface do sistema apresentado no trabalho Augmented Chemistry: Interactive Education System.....	53
Figura 15 – Metodologia Interad.....	62
Figura 16 – Método de avaliação do Sistema MMAR .....	67
Figura 17 – Escala de Likert de pontuação .....	70
Figura 18 – Modelo de desenho de conteúdo referente ao Sistema MMAR .....	79
Figura 19 – Diagrama do projeto.....	87
Figura 20 – Malha construtiva do Sistema MMAR .....	90
Figura 21 – Malha estrutural do Sistema MMAR.....	91
Figura 22 – Desenho de navegação do Sistema MMAR.....	92
Figura 23 – Identidade de marca utilizada no Sistema MMAR.....	93
Figura 24 – Interface de autenticação do Sistema MMAR .....	96
Figura 25 – Tipos de usuário e seções do Sistema MMAR.....	97
Figura 26 – Interface principal (home) do Sistema MMAR.....	99
Figura 27 – Opções de exibição do menu vertical no Sistema MMAR.....	100
Figura 28 – Seção “Meus Dados” .....	101
Figura 29 – Subseção “ Listar Grupos” .....	102
Figura 30 – Subseção “ Cadastrar Usuário” .....	104
Figura 31 – Alerta de exclusão de usuário .....	106
Figura 32 – Subseção “Listar Categorias” .....	107
Figura 33 – Subseção “Edição de Software” .....	108
Figura 34 – Primeiro segmento: subseção “Edição de Molécula” .....	110
Figura 35 – Segundo segmento: subseção “Edição de Molécula” .....	111
Figura 36 – Subseção “Edição de Aula” .....	113
Figura 37 – Primeiro segmento: seção “Minhas Aulas” .....	115

Figura 38 – Segundo segmento: seção “Minhas Aulas” .....	116
Figura 39 – Utilização da interface de Realidade Aumentada .....	117
Figura 40 – Seção “Relatórios” .....	119
Figura 41 – Seção “Logs de Acesso” .....	120
Figura 42 – Modelo de aplicação da escala Likert na avaliação do Sistema MMAR.....	126
Figura 43 – Marcador utilizado na avaliação do Sistema MMAR.....	128
Figura 44 – Local da aplicação do Sistema MMAR. ....	130
Figura 45 – Professor utilizando o Sistema MMAR. ....	131
Figura 46 – Alunos utilizando o Sistema MMAR.....	134
Figura 47 – Alunos utilizando o Sistema MMAR.....	134

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Subcomponente Interatividade. ....	137
Gráfico 2 – Subcomponente Usabilidade. ....	142
Gráfico 3 – Subcomponente Motivação. ....	145
Gráfico 4 – Subcomponentes. ....	155



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DAC	Desenho Assistido por Computador
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
GQM	<i>Goal, Question, Metric</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
JRE	<i>Java Runtime Environment</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MED	Material Educacional Digital
MMAR	<i>Molecular Modeling with Augmented Reality</i>
PhET	<i>Physics Educacional Technology</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
RA	Realidade Aumentada
RH	Recursos Humanos
RV	Realidade Virtual
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
VSEPR	<i>Valence Shell Electron Pair Repulsion</i>





## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1.	MOTIVAÇÃO	19
1.2.	PROBLEMA	21
1.3.	HIPÓTESE	22
1.4.	OBJETIVOS	23
1.5.	ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>27</b>
2.1.	ENSINO E MODELAGEM MOLECULAR	27
2.2.	VISUALIZAÇÃO CIENTÍFICA	34
<b>2.2.1.</b>	<b>Contextualização Histórica da Visualização Molecular</b>	<b>35</b>
2.3.	REALIDADE VIRTUAL E EDUCAÇÃO	39
2.4.	REALIDADE AUMENTADA E ESTRUTURAS MOLECULARES 3D	42
<b>3.</b>	<b>TRABALHOS CORRELATOS</b>	<b>47</b>
3.1.	EDUC-AR	47
3.2.	PROTEINSCANAR	49
3.3.	AUGMENTED CHEMICAL REACTIONS	51
3.4.	AUGMENTED CHEMISTRY: INTERACTIVE EDUCATION SYSTEM	53
3.5.	DIFERENCIAL DESTE TRABALHO	54
<b>4.</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>59</b>
4.1.	METODOLOGIA INTERAD	60
4.2.	TECNOLOGIAS UTILIZADAS	63
4.3.	METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO	64
<b>4.3.1.</b>	<b>Objetivo</b>	<b>68</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>Questão</b>	<b>69</b>
4.3.3.	Métrica	70
<b>5.</b>	<b>MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA MMAR</b>	<b>73</b>
5.1.	SISTEMA MMAR	73
5.2.	COMPREENSÃO	74
<b>5.2.1.</b>	<b>Tema</b>	<b>74</b>
<b>5.2.2.</b>	<b>Público-alvo</b>	<b>74</b>
<b>5.2.3.</b>	<b>Objetivos Pedagógicos</b>	<b>75</b>
<b>5.2.4.</b>	<b>Contexto Educacional</b>	<b>75</b>
<b>5.2.5.</b>	<b>Necessidades do Aluno</b>	<b>75</b>
<b>5.2.6.</b>	<b>Subsídios Projetuais</b>	<b>76</b>
5.3.	PREPARAÇÃO	76
<b>5.3.1.</b>	<b>Desenho de Conteúdo</b>	<b>76</b>
<b>5.3.2.</b>	<b>Definição de Funcionalidades</b>	<b>80</b>
<b>5.3.3.</b>	<b>Lista de Requisitos</b>	<b>83</b>
5.4.	EXPERIMENTAÇÃO	84
<b>5.4.1.</b>	<b>Modelo Conceitual</b>	<b>84</b>
<b>5.4.2.</b>	<b>Diagrama do Projeto</b>	<b>86</b>
<b>5.4.3.</b>	<b>Arquitetura</b>	<b>88</b>
5.5.	ELABORAÇÃO	88
<b>5.5.1.</b>	<b>Tipo de Interatividade</b>	<b>88</b>
<b>5.5.2.</b>	<b>Malha Construtiva</b>	<b>89</b>
<b>5.5.3.</b>	<b>Malha Estrutural</b>	<b>90</b>
<b>5.5.4.</b>	<b>Desenho de Navegação</b>	<b>92</b>
5.6.	APRESENTAÇÃO	93

5.6.1.	Identidade de Marca.....	93
5.6.2.	Design Visual .....	94
5.6.3.	Apresentação do Sistema MMAR – System of Molecular Modeling with Augmented Reality .....	95
6.	<b>AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>123</b>
6.1.	PREPARAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	123
6.1.1.	Recrutamento da Amostra .....	124
6.1.2.	Instrumento de Avaliação .....	124
6.1.3.	Confecção de Marcadores .....	127
6.2.	EXECUÇÃO DA AVALIAÇÃO.....	129
6.3.	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	136
6.3.1.	Subcomponente Interatividade.....	137
6.3.2.	Subcomponente Usabilidade.....	141
6.3.3.	Subcomponente Motivação .....	145
6.3.4.	Análise das Questões Abertas .....	149
6.3.5.	Considerações do Professor .....	152
6.3.6.	Comparações entre os Subcomponentes: Pontos Fortes e Fracos ....	154
6.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....	157
7.	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>161</b>
7.1.	CONTRIBUIÇÕES DESTA PESQUISA.....	163
7.2.	TRABALHOS FUTUROS .....	164
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>167</b>
	<b>APÊNDICE A – MODELO DE CASOS DE USO.....</b>	<b>179</b>
	<b>APÊNDICE B – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO .....</b>	<b>180</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Aspectos políticos, econômicos e culturais que caracterizam a sociedade do século XXI, possibilitaram o surgimento da chamada sociedade digital. Percebe-se que as atenções estão voltadas às novas interações sociais e culturais que estão gerando as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), tanto pelas propícias condições inovadoras, quanto pelas oportunidades que proporcionam o desenvolvimento de pessoas e sociedades (LÉVY, 2007).

O próprio caráter da comunicação agora é outro, pois esta sociedade digital é dependente de uma rede global, que se constitui enquanto sistema aberto. Conforme Castells (1999), a comunicação é um componente que delinea a cultura, pois é por meio da comunicação que a própria vida em sociedade torna-se possível, em suas inúmeras manifestações, compondo um sistema de valores e de símbolos, que, por sua vez, recebe influências do sistema tecnológico.

Essa sociedade digital, imersa na tecnologia e dependente da comunicação, compõe-se por uma diversidade tipológica cultural de “cidadãos”, geograficamente dispersos. Inerentemente a isso, encontra-se o aspecto do conhecimento tecnológico, sendo notória a identificação, segundo Ebermann et al. (2016), de dois grupos de perfis distintos, denominados “nativos digitais” e “imigrantes digitais”.

Wang (2013) afirma que os “nativos digitais são a nova geração de jovens nascidos na era digital, enquanto imigrantes digitais são aqueles que aprenderam a usar computadores em algum momento durante a sua vida adulta”. Assim, consideram-se nativos digitais, todos aqueles que são intrinsecamente conhecedores de tecnologia, já os imigrantes digitais são aqueles que geralmente assumem que possuem alguma dificuldade com a tecnologia da informação.

Nesse mesmo sentido, Luu e Freeman (2011) alvitraram em relação ao conhecimento tecnológico, onde os alunos detentores de experiência prévia em TIC demonstram maior experiência de navegação na Internet e da utilização das TIC essenciais, observando-se uma “autoeficácia”. Percebe-se, assim, que esses alunos obtêm resultados mais elevados de alfabetização científica, sugerindo que há benefícios na promoção da integração das TIC na educação.

Contudo, nessa sociedade digital, embora, Grimley e Allan (2010) admitam que “há um interesse crescente no papel que as TIC podem desempenhar no âmbito da educação”, ainda é insuficiente a utilização da tecnologia na educação, como afirmam

Huang e Yang (2016, p. 47): “a tecnologia mudou quase todos os setores da sociedade, mas há pequenas mudanças na educação, em comparação com as mudanças nos outros setores”. Então, nesse cenário, a tecnologia deve ser utilizada como meio benéfico para alunos com perfis de nativos digitais e imigrantes digitais.

Segundo Biesta (2016), tornou-se complexa e complicada a discussão referente às TIC e educação, porém é incontestável que elas fazem parte da vida de muitos, mesmo que nem todos tenham acesso democrático ao que está disponível. Por fim, Rahman et al. (2016, p. 701) enfatizam que “as tecnologias interativas e serviços de comunicações instantâneas têm transformado os métodos adotados pela educação em meios mais interativos, visualizáveis e acessíveis”.

Neste contexto, a utilização das TIC no âmbito do trabalho pedagógico viabilizou o surgimento de novos paradigmas de aprendizagem e metodologias de ensino, possibilitando a modificação do cenário de ensino tradicional. Uma dessas tecnologias é a Realidade Aumentada (RA), cuja aplicação permitiu que inúmeras soluções fossem desenvolvidas para o ambiente educacional, proporcionando, neste, impactos de grande relevância (SILVA et al., 2016).

De acordo com Lee (2012), profissionais e pesquisadores têm se esforçado para aplicar a RA na sala de aula, buscando maior eficiência e eficácia na aquisição de conhecimento em áreas como Química, Matemática, Biologia, Física, Geografia, entre outras da Educação Básica e Superior. No campo da Química, a utilização da RA, destaca-se como ferramenta de apoio ao processo de ensino e aprendizagem, mais especificamente relacionada à modelagem molecular tridimensional.

No campo educacional, a RA é uma tecnologia emergente e possibilita a concepção de ambientes de aprendizagem inovadores, nos quais é permitida a coexistência simultânea dos mundos real e digital (BRONACK, 2011). Wu et. al. (2013) complementam, afirmando que os pesquisadores do domínio educacional estão explorando cada vez mais as potencialidades da RA direcionadas ao ensino e à aprendizagem.

Essa tecnologia proporciona mudanças na interação humano-computador, como, por exemplo, novas interfaces de aprendizagem na área educativa que, inevitavelmente, alteram o ambiente de aprendizagem, fornecendo novas metodologias de ensino e aprendizagem (IWANE et al., 2016). Observa-se, ainda, que a integração de técnicas de RA no *design* de interfaces de usuários, melhora as experiências interativas na aprendizagem em salas de aula, na educação especial e

no treinamento de usuários em uma variedade de campos (FRANK e KAPILA, 2016).

Assim, o entendimento da estrutura molecular tridimensional, bem como de suas propriedades físico-químicas é, muitas vezes, essencial para a compreensão dos processos biomoleculares. Nesse sentido, tem-se procurado proporcionar ao usuário uma visão molecular 3D, por meio de modelos virtuais, segundo o que afirmam Marsalek et al. (2010). Dessa forma, a RA emerge como um recurso diferenciado aplicado à modelagem molecular, facilitando a compreensão das relações estruturais moleculares.

Portanto, o objeto de estudo desse projeto é o desenvolvimento de um sistema *Web* voltado à modelagem tridimensional de estruturas moleculares, empregando técnicas de RA. O sistema poderá proporcionar aos estudantes um ambiente diferenciado de aprendizagem, pois segundo Zhang et al. (2011) e Chang et al. (2014), a RA é capaz de melhorar os resultados de aprendizagem, bem como, promover a motivação para a aprendizagem em várias disciplinas de ensino e cenários, através da utilização de informações visuais adicionais.

O Sistema *Web* proposto é intitulado MMAR (pronuncia-se “mar”), um acrônimo para *Molecular Modeling with Augmented Reality*. Sendo assim, nesta dissertação, a ocorrência da nomenclatura MMAR (grafada inteiramente em maiúsculo) refere-se ao Sistema *Web* em sua totalidade, inexistindo a possibilidade de se referir a qualquer seção ou módulo que componha o mesmo.

## 1.1. MOTIVAÇÃO

A Realidade Aumentada, recentemente, tornou-se uma das tecnologias mais evidenciadas, com base nos avanços da engenharia óptica e da Ciência da Computação. Os pesquisadores que atuam nos campos da visualização computacional 3D estão sendo atraídos cada vez mais pela RA e, diversas metodologias para implementá-la, por meio de *displays* 3D, estão sendo propostas (LEE et al., 2016).

A RA pode ser uma eficaz ferramenta quando aplicada à educação, uma vez que os alunos são capazes de aprender matemática, química, ou geometria com uma visualização de objetos não convencional (KAUFMANN e SCHMALSTIEG, 2003). Dessa forma, no campo educacional a RA pode ser utilizada para a demonstração de

várias práticas, até mesmo conceitos profundamente teóricos, podem ser demonstrados e compreendidos de forma atraente (JADEJA et al., 2016).

Da mesma forma, a modelagem molecular é uma poderosa ferramenta para análises das relações entre estrutura-atividade de moléculas (FERREIRA et al., 2015), e representa uma tecnologia que está atraindo cada vez mais o interesse de cientistas. Segundo Essabbah, Otmane e Mallem (2008, p. 350), “a sua capacidade de simular fenômenos naturais que não são exploráveis experimentalmente, oferece um grande potencial e abre as portas para novas pesquisas no campo”.

No entanto, é notória a complexidade estrutural e funcional inerente a cada molécula, como, por exemplo, as estruturas proteicas. Estas são constituídas por sequências de aminoácidos, originando diversas composições ao se associarem e, por sua vez, cada aminoácido é formado por uma combinação estrutural específica de átomos. Havendo qualquer tipo de deformidade na ligação estrutural entre estes átomos, como a alteração entre os ângulos, a falta de ligações (entre átomos) ou ainda, o anexo de elementos estranhos à estrutura química, a funcionalidade da proteína será alterada, pois, como afirma Kinoshita et al. (2007), a função de determinada proteína está diretamente relacionada com a sua estrutura.

Assim, no âmbito educacional, observa-se a demanda por um sistema que seja capaz de auxiliar na compreensão de estruturas moleculares tridimensionais, das mais simples às mais complexas. Sistema este, que possibilite o suporte à modelagem molecular tridimensional e que as interações entre os modelos virtuais, sejam realizadas por meio de uma interface de RA.

Outro fator motivacional para a realização deste trabalho decorre do contato prévio do pesquisador com as tecnologias de RA e modelagem molecular, ocorrido na implementação do trabalho de conclusão de curso de graduação. Contudo, esse trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema *desktop*, provido de uma interface de RA, sendo que os modelos moleculares tridimensionais estavam descritos em arquivos do formato VRML<sup>1</sup> (*Virtual Reality Modeling Language*).

Pelo sistema ser *desktop*, obrigatoriamente deveria ser instalado e executado no próprio computador do usuário, caracterizando-se principalmente por não necessitar de acesso à Internet, sendo dependente do tipo de plataforma para a qual foi desenvolvido. Para possibilitar a modificação desse cenário, busca-se a concepção

---

<sup>1</sup> Padrão de formato de arquivo para realidade virtual.

de um sistema totalmente *Web*, diferenciando-se por permitir seu acesso por meio de navegadores, de qualquer localização geográfica, desde que tenha comunicação com a Internet e, pela independência de plataforma, ou seja, o acesso ao sistema é realizado independentemente da configuração do computador do usuário.

Outra modificação significativa está relacionada ao formato de arquivo no qual os modelos moleculares tridimensionais eram descritos, o sistema fazia uso do formato VRML, que cada vez está sendo menos utilizado. O intuito é fazer com que o MMAR suporte o padrão X3D<sup>2</sup> para a descrição dos modelos moleculares, pois este padrão é amplamente empregado nas mais diversificadas áreas e, em relação ao VRML, apresenta aperfeiçoamentos em sua arquitetura (estendendo as capacidades de modelagem e interação), incorporando, ainda, as melhorias dos recursos disponíveis nos últimos dispositivos gráficos.

Dessa forma, a concepção de um novo sistema que busque contemplar esse conjunto de características, poderá proporcionar um ambiente computacional diferenciado para o ensino de estruturas moleculares 3D. Professores e alunos poderão interagir simultaneamente com moléculas 3D (e explorar suas composições) por meio da interface de RA, não somente nos laboratórios da instituição de ensino, mas em qualquer local que tenha acesso à Internet e à uma *webcam*.

## 1.2. PROBLEMA

Devido à complexidade de suas composições estruturais químicas, muitas vezes, o aprendizado referente às moléculas torna-se abstruso. Outro problema está diretamente ligado à intuitividade e à interatividade, em relação aos modelos tridimensionais existentes, pois muitos são limitados em realismo de detalhes e nem sempre são suficientemente intuitivos para que seus usuários possam retirar informações e/ou conclusões com propriedade sobre eles.

Como agravante, a interatividade restringe-se, na maior parte dos casos, em movimentos e ações costumeiras como rotação, translação, troca de cores, troca de texturas, entre outras, sendo, predominantemente, executados por meio de periféricos padrões como *mouse* ou teclado (MAIER, 2013a).

---

<sup>2</sup> Padrão aberto de distribuição de conteúdo 3D.

Assim, além da dificuldade intuitiva, estes periféricos tornam-se barreiras tanto para a facilidade de manipulação das estruturas moleculares, como para a própria interatividade do usuário com as mesmas. Como complementam Essabbah, Otmane e Mallem (2008), afirmando, que a exploração e interação em ambientes virtuais de modelagem molecular existentes, são muitas vezes simplórias e limitadas, evidenciando a ausência de uma forte interação natural tridimensional.

Igualmente, surge um problema comum para os pesquisadores: relacionar a visualização molecular, aparentemente artificial, com o mundo tridimensional normal. Em um ambiente de ensino, certamente esse problema é ainda mais marcante, pois estudantes normalmente não apresentam o conhecimento necessário para trabalhar com sistemas biomoleculares (NICKELS et al., 2012), afetando, também, a motivação desses estudantes.

Nesse contexto, com estudantes fazendo parte de uma geração tão imersiva e dependente tecnologicamente, uma reflexão surge acerca de como proporcionar recursos tecnológicos e educacionais, que permitam aos estudantes a compreensão de estruturas moleculares tridimensionais de forma mais intuitiva e motivadora, contemplando interações com modelos virtuais mais realistas, sendo essas realizadas por meios mais naturais do que as tradicionais?

### 1.3. HIPÓTESE

Evidenciou-se, nas subseções anteriores, a necessidade de buscar recursos tecnológicos e educacionais que possibilitem motivar novas alternativas ao cenário educacional tradicional, mais especificamente, aplicados no apoio à compreensão estrutural tridimensional molecular.

Nesse contexto, a RA surge como uma tecnologia diferenciada, pois como afirmam Zhang et al. (2015), ela proporciona novas oportunidades visuais de aprendizagem aos alunos e, certamente poderia ser uma estratégia inovadora para ajudar os estudantes a atingirem bons resultados no ensino. E, como complementam Zee e Roberts (2006), a RA tem sido reconhecida como uma ferramenta eficaz no intuito de combinar objetos do mundo real e materiais virtuais de aprendizagem no mundo digital, que permitem aos usuários interagir com o material virtual em situações de aprendizagem reais.



Sendo assim, esta pesquisa parte da hipótese de que um sistema *Web*, que utilize uma interface de RA para a modelagem molecular tridimensional, possa proporcionar a compreensão de estruturas moleculares tridimensionais de forma mais intuitiva e motivadora, contemplando interações com modelos virtuais mais realistas, sendo essas realizadas por meios mais naturais (através de marcadores) do que os tradicionais e, dessa forma, acentuando o interesse pelos conteúdos relativos às moléculas e, conseqüentemente, pela disciplina de Química.

#### 1.4. OBJETIVOS

O objetivo dessa pesquisa é analisar as possíveis influências referentes à interatividade, à usabilidade e à motivação, proporcionadas por um ambiente diferenciado para o ensino de estruturas moleculares tridimensionais, por meio do desenvolvimento e aplicação de um sistema *Web* dirigido à modelagem molecular tridimensional, dispondo de uma interface de RA.

Almeja-se, assim, oportunizar aos estudantes um ambiente virtual, onde, a interação com os modelos moleculares seja realizada de forma mais natural, verificando se o mesmo é capaz de colaborar com a otimização da usabilidade, e ampliação da interatividade, bem como com o aumento do interesse pela disciplina.

Desta forma, para que o objetivo principal seja contemplado, são elencados os objetivos específicos:

- a) Utilizar uma metodologia de desenvolvimento de *software* educacional, para realizar a modelagem do sistema *Web* proposto, definindo o seu *layout* e navegabilidade, permitindo a concepção de interfaces adequadas ao mesmo;
- b) Analisar as funcionalidades mais significativas dos principais sistemas voltados à modelagem molecular que utilizam interface de RA, com o intuito de identificar características essenciais, bem como fundamentar o diferencial deste trabalho;
- c) Desenvolver o sistema *Web* para modelagem molecular tridimensional utilizando interface de RA;
- d) Disponibilizar o sistema *Web* na Internet;
- e) Aplicar, avaliar e analisar os resultados obtidos com a abordagem juntamente aos alunos na disciplina de Química, do Curso Técnico em

Informática Integrado ao Ensino Médio, do IF Farroupilha Campus São Borja, visando identificar dados referentes à interação e experiência dos alunos, para que possam demonstrar possíveis contribuições condizentes à motivação, proporcionada por uma interação mais natural.

## 1.5. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para melhor compreensão, apresenta-se a organização e estrutura da dissertação:

- a) O Capítulo 2 detalha o referencial teórico sobre os conceitos que envolvem o escopo da pesquisa; a seção 2.1 realiza um panorama geral referente à modelagem molecular, contemplando conceitos e exemplos, bem como seu emprego no ambiente educacional; a seção 2.2 descreve o que é Visualização Científica, sua importância e aplicação tanto na pesquisa científica quanto no campo educacional; a seção 2.3 aborda o conceito de Realidade Virtual, sua utilização no ensino e na modelagem molecular; a seção 2.4 apresenta a Realidade Aumentada, suas características, sua aplicabilidade na educação e na modelagem molecular;
- b) O Capítulo 3 apresenta os trabalhos correlatos mais significativos; a seção 3.1 descreve o trabalho de Farias, Dantas e Burlamaqui (2011) denominado *Educ-AR*; a seção 3.2 traz o sistema denominado *ProteinScanAR*, desenvolvido por Nickels et al. (2012); a seção 3.3 refere-se o sistema *Augmented Chemical Reactions* concebido por Maier, Klinker e Tönnis (2009); a seção 3.4 expõe o trabalho realizado por Singhal et al. (2012), intitulado *Augmented Chemistry: Interactive Education System*; a seção 3.5 descreve o diferencial deste trabalho, baseando-se no conjunto de características desejáveis disponibilizadas no Sistema MMAR;
- c) O Capítulo 4 contém os aspectos metodológicos adotados neste trabalho, enfatizando a metodologia Interad - Interfaces Interativas Digitais aplicadas à Educação (PASSOS, 2011) e apresentando suas cinco fases de desenvolvimento, bem como suas respectivas subfases (etapas);
- d) O Capítulo 5 descreve a modelagem e o desenvolvimento do Sistema MMAR, fundamentada na metodologia Interad; a seção 5.1 realiza uma breve contextualização do sistema; a seção 5.2 exhibe a fase de

Compreensão; a seção 5.3 apresenta a fase de Preparação; a seção 5.4 aborda a fase de Experimentação; a seção 5.5 expõe a fase de Elaboração; a seção 5.6 refere-se à fase de Apresentação;

- e) O Capítulo 6 apresenta o processo de avaliação do Sistema MMAR e a discussão dos resultados identificados; a seção 6.1 demonstra a preparação do experimento; a seção 6.2 descreve a execução da avaliação; a seção 6.3 trata da análise e da interpretação dos resultados; a seção 6.4 contém as considerações finais acerca dos resultados da pesquisa;
- f) O Capítulo 7 descreve uma síntese da pesquisa concretizada nesta dissertação; na seção 7.1 são apresentadas as contribuições desta pesquisa; a seção 7.2 expõe os trabalhos futuros.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com o intuito de fundamentar e dar consistência a esta pesquisa científica, apresentam-se, neste capítulo, os principais conceitos tomados como base, divididos em quatro subseções: Ensino e Modelagem Molecular; Visualização Científica; Realidade Virtual e Educação; Realidade Aumentada e Estruturas Moleculares 3D.

### 2.1. ENSINO E MODELAGEM MOLECULAR

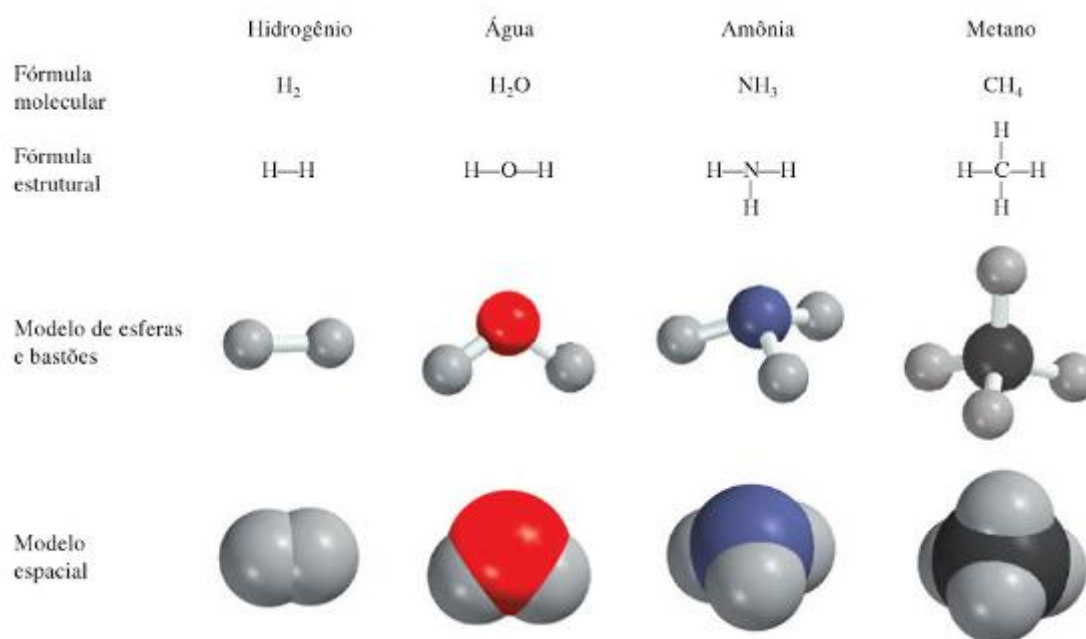
Uma molécula é uma entidade que, segundo Chang e Goldsby (2013, p. 50) pode ser definida como “um agregado, de pelo menos, dois átomos, ligados de forma precisa por forças químicas (também chamadas de ligações químicas)”. No entanto, a grande maioria das moléculas é constituída por um número superior a dois átomos, podendo ser átomos do mesmo elemento, ou ainda ser combinações de dois ou mais elementos distintos.

Diferentemente de moléculas formadas por poucos átomos, a complexidade de análise, bem como de entendimento estrutural e funcional molecular, torna-se maior quando se consideram macromoléculas. Estas são polímeros construídos pela ligação entre moléculas orgânicas menores (chamadas de monômeros, ou subunidades) formando longas cadeias. Os ácidos nucleicos, as proteínas e os polissacarídeos são exemplos de macromoléculas que estão presentes em todas as células (ALBERTS et al., 2016).

Pelas moléculas serem excessivamente pequenas, torna-se impossível observá-las diretamente, então, um modo eficaz para visualizá-las é utilizando modelos moleculares. Os modelos mais comumente usados são o modelo de esferas e bastões (*ball and stick*) e o modelo espacial, como estão ilustrados na Figura 1, juntamente com as fórmulas moleculares e fórmulas estruturais.

Ainda, considerando a Figura 1, é perceptível que existe uma elevada dificuldade em conseguir imaginar a disposição tridimensional dos átomos de uma pequena molécula a partir de sua fórmula molecular ou fórmula estrutural. O contrário ocorre com os modelos moleculares, pois o modelo de esferas e bastões, por exemplo, permite visualizar claramente o arranjo 3D dos átomos, bem como suas ligações.

Figura 1 – Fórmulas moleculares e estruturais e os modelos moleculares de quatro moléculas



Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 52).

Independentemente da composição estrutural molecular, sua compreensão funcional destaca-se como um dos principais desafios da biologia estrutural. Um elemento importante da análise de uma molécula reside no conhecimento resultante da exploração de sua estrutura (ORENGO et al., 1999). Portanto, a visualização estrutural molecular é um estágio primordial na realização do trabalho de biólogos estruturais, sendo que inúmeros esforços têm sido empregados nas duas últimas décadas com o intuito de otimizar a metodologia aplicada por especialistas na observação de moléculas (HARRISON et al., 2013).

Da mesma forma, no ensino dos diversos conceitos relacionados às estruturas moleculares, a visualização tridimensional dessas estruturas possui um papel crucial na tentativa de compreendê-las. Assim, instrumentos utilizados pela Ciência, como a modelagem molecular, por meio da geração de modelos moleculares virtuais, têm uma grande importância também na educação (GOBERT et al., 2011), pois esses modelos podem auxiliar os alunos no entendimento de teorias, fenômenos ou regras e, ainda, ilustrarem ou simplificarem conceitos abstratos (BODE, 2016).

De acordo com Leach (2001), a modelagem molecular está relacionada às formas de mimetizar o comportamento de moléculas e sistemas moleculares e, invariavelmente, está associada à modelagem por computador. Engloba não apenas

a mecânica quântica, mas também mecânica molecular, minimização, simulações, análise conformacional e outros métodos baseados em computador para compreender e prever o comportamento do sistema molecular.

Segundo Abdul-Wahid et al. (2012, p. 1), “a modelagem molecular é um campo que tradicionalmente tem grandes custos computacionais”, contudo, Bokhari et al. (2002), justifica, que a modelagem molecular é uma importante ferramenta para investigar o comportamento coletivo dos sistemas resultantes das interações complexas entre seus componentes individuais. Awasthi e Sharma (2012), complementam, afirmando que é uma ferramenta essencial para entender praticamente todos os fenômenos biológicos, pois possibilita uma direção para interpretação teórica da relação estrutura - atividade.

Harrison et al. (2013) afirmam que para resolver o problema de trabalhar com modelos moleculares abstratos, várias representações foram adotadas ao longo dos anos e, atualmente, a comunidade tem amplamente adotado algumas delas. Chavent et al. (2011) admitem que essas representações estão sofrendo evoluções graças à melhoria contínua no desempenho de sistemas de computação. *Game engines*<sup>3</sup> e seus algoritmos de processamento estão sendo utilizados, por exemplo, na concepção de novas representações de átomos usando os recursos da GPU<sup>4</sup>, com o objetivo de representações dinâmicas de dados moleculares em larga escala.

Estudos recentes mostraram que a visualização estereoscópica<sup>5</sup> de estruturas moleculares proporciona uma melhoria significativa na forma com que as moléculas são compreendidas (STONE et al., 2010). Esta melhoria é consequência do aprimoramento da percepção de profundidade de objetos, viabilizados pela estereoscopia. Isto ocorre pois, os dados observados na biologia molecular são átomos, objetos contendo informações intrinsecamente 3D, que necessitam de algumas adequações para serem representados em 2D. Além disso, complexos moleculares podem compreender um número tão grande de partículas, que produzem uma perda de pontos de referência durante a exploração espacial molecular, quando realizado em uma tela 2D (DREHER et al., 2013).

---

<sup>3</sup> *Game engine* (motor de jogo): programa de computador e/ou conjunto de bibliotecas, com o intuito simplificar e abstrair o desenvolvimento de jogos eletrônicos ou outras aplicações com gráficos em tempo real.

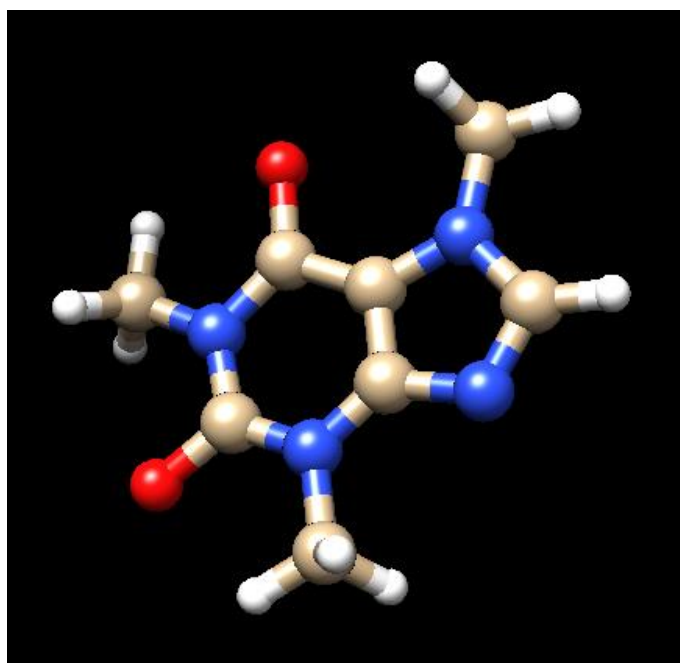
<sup>4</sup> GPU (*Graphics Processing Unit*): Nome atribuído a um tipo de microprocessador especializado em processar gráficos.

<sup>5</sup> Técnica utilizada para se obter informações do espaço tridimensional, através da análise de duas imagens obtidas em pontos diferentes.

As técnicas computacionais têm revolucionado a modelagem molecular na medida em que a maioria dos cálculos não poderia ser realizada sem a utilização de computadores. Conseqüentemente, observa-se o aumento da gama de modelos moleculares, como os modelos *stick*, *space filling* e CPK. Estes modelos permitem representações tridimensionais das estruturas moleculares e, uma vantagem relevante é que eles são interativos, desempenhando, assim, um papel importante tanto no ensino quanto na pesquisa (LEACH, 2001).

Com o intuito de demonstrar alguns desses modelos, aplicados tanto às pequenas quanto às grandes moléculas utilizaram-se dois softwares *desktops*<sup>6</sup> (ambos não sendo sistemas *Web*). Primeiramente, fez-se uso do software UCSF Chimera<sup>7</sup> direcionado à visualização interativa e análise de estruturas moleculares e dados relacionados, dispondo de inúmeros modelos de visualização e interação, como *wire*, *sticks*, *ball and stick*, *sphere*, *ribbons* entre outros. A Figura 2, gerada pelo UCSF Chimera, apresenta o modelo *ball and stick*, da molécula Cafeína, composta por 24 átomos.

Figura 2 – Modelo *ball and stick* da molécula Cafeína, gerado pelo software UCSF Chimera



Fonte: Autor.

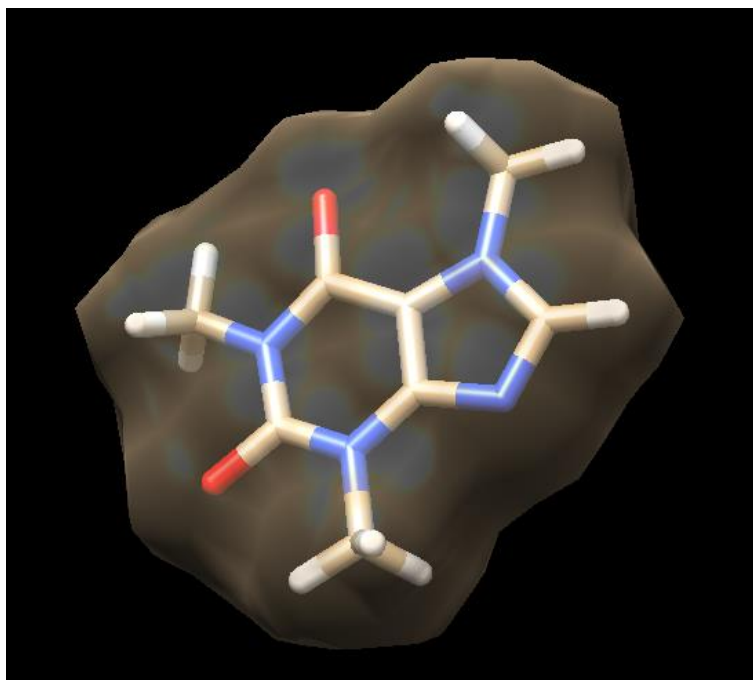
<sup>6</sup> Softwares do tipo *desktop* são instalados e executados no próprio microcomputador.

<sup>7</sup> Desenvolvido pelo *Resource for Biocomputing, Visualization, and Informatics at the University of California*, San Francisco. Disponível em: <https://www.cgl.ucsf.edu/chimera>



A Figura 3, também gerada pelo *software* UCSF Chimera, demonstra o modelo *stick*, com a aplicação simultânea do modelo *surface* (com transparência de 70%) da mesma molécula, sendo que este modelo está diretamente relacionado com a densidade eletrônica das ligações químicas na molécula. O UCSF Chimera ainda permite inúmeros recursos, como medições (distâncias, ângulos, área de superfície e volume), cálculo (centróides, eixos e planos), construção de estruturas e rotação de ligações, reprodução dinâmica da trajetória molecular etc.

Figura 3 – Modelo *stick* com a aplicação simultânea do modelo *surface* da molécula Cafeína, gerado pelo *software* UCSF Chimera



Fonte: Autor.

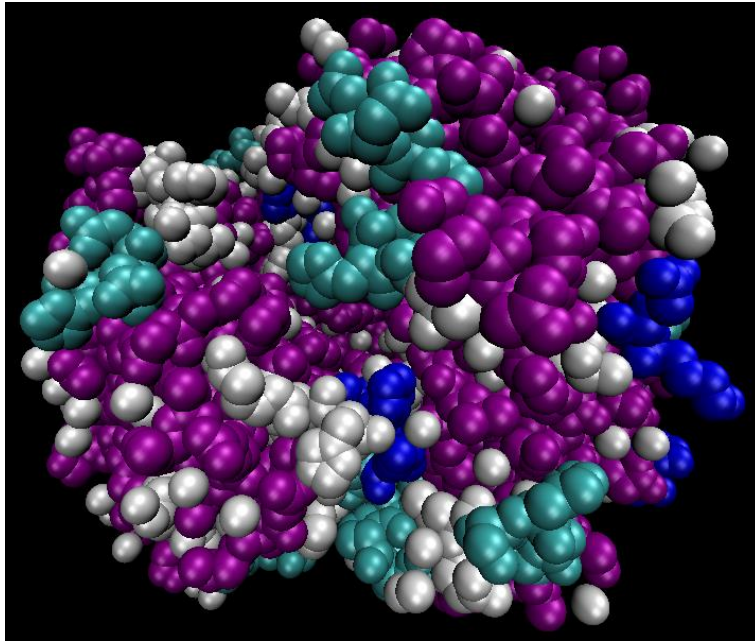
Na sequência, utilizou-se o *software* VMD<sup>8</sup>, voltado à visualização e modelagem molecular. Este provê uma grande variedade de métodos para a visualização estrutural como pontos e linhas, esferas e cilindros, tubos e fitas, bem como a combinação destes. A Figura 4 apresenta o modelo VDW (átomos representados por esferas sólidas, sem ligações), da molécula Hemoglobina (classificação: transporte de oxigênio), composta por 4.769 átomos. A Figura 5

---

<sup>8</sup> Desenvolvido pelo *Theoretical and Computational Biophysics Group at the Beckman Institute, University of Illinois at Urbana-Champaign*. Disponível em: <http://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd>

apresenta o modelo *New Cartoon* (diagrama de desenhos, por meio de fitas lisas, com base na estrutura secundária), representando a mesma molécula.

Figura 4 – Modelo VDW da molécula Hemoglobina, gerado pelo *software* VMD



Fonte: Autor.

Figura 5 – Modelo *new cartoon* da molécula Hemoglobina, gerado pelo *software* VMD



Fonte: Autor.

Segundo Porto, Rizowy e Cezar (2016), devido aos aspectos microscópicos das moléculas, a metodologia de ensino e aprendizagem ideal necessita de uma infraestrutura adequada de laboratórios, com custos elevados, contendo microscópios e equipamentos que viabilizem a observação e análise destes aspectos. Contudo, geralmente, a utilização desses laboratórios é notoriamente restrita a poucas escolas particulares.

O caminho alternativo que está sendo seguido, por algumas escolas, para contornar a inexistência desses laboratórios, principalmente pelas públicas, é a utilização de *softwares* gratuitos voltados ao trabalho com modelos moleculares. Porém, usualmente, estes *softwares* são limitados à visualização e à interação (em determinadas circunstâncias, permitem simulações restritas) de pequenas moléculas, como é o caso do projeto PhET<sup>9</sup>, mas que auxiliam os estudantes na compreensão de inúmeros conceitos básicos relacionados às estruturas moleculares.

A dificuldade de compreensão dessas estruturas faz parte da realidade de alunos e professores. Segundo Maier (2013b), isso pode ocorrer devido ao fato de não conseguirem imaginar a estrutura espacial das moléculas que são ensinadas, pois normalmente é utilizada uma representação bidimensional através de slides ou do próprio quadro. Caso não se obtenha o entendimento 3D das estruturas químicas, haverá grande dificuldade de compreender determinados comportamentos moleculares.

Sendo assim, ao se gerar modelos visuais tridimensionais de determinada molécula, estes podem ser utilizados para compreender, explorar e analisar sua estrutura química de forma mais precisa. Este processo possibilitará a visualização dos elementos formadores desta estrutura, dos diferentes tipos de ligações entre átomos e seus ângulos e ainda de sua superfície.

Na próxima seção são apresentados os conceitos de Visualização Científica, focando na representatividade gráfica de dados para possibilitar um importante auxílio na compreensão destes, bem como em sua relevância e aplicação na pesquisa científica e na área educacional.

---

<sup>9</sup> *Physics Educational Technology* (PhET): projeto da Universidade do Colorado (EUA) concebido para desenvolver simulações em diversas áreas da ciência. Disponível em: <https://phet.colorado.edu>

## 2.2. VISUALIZAÇÃO CIENTÍFICA

Existem inúmeras definições para a palavra Visualização, contudo, de acordo com Mendonça (2001, p. 1), no seu sentido amplo “significa a geração de imagens mentais para a organização e o entendimento de um conceito, ideia ou informação. Formulações alternativas relacionam essa informação a um contexto computacional”. Logo, uma definição que trata especificamente de Visualização Científica é apresentada por Mercurio e Erickson (1990, p. 741): “Visualização Científica é um domínio da Ciência da Computação cujo objetivo é promover a concepção visual no processo de investigação científica”.

A Visualização Científica é um grande domínio da Ciência da Computação, onde inúmeros *softwares* estão disponíveis (WAKRIME et al., 2015). Ela envolve e unifica as áreas de Computação Gráfica, Processamento de Imagem, Visão Computacional, Desenho Assistido por Computador (DAC), Processamento de Sinal e Interação Humano-Computador (ZAGORANSKI e DIVJAK, 2003). Observa-se, ainda, que segundo Rhyne et al. (2003, p. 611) “a Visualização Científica é frequentemente aplicada na representação visual de dados espaciais associados a processos científicos, como nas ligações moleculares na química computacional”.

Para Kindlmann et al. (2016, p. 867), “a Visualização Científica busca as melhores maneiras de extrair o conhecimento a partir de dados científicos”, sendo que a comunidade científica está trabalhando cada vez mais, em projetos relacionados a algoritmos de visualização, para que, quando aplicados às diferentes áreas, tenham resultados eficientes e eficazes (ENGLUND, KOTTRAVEL e ROPINSKI, 2016).

Segundo Hagen et al. (2003), o sucesso atribuído à Visualização Científica deve-se, principalmente, à capacidade de proporcionar a exibição de informações ocultas, isto é, a concepção essencial de utilizar imagens geradas por computador para obter a compreensão dos dados. Observa-se, assim, que este é um conceito extremamente intuitivo e significativo, que tem tido uma grande expansão na metodologia da ciência e engenharia.

A Visualização Científica é um interessante campo da ciência computacional, estimulado em grande parte pelo rápido crescimento da tecnologia, em particular em aspectos condizentes ao *hardware* gráfico e ao *software* de computação gráfica. Ela impacta diariamente na vida de todos, sendo uma grande promessa para a pesquisa científica e educacional (AREF et al., 1994). Hagen et al. (2003, p. 23) complementam

a relevância da Visualização Científica afirmando que “é uma área de pesquisa muito ativa e essencial para o ensino e o desenvolvimento do conhecimento”.

Diversos desafios sempre foram impostos à Visualização Científica, como representar renderizações<sup>10</sup> realistas de volumes, superfícies, texturas, cores e fontes de iluminação, sendo que, muitas vezes em associação com um componente dinâmico, como o tempo. No entanto, segundo Encarnação (2016), com a evolução dos recursos computacionais, tornou-se viável a realização de análises em tempo real de dados científicos, bem como a possibilidade de os usuários interagirem efetivamente com seus modelos gráficos.

A aplicabilidade da Visualização Científica na educação pode ser numerosa (ZAGORANSKI e DIVJAK, 2003), como nos campos da Física, Matemática, Biologia, Geografia, Química e, inclusive, na Astronomia. Sendo que nesta, por exemplo, possibilita a geração de representações visuais e simulações de objetos e seus comportamentos, focando no ensino por meio da observação de diversos fenômenos naturais (YAIR, SCHUR, MINTZ, 2003).

Neste trabalho a Visualização Científica é aplicada na área da modelagem molecular tridimensional, devido à necessidade de representar visualmente os dados estruturais, para melhor analisá-los e compreendê-los. Isso, segundo Lin et al. (2015), porque sua aplicação nessa área permite facilitar a compreensão dos estudantes no que tange às estruturas de elementos e compostos químicos.

Na próxima subseção será realizada uma breve contextualização histórica dos principais métodos e tecnologias utilizados para representar visualmente as estruturas químicas (moléculas) a partir da década de 1950. Dessa forma, serão demonstradas as principais inovações condizentes às metodologias e tecnologias utilizadas na representação molecular nas últimas sete décadas.

### **2.2.1. Contextualização Histórica da Visualização Molecular**

Desde os primórdios da compreensão da estrutura química, sempre buscou-se utilizar representações visuais com o intuito de reproduzir, da forma mais realista

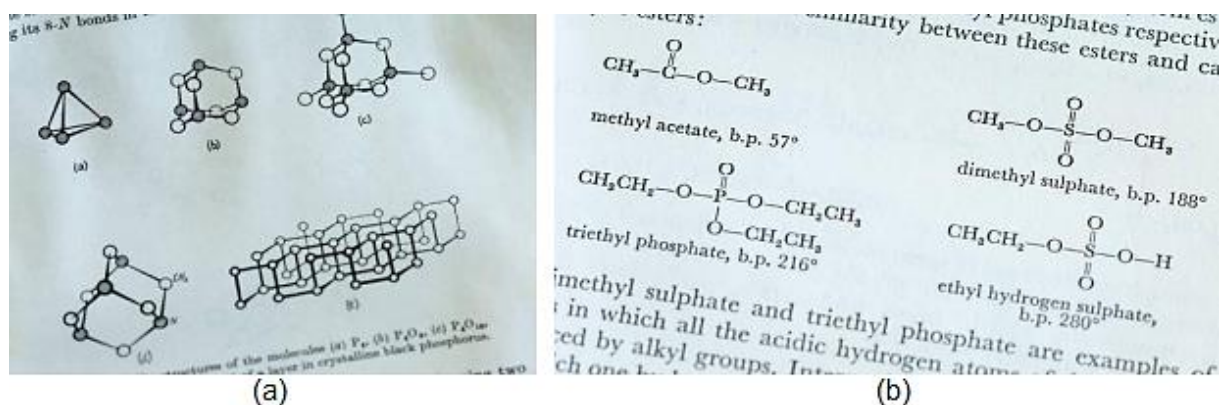
---

<sup>10</sup> Renderizar (do inglês *to render*) é o processo pelo qual se obtém o produto final de um processamento digital qualquer. É muito utilizado na Computação Gráfica e significa converter uma série de símbolos gráficos em um arquivo visual. Este processo aplica-se essencialmente em *softwares* voltados à modelagem 2D e 3D.

possível, a composição da estrutura molecular. Inicialmente, pela ausência de tecnologia adequada para realizar a visualização estrutural molecular, como é observado na Figura 6a (ano de 1956), representações químicas eram criadas por ilustradores, muitas vezes empregados em editoras de livros e revistas ou mesmo incorporados em departamentos de ciência.

Em 1962 (Figura 6b) essas representações também eram produzidas utilizando máquinas de escrever e placas simples de impressoras do tipo *offset*<sup>11</sup>, porém, muito rapidamente, essas simples representações estruturais tornaram-se insatisfatórias à medida que o conhecimento da estrutura molecular evoluiu (HARRISON et al., 2013).

Figura 6 – Representações moleculares dos anos de 1956 e 1962



Fonte: Letra “a” Wells (1956, apud HARRISON et al., 2013, p. 1) e letra “b” Grundon (1962, apud HARRISON et al., 2013, p. 1).

Buscando meios para melhorar as representações moleculares, desde o final dos anos de 1970 até meados dos anos de 1980, diversos pesquisadores e professores tornaram-se peritos em utilizar canetas, moldes plásticos e estênceis (Figura 7). Dessa forma, inclusive ilustradores, fazendo uso desses simples recursos, tentavam alcançar representações com a maior fidedignidade possível, que eram fotografadas e, posteriormente, utilizadas nas impressoras *offsets*.

<sup>11</sup> A impressão *offset* é um antigo processo planográfico cuja essência consiste em repulsão entre água e gordura (tinta gordurosa).

Figura 7 – Ferramentas utilizadas na química para ilustrações de representações moleculares



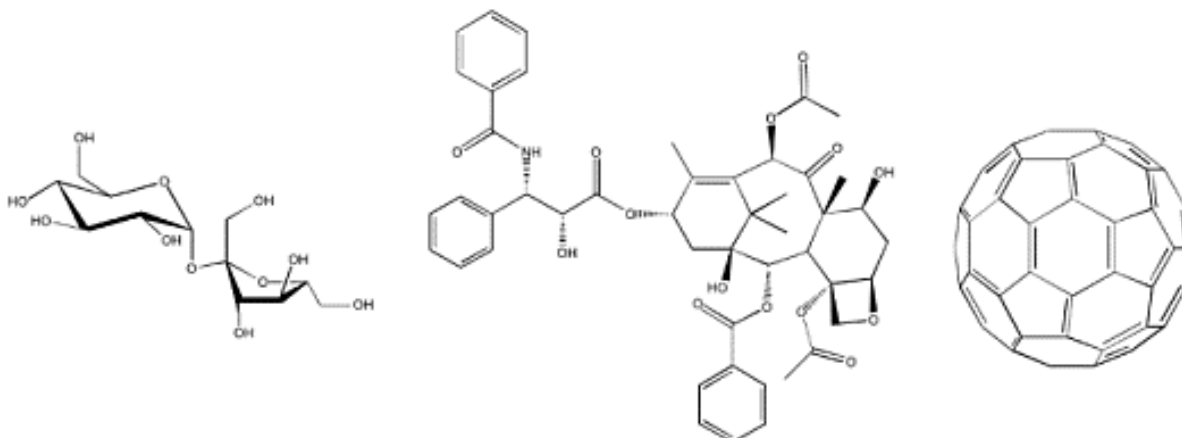
Fonte: (HARRISON et al., 2013, p. 2).

Na década de 1980, mais precisamente no ano de 1984, ocorreu uma grande inovação que afetou diretamente todos os que trabalhavam com Química: o lançamento do Apple Mac<sup>12</sup>, provido de *mouse* e *software* para desenho, juntamente com a primeira impressora laser da Apple, assim, ilustrações poderiam ser desenhadas e impressas. Em 1986, foi lançado *software* ChemDraw<sup>13</sup> para Mac, específico para o trabalho com representações químicas, sendo que em 1994, foi apresentado o ChemDraw 3.1 para plataforma Windows.

Como consequência, além da propagação do *software* para outras plataformas, ampliando o número de usuários, as representações moleculares poderiam ser rapidamente produzidas no ChemDraw (Figura 8), já fazendo uso da “inteligência” do *software*, como, por exemplo regras estruturais, funções de correções, nomes de estruturas, etc.

<sup>12</sup> Nome dos computadores pessoais fabricados e comercializados pela empresa *Apple Inc.*

<sup>13</sup> Editor de moléculas que juntamente com o Chem3D que faz parte do ChemOffice. Disponível em: <http://www.cambridgesoft.com>

Figura 8 – Representações moleculares da sacarose, Taxol e C<sub>60</sub>

Fonte: (HARRISON et al., 2013, p. 2).

Uma vez que os computadores *desktops* tornaram-se populares, os *softwares* voltados à modelagem molecular foram rapidamente produzidos, fornecendo a capacidade de visualizar tridimensionalmente as mais diversificadas estruturas moleculares. Em 1986, o *software* Chem3D foi lançado e, rapidamente, no mesmo ano, já havia outros *softwares* disponíveis como RasMol<sup>14</sup>, Macromodel<sup>15</sup>, Chemical Design, Hypercube<sup>16</sup> e CAChe Scientific.

Desde então, inúmeros *softwares* foram produzidos, muitos pereceram pelo caminho, porém outros continuam disponíveis, esforçando-se na busca pelo perfeccionismo na representatividade das estruturas moleculares, isto é, representar por meio de modelos virtuais 3D da forma mais realista e natural possível, como pode ser observado na Figura 9, gerada com o auxílio do *software* VMD, mencionado na seção 2.1.

Para tanto, estão sendo empregados cálculos cada vez mais precisos (como os de ângulos, de distâncias entre átomos e de superfícies), inovando na metodologia de incidências de iluminação (com reflexões), nos tipos de texturas, nas cores (fazendo uso de técnicas de transparências), etc.

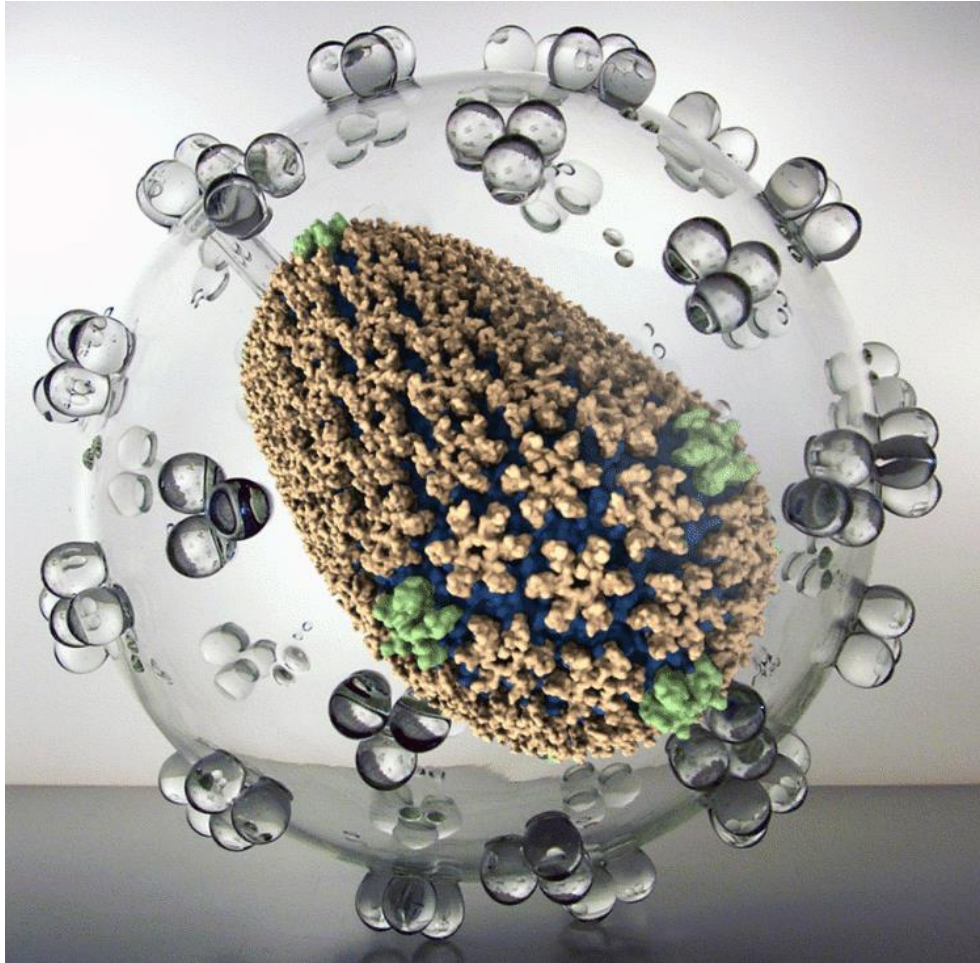
<sup>14</sup> <http://www.rasmol.org>

<sup>15</sup> <https://www.schrodinger.com/macromodel>

<sup>16</sup> <http://www.hyper.com>



Figura 9 – Capsídeo do HIV em invólucro de vítreo



Fonte: <http://www.ks.uiuc.edu>

Dessa forma, torna-se importante compreender, explorar e aplicar técnicas que possibilitem gerar visualizações, que sejam fidedignamente representativas de determinado conjunto de dados em estudo. Assim, neste trabalho, empregam-se técnicas de Realidade Aumentada como forma de representar visualmente modelos tridimensionais de estruturas moleculares. Devido a RA ser vista como uma variante da Realidade Virtual (AZUMA, 2001), na próxima seção busca-se a compreensão desta, bem como sua utilização na educação.

### 2.3. REALIDADE VIRTUAL E EDUCAÇÃO

Formas de representação do mundo real ou da própria imaginação humana, sempre estiveram intrínsecos em inúmeros meios de expressão como na pintura, no

cinema, na ciência, entre outros. Com a evolução dos dispositivos e métodos computacionais, o ambiente concebido pela Realidade Virtual surge como uma potente e inovadora forma de representação.

Assim, de acordo com Tori et al. (2006, p. 6):

A Realidade Virtual (RV) é, antes de tudo, uma “uma interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização de, e movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente. Além da visualização em si a experiência do usuário de RV pode ser enriquecida pela estimulação dos demais sentidos como tato e audição.

Segundo Kirner e Siscoutto (2007, p. 8), “a interface baseada em RV permite que habilidades e conhecimentos intuitivos do usuário possam ser utilizados para a manipulação dos objetos virtuais”. Para Liu e Tan (2016, p. 1), a “Realidade Virtual é um mundo virtual simulado por computador, que fornece aos usuários uma estimulação multi-sensorial, fazendo com que as eles tenham uma experiência de imersão”.

De acordo com Shengyi e Jia (2016), a RV é um tipo de tecnologia abrangente, que compreende diversas outras tecnologias, como a computação avançada, detecção, simulação e microeletrônica, o que permite viabilizar um “mundo virtual” realista com a sensação tridimensional. A RV possibilita a seus usuários utilizarem sistemas computacionais para manipular visualizações de dados complexos de forma imersiva e, dessa forma, em comparação com a interface humano-computador tradicional, a Realidade Virtual realizou um salto qualitativo na tecnologia.

Pesquisadores possuem diferentes opiniões referentes às características da RV, alguns evidenciam a “imersividade”, outros a “interatividade” realizada de forma diferenciada, enquanto outros elencam de forma mais detalhada, considerando mais de um aspecto, como Tahriri et al. (2015), que realizam uma categorização da tecnologia de RV baseada em quatro pilares principais, sendo eles multi-sentido, imersão, interação e autonomia.

No entanto, é pertinente o conceito de Shengyi e Jia (2016), os quais afirmam que as características da tecnologia de Realidade Virtual são definidas como *imersividade*, *interatividade* e *imaginação*. A *imersividade* é a cena virtual criada pelo sistema de RV, possibilitando que os usuários estejam em um ambiente com uma variedade de informações sensoriais, incluindo a imersão visual e imersão auditiva;

*interatividade* é a possibilidade dos usuários relacionarem-se com os objetos que estão na cena virtual e, a cena virtual sendo operável para os usuários; *imaginação* é a possibilidade do cenário virtual satisfazer o requisito subjetivo dos usuários e, um ambiente subjetivo é criado de acordo com a intenção do usuário.

A tecnologia de RV pode, de forma vívida, mostrar o conteúdo de ensino, criando um ambiente de aprendizagem envolvente, possibilitando melhorar a produtividade dos estudantes no domínio de conhecimentos e habilidades, otimizando o processo de ensino, melhorando sua qualidade e estimulando a motivação dos alunos. Também, permite aos professores maior facilidade para expressar suas ideias e conteúdos de ensino, proporcionando aos alunos um cenário mais intuitivo e compreensível. Como afirma Dong (2016, p. 119), “a profunda integração da tecnologia de RV e educação é a tendência de desenvolvimento futuro da informação na educação”.

Estudos demonstram que modelos computacionais tridimensionais e ambientes virtuais despertam e incentivam a motivação e o envolvimento dos estudantes no processo de ensino (RONDON-MELO e ANDRADE, 2016). Segundo Braga (2001), percebe-se que o aluno, estando imerso, poderá desenvolver um comportamento natural e intuitivo, possibilitando receber respostas ideais às suas ações, pois ele buscará agir, por meio de interações, da mesma forma que agiria no mundo real.

Nos últimos anos a RV tem sido amplamente aplicada em muitos campos, tais como planejamento urbano, projetos de pontes e estradas, simulação industrial, restauração de monumentos, ensino e aprendizagem, entre outros. Nestes últimos, a RV não só ajuda a melhorar a qualidade do ensino, mas também auxilia os alunos a ganharem sentimentos e experiências imersivas (ZHANG e LIU, 2016).

Como exemplo, cita-se o trabalho de Tsaramirsis et al. (2016) que, utilizando tecnologias de Realidade Virtual, buscou simular atividades de sala de aula, oferecendo uma experiência de aprendizagem à distância aos alunos, permitindo a estes participar de palestras, fazer perguntas aos instrutores virtuais e receber respostas pré-armazenadas ou geradas em tempo real. A principal diferença entre a abordagem tradicional, como material escrito ou palestras em vídeo é a geração da sensação de que o aluno está realmente presente na sala de aula, bem como a interação em tempo real entre o instrutor virtual e os demais estudantes. Assim, após

avaliações, observou-se maior capacidade de compreensão dos problemas propostos, associado ao estímulo de sentimentos, como a alegria.

Outro exemplo é apresentado por Dong (2016), que demonstra um caso de estudo de uma aula de geografia onde o professor espera que os alunos compreendam a composição do sistema solar. No modo de ensino habitual, o professor explica o conhecimento de geografia escrito nos livros didáticos ou por meio de vídeos. Contudo, no modelo apresentado pelo autor, a sala de aula utiliza a tecnologia de RV e o uso de recursos de RV imersivos, permitiu que os alunos entrassem no ambiente virtual, visualizassem livremente a composição e o funcionamento do sistema solar, imitassem a caminhada no espaço e, finalmente, tivessem uma sensação mais intuitiva e obtivessem uma melhoria na aquisição do conhecimento.

Já no âmbito do ensino de estruturas moleculares a RV é uma tecnologia que pode proporcionar um ambiente mais intuitivo de aprendizagem. De acordo com Stone et al. (2016a), o campo de visualização molecular tem sido historicamente um dos primeiros a adotar algoritmos de alta qualidade e, técnicas de visualização imersiva (RV), como um meio de melhorar a percepção estrutural e o raciocínio espacial, sendo útil para o estudo da mecânica molecular.

Dessa forma, fazendo uso da RV como uma abordagem diferenciada de ensino, é possível, segundo Stone et al. (2016b), oportunizar uma visualização e interação molecular mais envolvente. Assim, possibilitaria, por exemplo, em um cenário imersivo, a utilização de sombras, iluminação de ambiente, profundidade de campo e, transparência de alta qualidade, que são particularmente interessantes para o estudo de complexos biomoleculares, como as estruturas moleculares.

Outra possibilidade é utilizar a Realidade Aumentada como uma abordagem diferenciada de ensino, permitindo que objetos do mundo real sejam combinados com elementos virtuais, possibilitando a interatividade com estes em tempo real. Assim, a seguir, é apresentada a seção dirigida à RA como forma de representar e interagir com modelos moleculares 3D.

#### 2.4. REALIDADE AUMENTADA E ESTRUTURAS MOLECULARES 3D

A Realidade Aumentada é uma tecnologia emergente que visa mesclar digitalmente o "mundo cotidiano". Por meio desta tecnologia é possível produzir

objetos digitais no mundo real como se fossem objetos reais (LIBERATI, 2015). Segundo Azuma (2001), a RA pode ser definida como sendo uma variação da RV. Enquanto, esta busca a completa imersão do usuário em um ambiente artificial, a RA mantém o usuário no mundo real, inserindo objetos virtuais sobrepostos ou combinados com o mesmo.

A RA é entendida como um acréscimo visual no mundo real (visto pelo usuário), onde a imagem gerada por computador melhora a imagem real com informações adicionais. Além de combinar os mundos real e virtual, um sistema de RA também deve possibilitar a interação em tempo real e controlar ambos os objetos, reais e virtuais, no espaço tridimensional (MIHELJ, 2013).

Ela permite que o usuário interaja em tempo real, com um mundo “aumentado”, dificultando a distinção entre o ambiente real e virtual. A RA propicia um aumento da percepção humana por meio do acréscimo de informações não detectadas diretamente pelos sentidos naturais (LAHR et al., 2004). Nela, objetos virtuais são introduzidos e posicionados na cena real de acordo com a posição relativa de quem está observando. De acordo com Utiyama e Kirner (2004, p. 9):

Quando a interface de RA utiliza as mãos como elemento de interação, além de permitir a sobreposição de objetos virtuais no mundo real, ela possibilita a manipulação desses objetos com as próprias mãos, tornando viável o desenvolvimento de inúmeras aplicações que beneficiam o treinamento humano, motivando mais o usuário para as tarefas a serem cumpridas.

Segundo Haller (2006), a utilização da RA tem como principal objetivo desenvolver tecnologias que possibilitem a fusão em tempo real do conteúdo virtual, originado por computador, com o mundo real. Ao contrário da RV, que imerge completamente os usuários em um ambiente sintético, a RA permite que o usuário veja objetos virtuais tridimensionais sobrepostos aos objetos do mundo real.

Portanto, a RA complementa a realidade, permitindo que o usuário tenha a impressão de que os objetos reais e virtuais coexistem no mesmo espaço. O termo “Realidade Aumentada” refere-se ao enriquecimento do mundo real com um mundo virtual complementar, onde, a informação visual e objetos tridimensionais estão ligados ao ambiente físico (FERDINAND et al., 2005).

Existem diversas formas de categorizar os sistemas de RA, uma delas é justamente um dos fatores de diferenciação desses sistemas, que é o aspecto da mobilidade. Por isso, segundo Grubert et al. (2016), os sistemas de RA existentes

podem ser divididos em sistemas RA estacionários (microcomputador) e sistemas RA móveis. Logo, de acordo com Ibáñez et al. (2016, p. 46), é possível identificar dois tipos de aplicações de RA, ou seja, RA com base em imagem e com base na localização:

O primeiro exige rótulos específicos para registrar a posição dos objetos em 3D na imagem do mundo real, este último utiliza sistemas de posicionamento global (GPS) para identificar a localização de objetos reais. Através da detecção de um marcador ou marcador de posição, um sistema de RA sobrepõe informação gráfica digital (vídeo, imagem ou modelos 3D) na parte superior do mesmo modo que o objeto digital parece estar colado a um objeto real. O usuário pode observar o objeto digital por meio de um display (telefone celular, *tablet*, microcomputador, óculos de RA) a partir de diferentes perspectivas.

Marcadores são imagens geralmente impressas em superfícies planas, sendo que o desenho (símbolo), usualmente, é contornado por uma borda quadrangular. Dessa forma, a imagem é capturada por um dispositivo e, na sequência, o *software* identifica e processa esses padrões identificados referentes à imagem desses marcadores, calculando e mantendo a perspectiva em relação ao dispositivo.

Assim, é renderizada a imagem final, contendo o marcador com a inclusão do objeto virtual. A Figura 10 apresenta um exemplo de RA, na qual à direita é possível visualizar a imagem de um marcador sobre a mesa; e, à esquerda, um dispositivo móvel, capturando visualmente e continuamente o ambiente, sobrepondo o marcador com a imagem do objeto virtual.

Figura 10 – Exemplo de RA contendo marcador e dispositivo móvel



Em sistemas de RA ocorre uma relação bastante íntima entre os objetos físicos e os objetos virtuais, sendo que os primeiros são capazes de serem enriquecidos por meio de informações adicionais, possibilitando que esta condição seja um complemento extremamente envolvente e benéfico para o processo educativo (CADAVIECO, 2014). Tecnologias, como a RA, têm modificado o cenário de ensino e aprendizagem de uma forma mais inovadora e interessante (VIJAY et al., 2016).

A RA na educação tem como principal intuito proporcionar uma rica experiência educacional, auxiliando no processo de compreensão de modelos virtuais, disponíveis em determinado espaço e, utilizados como materiais de aprendizagem no mundo real. Estes modelos podem apresentar aos usuários uma rápida e profunda experiência multimídia aumentada, durante suas interações com o ambiente do mundo real (MAITI, 2016).

Conforme Farias, Dantas e Burlamaqui (2011), a RA pode ser utilizada como uma ferramenta diferenciada de apoio à atividade docente. Ela reforça a percepção de alunos e enfatiza a informação do que não é percebido diretamente pelo uso de seus próprios sentidos. Kaufmann (2006) complementa, afirmando que a utilização da realidade virtual, bem como de técnicas de RA, pode influenciar de forma positiva no processo de aprendizagem.

De acordo com Lau (2012), os *softwares* de RA são utilizados em tempo real envolvendo usuários e oferecendo-lhes a experiência do mundo real com interfaces virtuais. Eles têm sido aplicados em áreas como fabricação, médica, turismo, jogos e educação. Nesta, a RA possibilita a adição de informações contextuais, o que melhora a compreensão, especialmente nos campos da biologia molecular.

Sendo assim, a RA surge, possivelmente, como instrumento tecnológico facilitador do processo de compreensão de modelos tridimensionais moleculares, proporcionando um cenário com maior intuitividade e, simultaneamente, aumentando a capacidade de interatividade e compreensão dos usuários com os mesmos.

Estes modelos moleculares são empregados principalmente no campo da modelagem molecular, onde são utilizados como meio de compreensão de estruturas e comportamentos moleculares, por cientistas e educadores. Assim, no próximo capítulo apresentam-se exemplos de sistemas direcionados à representação de modelos moleculares 3D e, que utilizam interface de Realidade Aumentada.





### 3. TRABALHOS CORRELATOS

Com o objetivo de analisar a existência de trabalhos semelhantes ao proposto por esta pesquisa, realizou-se uma pesquisa bibliográfica buscando por sistemas desenvolvidos no campo da modelagem molecular utilizando Realidade Aumentada. Para tanto, foram desconsiderados protótipos ou trabalhos incompletos, concentrando-se somente na identificação de pesquisas completas.

Como não foram encontrados trabalhos que contemplassem a busca, esta foi refeita, tornando-a mais abrangente, buscando por qualquer tipo de sistema que fizesse uso da Realidade Aumentada no trabalho com moléculas e, dessa forma, foram encontrados alguns sistemas que serão apresentados neste capítulo. É importante observar que a maior parte das características dos trabalhos foi descrita a partir de suas respectivas publicações, contudo, alguns aspectos não se encontravam explícitos e como não foi possível efetivar o acesso aos sistemas, foram fundamentados por meio de inferências.

#### 3.1. EDUC-AR

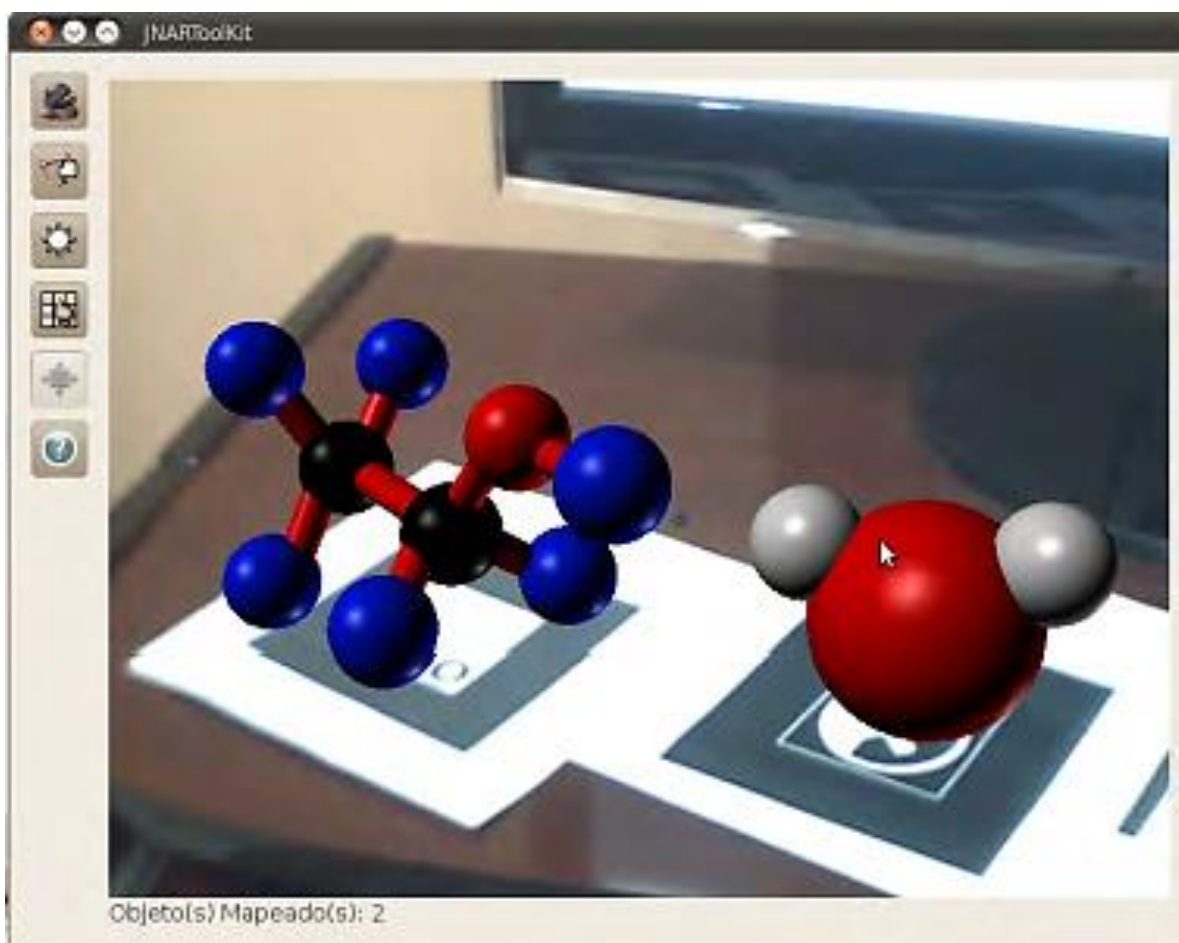
Farias, Dantas e Burlamaqui (2011) desenvolveram um sistema nomeado Educ-AR, que permite ao professor (usuário final) criar e salvar aulas utilizando RA, sem a necessidade de possuir conhecimento sobre programação, aplicações de RA ou modelagem 3D. Possui uma base de dados onde ficam armazenadas as informações referentes aos professores cadastrados, aulas disponíveis, modelos 3D e associações entre os marcadores e modelos, sendo esta base de dados preenchida por meio de um portal *Web*.

O sistema permite dois modos de interação: por teclado e por marcador. A interação por meio do teclado ocorre quando o professor pressiona qualquer uma das teclas pré-determinadas no sistema. A interação por marcador ocorre quando um marcador especial, denominado marcador de interação (peculiar deste sistema), é colocado próximo de um marcador padrão. O marcador de interação não exibe modelos, mas o sistema ao perceber sua presença realiza ações nos modelos virtuais, que estão sendo exibidos em marcadores próximos. O professor pode definir qual marcador será usado como marcador de interação, bem como definir quais ações serão realizadas por ele.

Assim, por exemplo, o professor poderá relacionar o modelo virtual de uma molécula de água com o marcador 01. Na sequência, deve definir o marcador 02 como sendo o marcador de interação e, sua ação de interação, sendo a de aumento de escala (ainda poderia definir outras ações de interação como rotação, animações, etc.). No momento em que o professor posicionar o marcador 01 na frente da câmera, o sistema reconhecerá o marcador e, sobre ele, será exibido o modelo virtual referente a uma molécula de água.

Caso o professor necessite de interações específicas com o modelo, poderá expor na frente da câmera o marcador 02 (de interação), neste momento, molécula de água (presente sobre o marcador 01) aumentará de escala. A Figura 11 ilustra a execução do sistema, apresentando o modelo de uma molécula de etanol (esquerda) e, de uma molécula de água (direita), sobrepostos, em dois marcadores impressos em papel.

Figura 11 – Interface do sistema Educ-AR exibindo dois modelos 3D representando moléculas



Alguns fatores limitantes que dificultam sua utilização, principalmente de ordem técnica, podem ser observados no Educ-AR, como a dependência de uma versão compatível do *Java Runtime Environment* (JRE)<sup>17</sup> para viabilizar a utilização do sistema. Esse motivo, segundo Farias, Dantas e Burlamaqui (2011), como resultado do experimento apresentado, demonstrou que 20% dos participantes não puderam completá-lo por não haver uma versão do JRE instalado no computador.

Outro fator está relacionado ao tipo de arquivo utilizado pelo sistema para a descrição dos modelos 3D (no formato MSH<sup>18</sup>), que é pouco conhecido e não é suportado pela maioria dos *softwares* de visualização molecular. Também, observa-se um fator relacionado ao acesso dos usuários ao sistema: alunos não possuem acesso, não há a possibilidade de interagirem com as moléculas por meio da interface de Realidade Aumentada; o acesso é restrito ao professor, que será responsável pela criação das aulas e pela manipulação dos modelos (via marcadores).

Por fim, é perceptível que as aulas são formadas somente pela relação entre os modelos virtuais e seus respectivos marcadores. Pois, basicamente é realizado o cadastro do modelo (não havendo categorias previamente cadastradas, para melhor organizar estes modelos), na sequência estes são relacionados com marcadores e, logo após, as aulas já poderão ser ministradas.

### 3.2. PROTEINSCANAR

O sistema ProteinScanAR foi desenvolvido por Nickels et al. (2012) utilizando Realidade Aumentada, tendo como objetivo específico sua aplicação no ensino médio, dirigido ao campo da biologia molecular. A intenção é permitir a criação de aulas utilizando metodologias simples, mas que tenham o diferencial de serem mais intuitivas e, conseqüentemente, mais atraentes.

Observa-se que o foco do sistema é o usuário final, neste caso alunos e professores, pois tiveram cuidados relativos aos aspectos de projeto, como por exemplo: ser baseado na *Web*, assim utilizando um navegador não há problemas de do local de acesso, tampouco da necessidade da instalação de pacotes de *softwares*

---

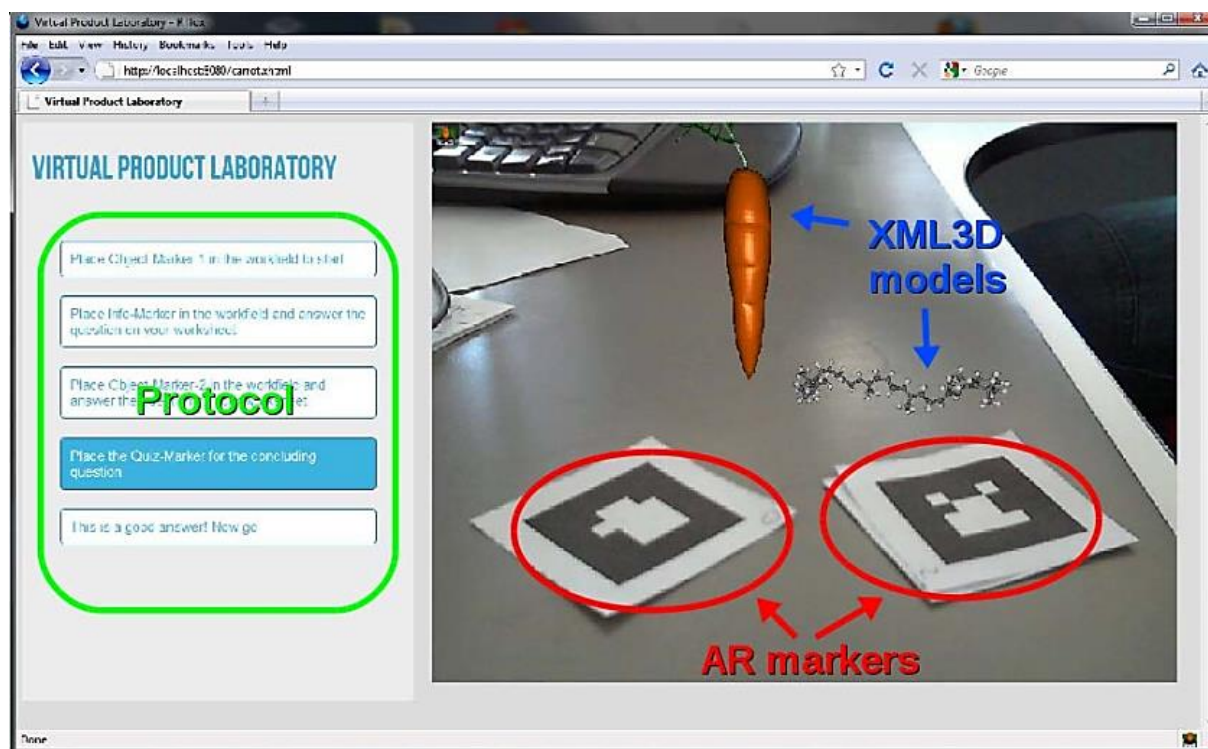
<sup>17</sup> Significa Ambiente de Tempo de Execução Java e, é utilizado para executar as aplicações da plataforma Java no navegador, sendo composto por bibliotecas (APIs) e pela Máquina virtual Java (JVM). Disponível em: <https://www.java.com/>

<sup>18</sup> *Orbiter 3D Mesh File* (MSH) é um tipo de arquivo de descrição de imagens 3D.

em laboratórios, que muitas vezes não são autorizados; ser de fácil uso, onde a criação de um novo cenário é realizado de modo simples, dessa forma viabilizando atividades distintas com cenários diferentes em cada nova aula.

A Figura 12 demonstra o sistema sendo utilizado em uma aula relacionada aos produtos alimentares que desempenham um papel crucial na alimentação. À esquerda está o tipo do protocolo que será escolhido, que geralmente inicia solicitando ao usuário para colocar um determinado marcador de RA no campo de visão da câmera para acionar a próxima ação e avançar para a próxima etapa. Na sequência das etapas é renderizado o objeto referente ao marcador escolhido (neste caso uma cenoura) e logo após, em um segundo marcador, é renderizado o modelo molecular condizente ao primeiro objeto (uma molécula referente ao betacaroteno).

Figura 12 – Interface do sistema ProteinScanAR exibindo dois objetos 3D



Fonte: Adaptado de Nickels et al. (2012).

Como se pode perceber, o ProteinScanAR não foi projetado somente para trabalhar com modelos moleculares, ele suporta qualquer tipo de objeto 3D que esteja no formato XML3D<sup>19</sup>, assim, não possui o foco na modelagem molecular. Também

<sup>19</sup> Linguagem para descrever cenas interativas 3D.

demonstra ser restrito no que tange ao gerenciamento de usuários, incluindo acessos diferenciados por perfis, como alunos, professores, administradores, etc. Outro aspecto perceptível é a ausência de categorias (tipos) para organizar o cadastro de modelos.

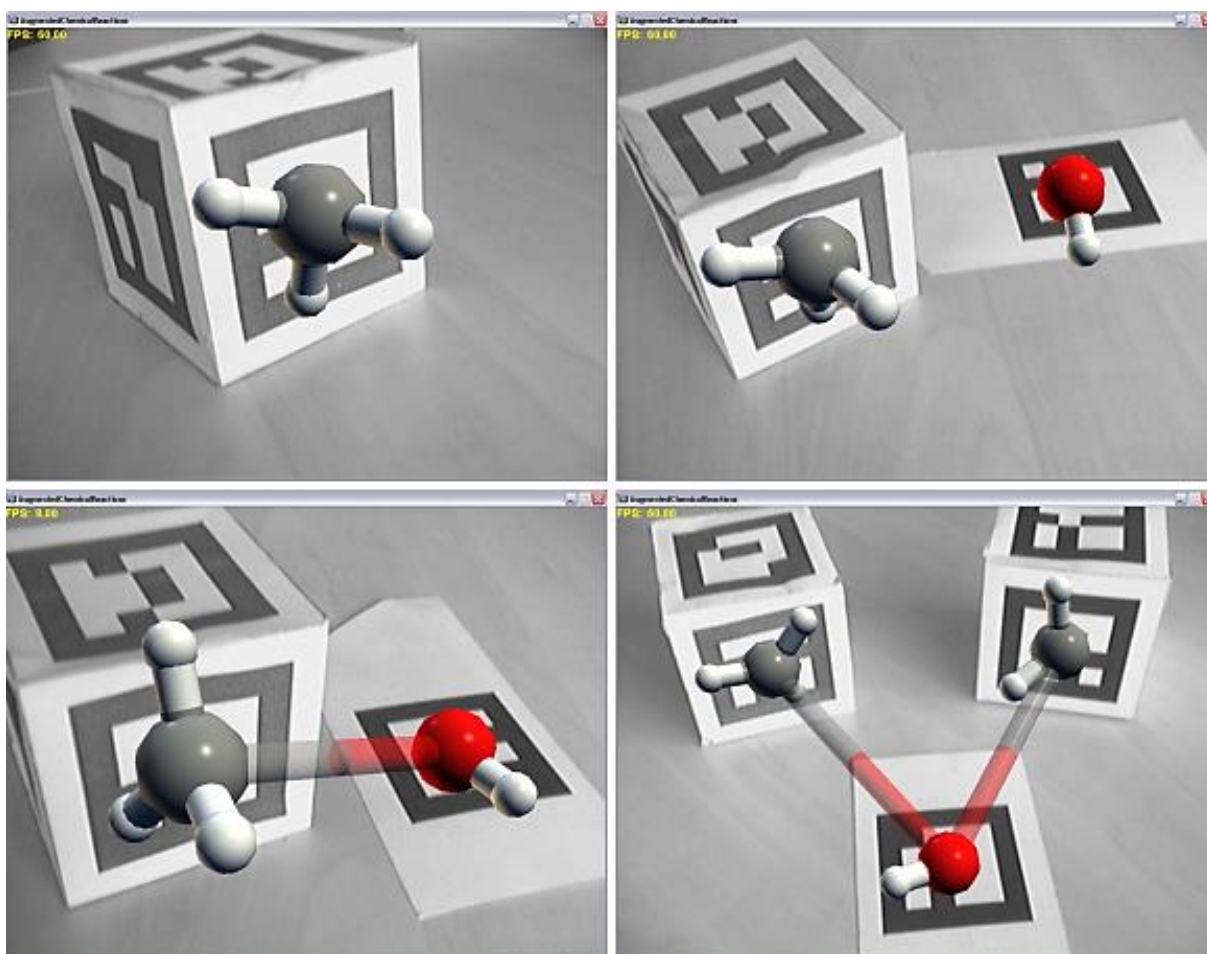
### 3.3. AUGMENTED CHEMICAL REACTIONS

Maier, Klinker e Tönnis (2009) apresentam um sistema com uma característica interessante, não somente dirigido ao trabalho com modelos estruturais moleculares tradicionais, mas também representando reações químicas entre moléculas. O sistema, que utiliza Realidade Aumentada, é denominado *Augmented Chemical Reactions* e busca aumentar a compreensão e facilitar a aprendizagem de reações químicas por meio da visualização e controle de modelos virtuais 3D de moléculas de uma forma intuitiva.

Para melhorar o entendimento do comportamento molecular, o *Augmented Chemical Reactions* também exibe a deformação dinâmica de moléculas, quando estão próximas umas das outras. Neste momento os usuários podem ter uma visão aprimorada referente a certos comportamentos entre as moléculas. A Figura 13 demonstra esse comportamento, sendo que os dois quadros superiores apresentam modelos moleculares sobre marcadores, nos dois quadros inferiores é ilustrada da esquerda para a direita a ligação entre átomos de duas moléculas (caracterizada por um cilindro transparente) e, no quadro seguinte, ligações com três moléculas.

Quando a distância entre um átomo de uma molécula e um átomo de outra molécula é suficientemente pequena e os átomos tem a capacidade de se ligarem, uma possível ligação (representada por um cilindro transparente conectando esses átomos) é renderizada. Na sequência, as moléculas começam a se deformar devido às forças existentes entre as próprias moléculas.

Figura 13 – Interface do sistema *Augmented Chemical Reactions* exibindo a sequência de ações para a criação de ligações químicas



Fonte: Adaptado de Maier, Klinker e Tönnis (2009).

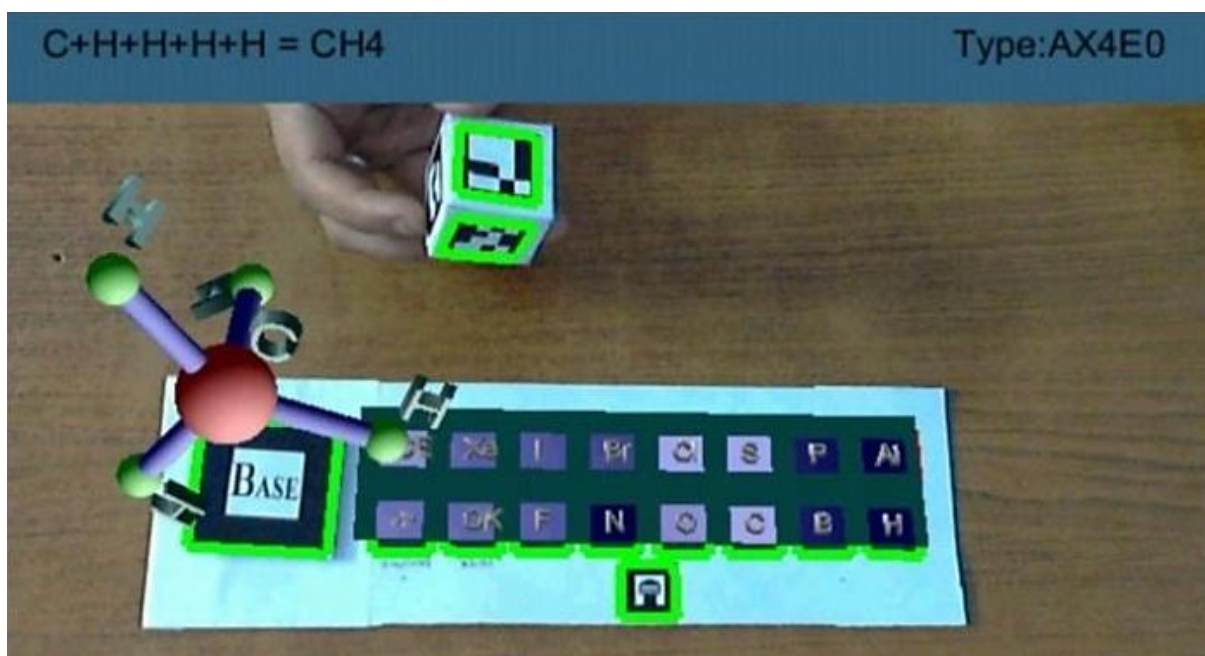
O sistema torna-se interessante pela capacidade de gerar representações gráficas comportamentais que ocorrem durante possíveis ligações entre átomos de diferentes moléculas. Contudo, é limitado em algumas concepções: é possível utilizar somente o modelo *ball and stick* como modelo de representação molecular; torna-se restrito às moléculas pequenas (com um número pequeno de átomos e ligações); como os sistemas apresentados anteriormente, não há perfis de usuários (tampouco gerenciamento destes), não há possibilidade de cadastrar os modelos em categorias (buscando melhorar a organização), bem como não é possível trabalhar com criações de aulas (e definir conteúdos).

### 3.4. AUGMENTED CHEMISTRY: INTERACTIVE EDUCATION SYSTEM

O trabalho realizado por Singhal et al. (2012) apresenta a construção de um sistema utilizando Realidade Aumentada com o intuito de proporcionar uma maneira eficiente de visualizar e interagir com moléculas possibilitando uma melhor compreensão das relações espaciais entre essas, bem como das reações químicas. Assim, o projeto objetiva essencialmente a ajudar a aumentar a compreensão da modelagem química 3D e dos arranjos estruturais moleculares no espaço.

O sistema utiliza o modelo VSEPR<sup>20</sup> como ferramenta na predição da geometria das moléculas, ou seja, como meio de prever a forma na qual a molécula está disposta no espaço. Os usuários podem construir intuitivamente as estruturas moleculares com base em suas fórmulas químicas, por meio de um teclado com marcadores representando elementos da tabela periódica, sendo que, ao selecionar um elemento no teclado, o mesmo é adicionado na molécula existente. A Figura 14 ilustra o modelo molecular 3D da molécula CH<sub>4</sub>.

Figura 14 – Interface do sistema apresentado no trabalho *Augmented Chemistry: Interactive Education System*



Fonte: (SINGHAL et al., 2012).

<sup>20</sup> *Valence Shell Electron Pair Repulsion* (VSEPR) é um modelo utilizado na Química para prever a forma de moléculas individuais em relação à máxima distância que os pares de elétrons compartilhados e não compartilhados devem manter na organização da nuvem de elétrons ao redor do átomo central.

A seleção de cada elemento no teclado é realizada por meio de uma luva contendo um LED<sup>21</sup> no dedo indicador. A molécula é sempre renderizada sobre o marcador chamado “Base” e a interação ocorre por meio de um cubo que possui três marcadores impressos em três lados distintos (cada um representando um eixo: x, y e z), dessa forma o modelo molecular gira de acordo com os marcadores visíveis pela câmera. Caso dois marcadores estiverem visíveis pela câmera em um momento, o modelo irá girar em dois eixos; caso três marcadores estiverem simultaneamente visíveis, o modelo irá girar nos três eixos.

É notório que existem diversas limitações neste sistema, por exemplo, a necessidade de o ambiente ter iluminação adequada, pois é grande a quantidade de informações que devem ser captadas pela câmera de forma simultânea e, havendo falha na captura de qualquer informação, a renderização ou a interação com o modelo poderá ser prejudicada.

Outro fator limitante é a incapacidade de trabalhar com estruturas moleculares um pouco mais complexas (com um quantitativo maior de átomos) como, por exemplo, a molécula do benzeno ( $C_6H_6$ ) e da cafeína ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ). Observa-se, ainda, que o sistema *Augmented Chemical Reactions* é muito restrito no que tange aos modelos de representação molecular (é possível utilizar somente o modelo *ball and stick*); também não é possível cadastrar modelos moleculares ou categorias para estes modelos; não há viabilidade de realizar cadastros de usuários ou a criação de aulas etc. A seguir é evidenciado o diferencial do Sistema MMAR frente aos trabalhos correlatos apresentados, com o intuito de enfatizar sua contribuição.

### 3.5. DIFERENCIAL DESTE TRABALHO

Esta pesquisa objetiva analisar as possíveis influências interativas, intuitivas e motivacionais, proporcionadas por um ambiente diferenciado para o ensino de estruturas moleculares tridimensionais, por meio do desenvolvimento e aplicação de um sistema *Web* dirigido à modelagem molecular tridimensional, dispondo de uma interface de RA. O diferencial deste trabalho está relacionado ao conjunto de características desejáveis disponibilizadas no mesmo sistema (MMAR), que são demonstradas no Quadro 1, juntamente com a relação das principais características de cada um dos sistemas apresentados nas seções anteriores.

---

<sup>21</sup> *Light Emitting Diode* (LED) é um componente eletrônico semicondutor que possui a propriedade de transformar energia elétrica em luz.



Quadro 1 – Relação das características desejáveis entre os sistemas analisados e o Sistema MMAR  
(continua)

Item	Características	<i>Educ-AR</i>	<i>Protein ScanAR</i>	<i>Augmented Chemical Reactions</i>	<i>Interactive Education System</i>	<i>MMAR</i>
1	Acesso via navegador (multiplataforma).	X	X			X
2	Independência de complementos (JRE).		X	X	X	X
3	Foco na modelagem molecular.	X			X	X
4	Importação de modelos moleculares em padrão amplamente utilizado.					X
5	Suporte a moléculas com um número elevado de átomos.	X	X			X
6	Uso de categorias para organizar o cadastro dos modelos moleculares.					X
7	Viabilidade de relacionar o modelo molecular com seu <i>software</i> de origem.					X
8	Utilização de perfis de usuários (administrador, professor, aluno...).					X
9	Possibilidade de organizar usuários em grupos.					X
10	Possibilidade de cadastros de moléculas, de forma completa (com resumos, descrições, imagem, etc.).					X

Quadro 1 – Relação das características desejáveis entre os sistemas analisados e o Sistema MMAR  
(conclusão)

11	Suporte à criação de aulas, relacionando moléculas e grupos.					X
12	Acesso à “Minhas Aulas”: local específico com todas as aulas, permitindo o uso de RA.					X
13	Suporte a relatórios completos do sistema.					X
14	Suporte a <i>logs</i> de acesso ao sistema.					X

Fonte: Autor.

Considerando o item 1 do Quadro 1 é possível observar que o Sistema MMAR, assim como o Educ-AR e o ProteinScanAR, é acessado via navegador, caracterizando-o como um sistema independente de plataforma ou multiplataforma. Segundo Brookshear (2013), um sistema multiplataforma é independente, tanto do projeto do sistema operacional quanto do projeto de *hardware* de máquina, o que possibilita maior flexibilidade de utilização.

Também é perceptível ao analisar o item 2 do Quadro 1, que diferentemente do Educ-AR, que possui a dependência de uma versão compatível do *Java Runtime Environment* (JRE) para viabilizar sua utilização, o Sistema MMAR independe de qualquer complemento para ser usado. No item 3 do Quadro 1, verifica-se que o Sistema MMAR concentra-se exclusivamente na modelagem molecular, já os sistemas ProteinScanAR e *Augmented Chemical Reactions* não foram projetados com o foco na modelagem molecular. O primeiro pode ser utilizado para a manipulação de qualquer tipo de objeto (incluindo moléculas), já no segundo pode-se trabalhar com moléculas, mas a essência são as reações químicas.

Referente ao item 4 do Quadro 1, verifica-se que, distintivamente do Educ-AR, que suporta somente modelos descritos no formato MSH, do ProteinScanAR que utiliza o formato XML3D, do *Augmented Chemical Reactions* e do sistema apresentado no trabalho *Augmented Chemistry: Interactive Education System*, que

não possuem a capacidade de importar modelos, o Sistema MMAR possibilita a importação de qualquer tipo de modelo que esteja no padrão X3D. Dessa forma, qualquer usuário poderá utilizar o *software* de modelagem molecular com o qual possui mais afinidade para exportar a molécula no padrão X3D e, depois, importá-la no Sistema MMAR.

O Sistema MMAR suporta modelos moleculares de diversos tamanhos (independe do número de átomos), sendo que a limitação existente está no equipamento que o usuário utiliza; já o *Augmented Chemical Reactions* e o sistema apresentado no trabalho *Augmented Chemistry: Interactive Education System*, são restritos aos pequenos modelos moleculares (item 5 da Tabela 1).

Observando os itens de 6 a 14 do Quadro 1, percebe-se que, diferentemente de todos os sistemas apresentados, o Sistema MMAR suporta: o uso de categorias para melhor organizar o cadastro dos modelos moleculares, bem como relacionar o modelo molecular com seu *software* de origem (*software* que o usuário utilizou para exportar o modelo); usuários classificados em perfis (administrador, professor e aluno), havendo ainda a possibilidade de personalização de acesso de cada perfil; organização dos usuários em grupos; possibilidade de realizar cadastros de moléculas, de forma completa, sendo compostas por resumo, descrições (por meio de editor *Web*), imagem, arquivo .X3D, etc.; criação de aulas, também de forma completa, abrangendo resumo e descrições (por meio de editor *Web*), vinculando grupos e moléculas; acesso à “Minhas Aulas”, que conterà especificamente todas as aulas que o usuário criou ou possui acesso, permitindo o uso de RA; suporte a relatórios completos do sistema, por meio de gráficos do tipo “*pie*”<sup>22</sup> e “*doughnut*”<sup>23</sup>, bem como o suporte a *logs* de acesso ao sistema.

Assim, para possibilitar o desenvolvimento do Sistema MMAR e, ainda, buscando contemplar as características anteriormente mencionadas de forma adequada, no próximo capítulo são apresentados os aspectos metodológicos utilizados para a realização do projeto, do desenvolvimento, da aplicação e da avaliação do sistema.

---

<sup>22</sup> Gráficos do tipo “*pie*” ou pizza, são gráficos onde todas as “fatias” são distanciadas do centro da pizza, exibindo cada grupo de dados como uma “fatia” independente no gráfico.

<sup>23</sup> Gráficos do tipo “*doughnut*” ou rosca, são gráficos semelhantes aos gráficos do tipo “*pie*”, contudo, possuem um espaço aberto no centro.



#### 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os aspectos teóricos e conceituais referentes à metodologia científica, introduzindo, brevemente, alguns conceitos básicos de pesquisa e, na sequência, são detalhadas as particularidades condizentes à metodologia de desenvolvimento e de avaliação do sistema.

Em relação à abordagem utilizada nesta pesquisa, pode ser considerada como sendo quali-quantitativa. Qualitativa, pois trabalha com dados e com informações em busca de seus significados, tendo como base a percepção do fenômeno dentro do seu contexto (TRIVIÑOS, 1987). Do ponto de vista de pesquisa quantitativa, por ser caracterizada pela prática da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento destas por meio de técnicas e recursos estatísticos (RICHARDSON, 1999).

No tocante à natureza, esta pesquisa é conceituada como aplicada, pois possui o intuito de gerar conhecimentos para a aplicação prática, voltados à solução de problemas específicos (GERHARDT e SILVEIRA, 2009). Quanto aos objetivos, enquadra-se como uma pesquisa exploratória, que busca desenvolver e aplicar estudos indispensáveis para diagnosticar situações, explorar alternativas ou descobrir novas ideias (ZIKMUND, 2000).

Inicialmente, uma pesquisa bibliográfica foi realizada, contemplando temas como Visualização Científica, Realidade Virtual na educação, a aplicabilidade da Realidade Aumentada como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem, bem como a Modelagem Molecular no ensino. De acordo com Dresch (2015), a pesquisa bibliográfica permite que o pesquisador tenha contato com determinado assunto que em algum momento tenha sido dito ou escrito, possibilitando assim, um estudo perante novo enfoque e novas descobertas sobre o assunto.

Após, para apresentar a relevância e contextualizar esta pesquisa, buscou-se por trabalhos correlatos que igualmente conceberam e aplicaram sistemas com interface de Realidade Aumentada no trabalho com estruturas moleculares 3D. Dessa forma, possibilitou-se também analisar os principais aspectos de cada um deles, permitindo elencar características que seriam desejáveis em um sistema que utilizasse RA dirigido à modelagem molecular. Em relação à concepção do Sistema MMAR, foi adotada a metodologia apresenta na seção a seguir.

#### 4.1. METODOLOGIA INTERAD

Para o desenvolvimento do Sistema MMAR foi utilizada a metodologia Interad - Interfaces Interativas Digitais Aplicadas à Educação (PASSOS, 2011). Segundo a autora, é por meio da interface que ocorre a interação entre aluno e conteúdo, consequentemente, a interatividade deve ser devidamente ajustada às necessidades do aluno.

A Interad foi projetada para o desenvolvimento de interfaces para materiais educacionais digitais (MEDs) e, considerou-se apropriada para o desenvolvimento deste projeto, pois contém etapas referentes ao planejamento e à concepção de *softwares* educacionais, sendo dirigida à construção de interfaces e interações do sistema. A metodologia Interad é composta pelas 5 fases de desenvolvimento:

- a) **Compreensão:** é a primeira fase da metodologia, tendo o foco na pesquisa de informações pertinentes à elaboração do projeto de interface de MED. É composta pelas etapas: levantamento do tema; definição do público-alvo, que objetiva delimitar o público que será atingido; objetivos pedagógicos, que busca identificar os conhecimentos que se procura desenvolver no aluno; pesquisa institucional, que define e descreve o local em que os usuários estão, onde o MED será disponibilizado; contexto educacional, que determina a modalidade educacional, como Educação a Distância ou presencial; necessidade do aluno, que busca conhecer o aluno, saber seu conhecimento em relação ao assunto, suas habilidades tecnológicas, suas motivações, etc.; expectativa do solicitante, que realiza o levantamento das expectativas do responsável, como um professor ou um representante da Instituição que pode ser considerado um “cliente”, pois refere-se a quem, em última instância, aprovará o material e, por último, a busca de subsídios de projeto, realizado por meio de levantamento bibliográfico relevante ao projeto;
- b) **Preparação:** nesta fase busca-se a definição das funcionalidades do projeto, considerando as informações da fase anterior. É composta pelas seguintes etapas: desenho de conteúdo, que identifica de forma completa o conteúdo que será apresentado pelo MED; produção da lista de requisitos, responsável pela listagem das funcionalidades, bem como pela intenção de identidade visual do MED (em formato textual); recursos humanos (RH),

tecnológicos e financeiros, pois possuindo a lista destes requisitos torna-se viável visualizar o projeto identificando as necessidades e, logo, confirmando a viabilidade de execução deste; cronograma é a última etapa da fase de preparação, onde são estabelecidas as tarefas, identificados os responsáveis e delimitados os respectivos períodos de execução;

- c) **Experimentação:** esta fase refere-se à estrutura do projeto, trata-se do desenvolvimento do modelo conceitual de interface, o qual é composto pelas etapas: modelo conceitual, sendo o entendimento que o usuário terá de cada elemento gráfico, isto é, dos signos que compreendem a interface; diagrama MED, são os relacionamentos entre o conteúdo e as funcionalidades do sistema, apresentados por meio de uma representação visual; arquitetura, é determinada pelo fluxo da informação e, segundo Garret (2003), pode ser apresentada em quatro configurações diferentes, sendo elas estrutura sequencial, hierárquica, matricial e orgânica; fluxo de tarefas, é a descrição das ações que os usuários precisarão realizar (em um MED) para executar determinada atividade; definição e reajuste, prevê refazer as etapas, havendo necessidade;
- d) **Elaboração:** trata da escolha dos tipos de interatividade, de acordo com os objetivos pedagógicos e o perfil do usuário. É composta pelas etapas: definição do tipo de interatividade, onde devem ser escolhidos quais os tipos de interatividade são mais adequados aos objetivos do projeto; malha construtiva, que permite uma melhor organização visual da interface; malha estrutural, conhecida também como *wireframe*, que possibilita a definição da distribuição dos elementos gráficos de forma hierárquica; e desenho de navegação, que estabelece a movimentação do usuário pelas diferentes interfaces do sistema;
- e) **Apresentação:** é a última fase da metodologia, foca na definição visual detalhada da interface e nela ocorre a finalização do projeto. É composta pelas etapas: identidade visual, que se refere à marca do MED desenvolvido; design visual, que consiste na conclusão propriamente dita do projeto de interface gráfica e seu desenvolvimento; e avaliação, onde, baseada em critérios definidos é realizada a análise do MED desenvolvido.

A Figura 15 ilustra um resumo da metodologia Interad, composta por suas fases e respectivas etapas, conforme apresentado por Passos (2011). Ainda, observando a Figura 15, percebe-se que há uma sequência numérica de 1 a 5, que corresponde justamente à ordem de execução de cada fase, bem como a sequência numérica de das etapas (de 1 a 24), que representa a ordem de execução de cada etapa.

Figura 15 – Metodologia Interad



Fonte: (PASSOS, 2011).

Um aspecto importante a ser observado referente à metodologia Interad, é que ela não apresenta uma abordagem específica em relação à etapa de avaliação, de qual procedimento empregar, porém, evidencia que é necessário realizar a avaliação das interfaces. Dessa forma, nas próximas seções serão apresentadas, respectivamente, as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento, bem como a abordagem de avaliação que será utilizada, sendo ambas relacionadas à fase de Apresentação.



## 4.2. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Para viabilizar o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, atendendo, de forma adequada, todas as funcionalidades apresentadas, bem como as características relacionadas à interface gráfica, foram utilizadas inúmeras tecnologias, com diferentes finalidades, mas estando totalmente integradas e sintônicas.

Para a implementação das funcionalidades foi utilizada a linguagem de programação PHP<sup>24</sup> (acrônimo recursivo para "*Hypertext Preprocessor*"), pois possui várias características benéficas ao desenvolvimento *Web*, como o suporte aos conceitos de orientação a objetos (SEBESTA, 2009). Tais conceitos permitem a reutilização de códigos de programação, possibilitando uma otimização do tempo de desenvolvimento e, ainda, viabiliza a organização e aprimoramento do código.

Além de ser gratuita (e de código aberto<sup>25</sup>), a linguagem PHP é uma linguagem de programação de domínio específico, ou seja, destina-se exclusivamente (embora tenha variantes de menor expressão) ao campo de desenvolvimento de soluções *Web*. Já para possibilitar o armazenamento dos dados do Sistema MMAR, bem como gerenciamento do acesso, manipulações e organizações dos mesmos, foi utilizado o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD<sup>26</sup>) MySQL<sup>27</sup>, que também possui licença gratuita.

Buscando tornar a interface do sistema responsiva, isto é, permitir que ela se ajuste automaticamente às diferentes resoluções de telas existentes, independentemente do dispositivo (como *smartphones*, *tablets*, notebooks, desktops, etc.), foi utilizado o *framework* Bootstrap<sup>28</sup>. Dessa forma, poderá aumentar a acessibilidade ao Sistema MMAR; por exemplo, se o usuário estiver acessando o este sistema, por meio de um dispositivo que possui uma tela pequena, automaticamente

---

<sup>24</sup> Disponível em: <http://php.net>

<sup>25</sup> Código aberto (*open source*) é um paradigma de desenvolvimento que proporciona um licenciamento livre referente ao *design* ou à esquematização de um produto, bem como a redistribuição de forma universal desse *design* ou esquema, permitindo a consulta, a análise ou modificação do produto por qualquer pessoa.

<sup>26</sup> Em suma: é o conjunto de *softwares* responsável pelo completo gerenciamento de um determinado banco de dados.

<sup>27</sup> Disponível em: <http://www.mysql.com>

<sup>28</sup> *Framework* HTML, CSS, e *Javascript* para desenvolvimento de projetos responsivos e focados para dispositivos móveis na *web*. Disponível em <http://getbootstrap.com>

os elementos que compõem a interface irão se redimensionar, reagrupar e até mesmo poderão ser substituídos por outros mais apropriados ao tamanho da tela.

Para a estruturação e apresentação das interfaces, como a disposição de textos, campos de formulários, imagens, bem como os efeitos dos menus, foi empregado HTML5 (*HyperText Markup Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*), Javascript e jQuery<sup>29</sup>. Já para possibilitar o trabalho com a interface de Realidade Aumentada, integrando-a com as tecnologias apresentadas anteriormente, foi usado o JSARToolKit<sup>30</sup>. Logo após o desenvolvimento do sistema, foi efetuada sua aplicação e, na sequência, foram realizadas avaliações, cujas metodologias são apresentadas na próxima seção.

#### 4.3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO

Esta seção objetiva explicar as atividades que foram realizadas, bem como os métodos que foram utilizados como referência no que tange ao planejamento da avaliação do Sistema MMAR. Observa-se, ainda, que a metodologia Interad não apresenta uma abordagem específica em relação à etapa de avaliação, de qual procedimento empregar ou como empregar, porém, evidencia que é necessário realizar a avaliação.

Dessa forma, esta pesquisa propôs a aplicação da abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM) para estabelecer os pilares para a realização da avaliação do Sistema MMAR. Segundo Basili, Caldiera e Rombach (1994), a abordagem GQM destina-se a avaliações de *software*, sendo que estas avaliações são orientadas por metas, estabelecidas essencialmente por meio de três elementos (Quadro 2): os objetivos da avaliação, questões sugeridas para se avaliar o *software* e as métricas que serão aplicadas para mensurar os aspectos desse *software*.

---

<sup>29</sup> Biblioteca JavaScript *cross-browser*. Disponível em: <https://jquery.com>

<sup>30</sup> JSARToolkit é um JavaScript *port* para NyARToolkitAS3 e FLARToolKit. Disponível em <https://github.com/kig/JSARToolKit>

Quadro 2 – Relação dos elementos da abordagem GQM

Elementos	Definições
<b>Objetivo</b>	Sua definição abrange os componentes: objeto, propósito, foco, ponto de vista e ambiente.
<b>Questão</b>	Cada objetivo proposto deverá ser avaliado, fazendo uso de, pelo menos, uma questão. Ao que se refere à resposta, deve estar totalmente de acordo com o objetivo.
<b>Métrica</b>	A resposta obtida para cada questão aplicada deve ser mensurada, por meio de métrica quantitativa ou qualitativa.

Fonte: Autor.

Com a abordagem GQM estruturando a metodologia proposta nesta pesquisa, necessita-se contemplar adequadamente os elementos dessa abordagem (Quadro 2), considerando, simultaneamente, atender o objetivo deste trabalho, que inicialmente dirigia-se à avaliação das possíveis influências interativas, intuitivas e motivacionais proporcionadas pelo Sistema MMAR.

Contudo, observa-se que não foram encontradas abordagens que possibilitassem avaliar *softwares* considerando especificamente as influências intuitivas. Assim, optou-se por avaliar a usabilidade, visto que, para Nielsen (1993), a intuitividade é uma das características da usabilidade, que consiste justamente na facilidade de uso apresentada pelo *software*, possibilitando o desenvolvimento de determinado trabalho de forma satisfatória, mesmo sendo realizado por um usuário inexperiente.

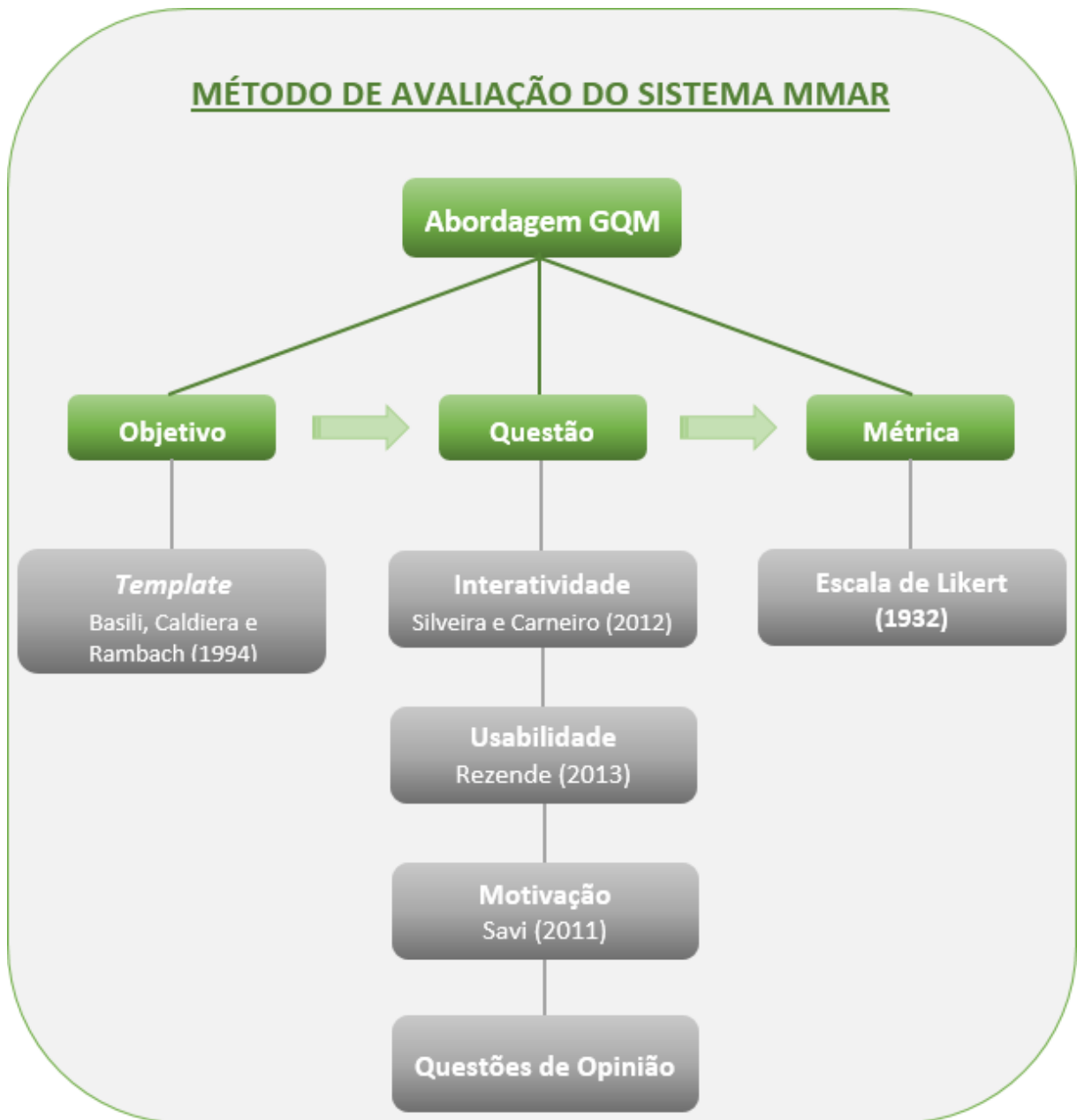
Então, conseqüentemente, a alteração dessa proposta influenciou diretamente na modificação do escopo, tornando o objetivo mais amplo, pois não estará sendo avaliada uma característica (intuitividade) e, sim, uma propriedade mais abrangente. Logo, para a definição de cada elemento da abordagem GQM, serão utilizados os seguintes métodos, conforme a Figura 16:

- a) **Objetivo:** definir metas da abordagem GQM utilizando o *template* proposto por Basili, Caldiera e Rombach (1994);
- b) **Questão:** para a retenção do *feedback* do público-alvo referente aos aspectos de interatividade é utilizada uma adequação das diretrizes relacionadas à interatividade (formando cinco questões fechadas)

propostas por Silveira e Carneiro (2012); já em relação aos aspectos referentes à usabilidade é realizado um ajuste e utilizado o modelo de questionário (com cinco questões fechadas) proposto por Rezende (2013), voltado especificamente à avaliação de softwares educacionais para o ensino de ciências; relativo aos aspectos condizentes à motivação, é aplicado, de forma adaptada, o modelo de questionário (com cinco questões fechadas) sugerido por Savi (2011); para proporcionar maior flexibilidade aos usuários no momento da avaliação, não os deixando restritos às questões fechadas, neste trabalho, como parte da metodologia de avaliação são utilizadas duas questões abertas. Dessa forma, os usuários têm liberdade para relatarem sobre suas concepções, sem estarem limitados às escolhas entre um rol de alternativas e, ainda, de acordo com Mattar (1994), questionários contendo perguntas abertas são interessantes para deixar o respondente mais confortável e, assim, ser mais espontâneo e sincero ao respondê-las;

- c) **Métrica:** é utilizada uma estratégia embasada nos conceitos da escala de Likert (1932).

Figura 16 – Método de avaliação do Sistema MMAR



Fonte: Autor.

Nas próximas subseções são apresentados de forma detalhada cada elemento da abordagem GQM, bem como a definição das metodologias de avaliação propostas para cada um deles.

### 4.3.1. Objetivo

O primeiro grupo de componentes definido pela abordagem GQM (BASILI, 1992) aborda os objetivos que se almeja alcançar pela avaliação do Sistema MMAR. Com o intuito de nortear a proposta desses objetivos foi utilizado o *template* proposto por Basili, Caldiera e Rombach (1994), pois de acordo com Savi (2011), este *template* garante que aspectos fundamentais de uma pesquisa possam ser definidos antes da execução dos demais processos. O *template* GQM utilizado para efetivar a avaliação do elemento objetivo é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – *Template* GQM para avaliação do elemento objetivo do Sistema MMAR

<b><i>Template Goal Question Metric</i></b>	
<b>Analisar</b>	O Sistema MMAR
<b>Com o propósito de</b>	Verificar a hipótese da pesquisa
<b>Com respeito a</b>	Influências referentes à interatividade, à usabilidade e à motivação
<b>Sob o ponto de vista da</b>	Visão do estudante
<b>No contexto de</b>	Alunos da disciplina de Química, do Curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do IF Farroupilha Campus São Borja

Fonte: Autor.

Considerando o Quadro 3, percebe-se a disposição de metas, que são propostas para atingir os objetivos, concentrados em uma camada conceitual. O objetivo em si é o de realizar avaliações para verificar a hipótese da pesquisa e, para tal, é necessário considerar um objeto, que nesse caso é o Sistema MMAR. Ao descrever o foco da avaliação, analisam-se inúmeros aspectos e o principal deles é o ponto de vista, direcionado à percepção do público-alvo e, analisado mediante o contexto (ambiente) em que ocorre.

#### 4.3.2. Questão

Dando continuidade à abordagem GQM, é necessário que sejam descritas as questões condizentes ao que foi definido no elemento objetivo. Nesse momento, fazendo uso de questões para a retenção do *feedback* do público-alvo, empregou-se três abordagens distintas, para contemplar os aspectos referentes à interatividade, usabilidade e motivação.

Em relação à interatividade foi utilizada uma adequação das diretrizes sugeridas por Silveira e Carneiro (2012), cuja essência é a avaliação de objetos de aprendizagem, organizando-as em sete grupos com diretrizes relacionadas à: “Explicitar claramente um objetivo pedagógico”, “Priorizar o digital”, “Prover auxílio aos usuários”, “Proporcionar interatividade”, “Proporcionar interação”, “Fornecer *feedback* constante” e “Ser autocontido”.

Dessa forma, focando especificamente no aspecto interatividade, foi aplicado um formulário com cinco questões fechadas baseado nas diretrizes condizentes à “Proporcionar interatividade”. A determinação e adequação das cinco questões é de acordo com o grau de relevância das diretrizes com esta pesquisa.

Referente à usabilidade, foi empregado um modelo de questionário contendo cinco questões fechadas proposto por Rezende (2013). A abordagem apresentada por Rezende (2013) possui um direcionamento à avaliação de qualidade de *software* educacional próprio para o ensino de ciências, sendo que a avaliação de qualidade está diretamente relacionada a quatro grupos individualizados: “Aspectos de Pedagogia”, “Aspectos de Ensino de Ciências”, “Aspectos de Usabilidade” e “Aspectos de Tecnologia”. Como a proposta é avaliar a usabilidade, foi utilizado, de forma ajustada, o grupo de “Aspectos de Usabilidade”.

Em relação ao aspecto motivação, foi aplicado o modelo proposto por Savi (2011), focado na análise dos efeitos de jogos em seus jogadores, realizando a avaliação de quão positiva essa experiência foi para eles, considerando estratégias de aprendizagem, motivacionais e de experiência de usuários. Como são avaliados aspectos relacionados à motivação, foram utilizadas cinco questões fechadas do formulário sugerido por Savi (2011).

Dessa forma, o elemento questão, da abordagem GQM, é composto pelos modelos, ajustados, propostos por Silveira e Carneiro (2012), Rezende (2013) e Savi (2011), para atender respectivamente os aspectos condizentes à interatividade,

usabilidade e motivação. Conseqüentemente, a retenção do *feedback* dos três aspectos é atendida de forma adequada, por meio de questionários com cinco questões dirigidas a cada um deles.

### 4.3.3. Métrica

De acordo com Basili, Caldiera e Rombach (1994) a abordagem GQM estipula a definição das métricas para avaliação de determinado *software*, que engloba o estabelecimento de um procedimento voltado à coleta de informações (juntamente aos sujeitos que atuam na avaliação) e a determinação de uma estratégia para mensurar as informações coletadas por meio da avaliação.

No procedimento de coleta de informações foram utilizados procedimentos embasados nos conceitos da abordagem de Likert (1932), conhecidos como escala Likert. Esta escala é largamente utilizada, implicando que o participante da pesquisa manifeste seu nível de concordância ou discordância referente à determinada afirmação ou questionamento, por meio da escolha de um ponto ao longo de uma escala contínua pré-determinada.

Dessa forma, cada item do questionário corresponde a uma afirmação relacionada à utilização do Sistema MMAR para os respondentes indicarem se concordam ou discordam da afirmação e, também, informarem o grau de discordância ou concordância em uma escala com valores de cinco pontos com seus respectivos conceitos (Discordo Fortemente, Discordo, Não Tenho Certeza, Concordo e Concordo Fortemente), variando de -2 a +2, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Escala de Likert de pontuação

Escala Likert de Pontuação					
Pontuação	-2	-1	0	+1	+2
Conceito	Discordo Fortemente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Fortemente

Fonte: Adaptado de Likert (1932).

Após a aplicação da escala de Likert (já possuindo os valores), com o intuito de mensurar as informações coletadas, primeiramente para se obter os valores das questões condizentes a cada aspecto (interatividade, usabilidade e motivação), é



calculada a percentagem dos valores das avaliações destas. Na sequência, são considerados os valores percentuais atribuídos a cada resposta (das cinco alternativas da escala de Likert) de todas as questões de determinado aspecto, assim, por exemplo, pode-se identificar qual subcomponente teve maior valor correspondente à resposta “Não Tenho Certeza”. Já as questões abertas não são incluídas nesta escala, sendo avaliadas de forma qualitativa.



## 5. MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA MMAR

Neste capítulo é apresentada a modelagem e o desenvolvimento do Sistema MMAR, utilizando a metodologia Interad, abordada no capítulo anterior, sendo que as fases dessa metodologia, bem como suas respectivas etapas são apresentadas de forma detalhada na sequência.

### 5.1. SISTEMA MMAR

Além das representações realistas (conforme abordado na seção 2.2.1), também existem esforços na busca pela aplicação de diferentes metodologias de interação com os modelos moleculares virtuais, sendo uma delas o emprego de técnicas de Realidade Aumentada, principalmente no que tange aos processos de ensino e aprendizagem, como as utilizadas nos trabalhos de Farias, Dantas e Burlamaqui (2011); Nickels et al. (2012); Singhal et al. (2012) e Maier, Klinker e Tönnis (2009) apresentados no capítulo anterior.

Nesse sentido, o Sistema *Web* proposto, denominado MMAR (*Molecular Modeling with Augmented Reality*), também utilizará recursos de Realidade Aumentada para proporcionar um método diferenciado de interação com os modelos virtuais, buscando analisar as possíveis influências interativas deste método, da usabilidade e da motivação no ensino de estruturas moleculares.

O Sistema MMAR é acessado por meio de navegador e permite três perfis distintos de usuários: administrador, professor e aluno. O sistema ainda possibilita que cada um destes perfis seja passível de uma personalização mais detalhada de seus acessos às seções, isto é, um professor, por exemplo, que está sendo cadastrado, pode ter seu acesso restrito a determinadas seções dentre as seções pré-definidas (por padrão) de seu perfil. O administrador tem acesso a todas as seções do sistema, bem como a todas as funcionalidades; ao professor são permitidas ações condizentes aos cadastros grupos, de alunos, de *softwares*, de categorias de moléculas, de moléculas e de aulas; ao aluno é concedido o acesso aos seus respectivos dados cadastrais e às aulas nas quais seu professor lhe cadastrou.

Primeiramente, é necessário que o administrador cadastre o professor no sistema, logo após, este professor pode cadastrar grupos (de usuários) e, na sequência, cadastrar alunos (já os relacionando com determinado grupo). Em

seguida, o professor é capaz de cadastrar categoria(s) de moléculas, bem como *softwares* (dos quais os arquivos .x3d foram exportados) e, posteriormente, cadastrar moléculas (com seus respectivos arquivos .x3d), vinculando-as a alguma categoria.

No momento da criação de determinada aula, o professor relaciona quais grupos participarão desta aula, bem como as moléculas que serão trabalhadas. A partir desse momento, tanto o professor quanto os alunos que estão presentes no grupo que compõe a aula, podem acessar “Minhas aulas” e, utilizar a interface de Realidade Aumentada para interagir com as moléculas, que foram associadas a esta aula.

Após a breve contextualização histórica dos métodos e das tecnologias utilizadas na representação visual das estruturas moleculares e a apresentação do Sistema MMAR, na sequência, são expostas as fases da metodologia Interad.

## 5.2. COMPREENSÃO

A compreensão, conforme já mencionado no capítulo anterior, é a primeira fase da metodologia, sendo dirigida à pesquisa de informações pertinentes à elaboração do projeto. Nela são abordados o tema, o público-alvo, os objetivos pedagógicos, a pesquisa institucional, o contexto educacional, as necessidades do aluno, expectativas do solicitante e os subsídios projetuais, descritos nas próximas seções.

### 5.2.1. Tema

O tema do projeto é o desenvolvimento de um sistema *Web* para modelagem molecular tridimensional utilizando Realidade Aumentada, com o intuito de oportunizar aos estudantes um ambiente virtual, onde, a interação com os modelos moleculares seja realizada de forma mais natural.

### 5.2.2. Público-alvo

O público-alvo do sistema proposto é formado por estudantes da disciplina de Química do Ensino Médio, que tenham em sua organização curricular conteúdos e estudos referentes às estruturas moleculares.

### 5.2.3. Objetivos Pedagógicos

Os objetivos pedagógicos que devem ser alcançados com o Sistema MMAR são elencados a seguir:

- a) auxiliar o aluno na compreensão de conceitos moleculares utilizando um método de interação com modelos virtuais 3D não convencional;
- b) estimular o aluno, fazendo com que ele perceba que a visualização 3D é uma importante ferramenta na compreensão de estruturas moleculares;
- c) possibilitar o desenvolvimento de estratégias de estudo diferenciadas no ensino de estruturas moleculares;
- d) oferecer uma forma diferenciada de trabalhar com as dificuldades encontradas no ensino de Química relacionadas à “visualização” molecular, constituída, em sua maior parte, por imagens bidimensionais ou estáticas;
- e) incentivar a utilização de interface de Realidade Aumentada no processo de ensino e aprendizagem de estruturas moleculares 3D.

### 5.2.4. Contexto Educacional

As atividades com o Sistema MMAR serão direcionadas às aulas presenciais de Química do Ensino Médio, de forma individual, com o intuito de auxiliar na exploração do conhecimento de estruturas moleculares tridimensionais.

### 5.2.5. Necessidades do Aluno

Em uma sociedade midiaticizada, cresce a importância da mediação tecnológica no processo de ensino e aprendizagem, pois pode promover uma maior aproximação entre o docente e o discente, além de contribuir para o aprendizado da prática de pesquisa e para a resolução de problemas. Ao mesmo tempo, observa-se que ainda é tímido o conhecimento teórico relativo ao ensino mediado pelas tecnologias de informação e comunicação, o que dificulta sua inserção nas práticas pedagógicas do professor em sala de aula.

Assim, com base nessa observação, há necessidade deste projeto, já que na disciplina de Química, quando existe a abordagem voltada às estruturas moleculares

tridimensionais, geram-se dificuldades de compreensão aos alunos, mesmo aos que possuem certo conhecimento em relação aos elementos e ligações químicas. E além da própria complexidade inerente à compreensão às composições estruturais químicas, também, percebe-se a necessidade de sistemas que suportem modelos que tenham maior realismo, proporcionando interações mais naturais, que possibilitem o desenvolvimento da intuitividade e, conseqüentemente, o aumento motivacional.

#### **5.2.6. Subsídios Projetuais**

Para auxiliar no desenvolvimento do Sistema MMAR foi realizada uma revisão bibliográfica, apresentada no capítulo 2, focando na Visualização Científica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e na Modelagem Molecular, evidenciando autores como Liu e Tan, Shengyi e Jia, Azuma, Mihelj, Haller, Utiyama e Kirner, Lau, Leach, Abdul-Wahid entre outros. Também foram realizadas análises de trabalhos correlatos como *Educ-AR*, *ProteinScanAR*, *Augmented Chemical Reactions* e *Augmented Chemistry: Interactive Education System*.

### **5.3. PREPARAÇÃO**

Nesta fase, busca-se a definição das funcionalidades do projeto. Considerando as informações da fase anterior, ela contempla os modelos de funcionalidades e requisitos presentes na interface gráfica projetada, bem como as etapas de desenho de conteúdo, de recursos (humanos, tecnológicos e financeiros) e o cronograma, onde estão estabelecidas as tarefas (com seus respectivos responsáveis e períodos de execução).

#### **5.3.1. Desenho de Conteúdo**

Conforme mencionado no capítulo 4, o Sistema MMAR foi desenvolvido utilizando as seguintes tecnologias: SGBD MySQL, linguagem de programação PHP, *framework* Bootstrap, *Javascript*, HTML5, CSS e JSARToolKit. É acessado via navegador, como Mozilla Firefox ou Google Chrome, caracterizando-se como multiplataforma.

Já em relação ao *layout*, priorizou-se o *design* responsivo, assim o Sistema MMAR permite, por exemplo, que: sua interface gráfica se adapte de acordo com a resolução do dispositivo em que está sendo visualizada; o redimensionamento automático de imagens para que caibam na tela; a ocultação de elementos desnecessários em dispositivos menores, bem como a adequação do tamanho de botões e *links*.

Buscando reproduzir o conteúdo das principais interfaces do Sistema MMAR, de forma simplificada, elaborou-se uma visão global do sistema, demonstrada no modelo de desenho de conteúdo na Figura 18, onde estão representados dez módulos, sendo que alguns descrevem mais de uma interface gráfica:

- a) **Login**: interface inicial, na qual obrigatoriamente os usuários terão que realizar a autenticação para ingressar no sistema;
- b) **Principal (Home)**: após a autenticação o usuário será remetido à interface principal, composta essencialmente por informações relativas ao sistema, isto é, relatórios simplificados referentes às turmas, usuários, moléculas, etc.;
- c) **Grupos**: módulo composto por três interfaces relativas às ações essenciais de adição (cadastro), listagem, edição e exclusão de grupos;
- d) **Usuários**: módulo composto por três interfaces relativas às ações essenciais de adição (cadastro), listagem, edição e exclusão de usuários;
- e) **Categorias**: módulo composto por três interfaces relativas às ações essenciais de adição (cadastro), listagem, edição e exclusão de categorias de moléculas;
- f) **Moléculas**: módulo composto por três interfaces relativas às ações essenciais de adição (cadastro), listagem, edição e exclusão de moléculas;
- g) **Aulas**: módulo composto por três interfaces relativas às ações essenciais de adição (cadastro), listagem, edição e exclusão de aulas;
- h) **Minhas Aulas**: módulo composto por duas interfaces relativas às ações de listagem de aulas e de moléculas, bem como a utilização da interface de Realidade Aumentada;
- i) **Relatórios**: módulo composto por uma interface, relativa à visualização completa de relatórios do sistema por meio de gráficos do tipo “*pie*” e “*doughnut*”;

- j) **Logs de Acesso:** módulo composto por uma interface, relativa à visualização completa (relatório) de todos os registros de acesso ao sistema, contendo o nome do usuário, tipo (administrador, professor ou aluno), navegador, sistema operacional, IP, data e hora do acesso.

Percebe-se, ainda, que são ilustrados (em cores diferenciadas) os menus **Horizontal** (exposto horizontalmente no segmento superior da interface) e **Vertical** (exposto verticalmente no segmento esquerdo da interface), ambos presentes em todas as interfaces do sistema, com exceção da interface de *login*, como pode ser observado na Figura 18.



Figura 18 – Modelo de desenho de conteúdo referente ao Sistema MMAR

<p><b>MENU SUPERIOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Links:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meus Dados</li> <li>- Minhas Aulas</li> <li>- Relatórios</li> <li>- Sair</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>TURMAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Adicionar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome</li> <li>- Descrição</li> <li>- Ativar</li> </ul> </li> <li>• <b>Adicionar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opções de listagem</li> <li>- Registros listados: <i>links</i> Editar e Excluir</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Listar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem “Adicionar”</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Editar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>CATEGORIAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Adicionar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome</li> <li>- Descrição</li> <li>- Ativar</li> </ul> </li> <li>• <b>Adicionar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opções de listagem</li> <li>- Registros listados: <i>links</i> Editar e Excluir</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Listar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem “Adicionar”</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Editar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>AULAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Adicionar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome</li> <li>- Descrição</li> <li>- Incluir/retirar turmas</li> <li>- incluir/retirar moléculas</li> <li>- Ativar</li> </ul> </li> <li>• <b>Adicionar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opções de listagem</li> <li>- Registros listados: <i>links</i> Editar e Excluir</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Listar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem “Adicionar”</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Editar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>MENU VERTICAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Home</li> <li>- Meus Dados <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visual./editar dados</li> </ul> </li> <li>- Grupos <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar grupo</li> <li>- Listar grupos</li> </ul> </li> <li>- Usuários <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar usuário</li> <li>- Listar usuários</li> </ul> </li> <li>- Categorias <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar categoria</li> <li>- Listar categorias</li> </ul> </li> <li>- Softwares <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar software</li> <li>- Listar softwares</li> </ul> </li> <li>- Moléculas <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar molécula</li> <li>- Listar moléculas</li> </ul> </li> <li>- Aulas <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar aula</li> <li>- Listar aulas</li> </ul> </li> <li>- Minhas Aulas <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minhas aulas</li> </ul> </li> <li>- Relatórios <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relat. do sistema</li> </ul> </li> <li>- Logs de Acesso <ul style="list-style-type: none"> <li>- Logs de acesso</li> </ul> </li> <li>- Informações <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobre o Sist. MMAR</li> <li>- Ajuda</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>USUÁRIOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Adicionar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome</li> <li>- Email</li> <li>- Login</li> <li>- Senha e repetir senha</li> <li>- Turma</li> <li>- Perfil</li> <li>- Ativar</li> </ul> </li> <li>• <b>Adicionar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opções de listagem</li> <li>- Registros listados: <i>links</i> Editar e Excluir</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Listar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem “Adicionar”</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Editar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>MOLÉCULAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Adicionar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome</li> <li>- Software exportação</li> <li>- Categoria</li> <li>- Organismo</li> <li>- Sistema de expressão</li> <li>- Descrição e imagem</li> <li>- Arquivo .X3D</li> <li>- Ativar</li> </ul> </li> <li>• <b>Adicionar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastrar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opções de listagem</li> <li>- Registros listados: <i>links</i> Editar e Excluir</li> </ul> </li> <li>• <b>Listar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Listar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (campos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem “Adicionar”</li> </ul> </li> <li>• <b>Editar (botões):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Editar</li> <li>- Cancelar</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>MINHAS AULAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Minhas Aulas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Registros listados: Títulos, resumos (<i>com link</i>) e data de cadastro</li> </ul> </li> <li>• <b>Aula:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aula selecionada: informações de forma completa (título, resumo, descrição, etc.)</li> </ul> </li> <li>• <b>Moléculas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas as moléculas referentes à aula selecionada</li> <li>- Registros listados: <i>link Realidade Aumentada</i></li> </ul> </li> </ul>
<p><b>MENU INFERIOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Links:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meus Dados</li> <li>- Minhas Aulas</li> <li>- Relatórios</li> <li>- Sair</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>LOGIN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Campos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usuário</li> <li>- Senha</li> </ul> </li> <li>• <b>Botões:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Login</li> <li>- Ajuda</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>LOGS DE ACESSO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Informações:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Registros contendo: nome, tipo (usuário), navegador, sistema operacional, IP, data e horário</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>RELATÓRIOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Relatório (gráficos):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupos</li> <li>- Usuários</li> <li>- Categorias</li> <li>- Softwares</li> <li>- Moléculas</li> <li>- Aulas</li> <li>- Minhas Aulas</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>PRINCIPAL (HOME)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* <u>Menu Vertical</u></li> <li>* <u>Menu Horizontal</u></li> <li>• <b>Informações Acesso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Último Acesso</li> </ul> </li> <li>• <b>Relatório Resumido</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupos</li> <li>- Usuários</li> <li>- Categorias</li> <li>- Softwares</li> <li>- Moléculas e aulas</li> </ul> </li> </ul>			

Fonte: Autor.

### 5.3.2. Definição de Funcionalidades

Após as definições do tipo de conteúdo e do contexto de aplicação, nesta etapa são definidas as funcionalidades inerentes ao Sistema MMAR. Contudo, previamente, para se obter uma melhor compreensão destas funcionalidades, são apresentados os possíveis perfis de usuário:

- a) **Administrador:** perfil de usuário com acesso global ao sistema, poderá acessar qualquer módulo (interface), bem como executar qualquer funcionalidade;
- b) **Professor:** perfil de usuário com acesso restrito às funcionalidades necessárias para criação e gerenciamento de aulas (grupos, categoria de moléculas, moléculas, etc.), incluindo o cadastro de usuários com o perfil de professor ou aluno;
- c) **Aluno:** perfil de usuário com o acesso mais limitado que o do professor, restringindo-se às funcionalidades referente à alteração das próprias informações (nome, *email*, etc.), incluindo o acesso às aulas nas quais lhe foi concedido acesso, bem como aos relatórios condizentes ao perfil.

Percebe-se que para a execução de qualquer funcionalidade do sistema, com exceção das que estão relacionadas com o *login*, o usuário deverá, obrigatoriamente, realizar a autenticação no sistema. Dessa forma, com o usuário autenticado, este poderá acessar outras interfaces a partir da interface que ele esteja presente, por meio de um menu vertical (ilustrado na Figura 18). As principais funcionalidades disponíveis no Sistema MMAR são descritas a seguir:

- d) **Login de usuários:** realização de *login* de usuários que acessarão o sistema. Nesta funcionalidade ocorre a autenticação de usuários, sendo que ao ingressar no sistema, serão disponibilizados menus (e *links*) correspondentes ao perfil de cada usuário (administrador, professor ou aluno). Com o usuário acessando o sistema, ele poderá clicar em *logout* para sair deste. Caso o usuário tenha dificuldades de acesso, ele poderá acessar a página de ajuda, onde obterá explicações sobre como proceder de forma correta seu acesso;
- e) **Gerenciamento de “meus dados”:** gerenciamento das informações referentes ao usuário que está autenticado no sistema. Esta funcionalidade

possibilita ao usuário alterar suas informações no sistema, como seu nome, e-mail e senha;

- f) **Gerenciamento de grupos:** gerenciamento de grupos que serão utilizados para a organização dos usuários no sistema. Esta funcionalidade possibilita aos administradores e professores a inclusão de novos grupos, listar, editar ou excluir grupos existentes;
- g) **Gerenciamento de usuários:** gerenciamento de usuários que utilizarão o sistema de acordo com o perfil atribuído a cada um deles. Esta funcionalidade possibilita aos administradores e professores a inclusão de novos usuários, listar, editar ou excluir usuários existentes, contudo, professores somente poderão gerenciar usuários com o perfil de aluno ou professor;
- h) **Gerenciamento de categorias:** o gerenciamento de categorias de moléculas permite a organização das moléculas no sistema, classificando-as em categorias, como: proteínas, aminoácidos, óxidos, ácidos, etc. Esta funcionalidade possibilita aos administradores e professores a inclusão de novas categorias de moléculas, listar, editar ou excluir categorias de moléculas existentes;
- i) **Gerenciamento de softwares:** o gerenciamento de *softwares* permite a organização das moléculas no sistema, classificando-as por softwares que originaram (exportaram) seus respectivos arquivos .x3d. Esta funcionalidade possibilita aos administradores e professores a inclusão de novos *softwares*, listar, editar ou excluir *softwares* existentes;
- j) **Gerenciamento de moléculas:** gerenciamento de moléculas que serão utilizadas no momento do cadastro/edição de aulas. Esta funcionalidade possibilita aos administradores e professores a inclusão de novas moléculas, listar, editar ou excluir moléculas existentes;
- k) **Gerenciamento de aulas:** gerenciamento de aulas que serão utilizadas no sistema, possibilita recursos como o vínculo a grupos e moléculas. Esta funcionalidade possibilita aos administradores e professores a inclusão de novas aulas, listá-las, editá-las ou excluí-las caso já existentes;
- l) **Minhas Aulas:** permite a exibição de todas as aulas ativas que o usuário possui acesso. Esta funcionalidade viabiliza que o usuário selecione a aula que tiver interesse e, logo após, poderá utilizar a interface de Realidade

Aumentada para manipular qualquer molécula pertencente à aula selecionada;

- m) **Relatórios:** permite o relatório das principais informações do sistema em forma de gráficos do tipo “*pie*” e “*doughnut*” de acordo com seu perfil (tipo de usuário). Esta funcionalidade possibilita que o professor, por exemplo, saiba o número de aulas que ele cadastrou, quantas estão ativas ou inativas; o quantitativo de moléculas, bem como quantas estão ativas ou inativas; número de alunos, grupos, categorias, etc.;
- n) **Logs de Acesso:** permite a exibição completa (relatório) de todos os registros de acesso ao sistema, sendo cada registro composto pelo nome do usuário, tipo (administrador, professor ou aluno), navegador (*browser*) e sistema operacional utilizados pelo usuário, IP, data e hora do acesso. Esta funcionalidade possibilita, por exemplo, que o professor possua informações referentes aos acessos dos alunos ao sistema (quais alunos acessaram e quando acessaram). Também viabiliza a otimização de aspectos tanto relacionados à segurança (pois, essencialmente, sabe-se quem acessou e quando acessou), quanto ao controle de erros (por exemplo, caso o usuário não tenha conseguido ativar a *webcam* no sistema, basta verificar o navegador que o usuário utilizou para analisar a compatibilidade);
- o) **Informações:** permite a exibição de informações referentes ao sistema divididas em duas seções: “Sobre o Sistema MMAR” e “Ajuda”. A primeira seção auxilia o usuário a obter informações a respeito da construção do Sistema MMAR (como quais tecnologias e metodologias foram utilizadas para o desenvolvimento), da atual versão, da compatibilidade de navegadores, da licença, do autor, etc. A segunda seção é focada no auxílio ao usuário, principalmente, ao que tange à composição de cada módulo do sistema, suas funcionalidades (o que realiza), como utilizá-las etc.

Buscando obter uma melhor compreensão das funcionalidades mais significativas disponíveis no Sistema MMAR, estas também se encontram representadas em um diagrama de casos de uso<sup>31</sup> no Apêndice A.

---

<sup>31</sup> Tem como objetivo ilustrar em um nível alto de abstração quais elementos externos interagem com quais funcionalidades do sistema.

### 5.3.3. Lista de Requisitos

Possuindo todas as informações reunidas e já tendo sido determinadas as funcionalidades do sistema, a próxima etapa é formalizar a listagem dos requisitos de projeto, assim, nesta etapa estão definidos os requisitos inerentes ao Sistema MMAR. Segundo Passos (2011), a produção da lista de requisitos deve ser direta, objetiva e em forma textual, como pode ser observada no Quadro 4.

Quadro 4 – Principais requisitos do usuário

(continua)

---

#### PRINCIPAIS REQUISITOS DO USUÁRIO

##### *Busca e pesquisa*

Títulos destacados, contendo elementos gráficos visualmente condizentes com as funções;

##### *Localização*

*Design* livre de informações irrelevantes e visualmente padronizados (com visual semelhante em todas as interfaces), incluindo mensagens claras e objetivas;

##### *Eficiência*

Objetiva fazer com que o usuário realize poucas ações para atingir seu objetivo, facilitando o processo de memorização;

##### *Usabilidade*

Deve possuir um visual limpo e agradável, com cores apropriadas e com elementos visuais que mantenham a mesma localização nas interfaces do sistema;

##### *Segurança*

Possibilita dificultar as tentativas de invasão ao sistema, por meio da aplicação de padrões de segurança contra invasões;

##### *Elementos gráficos priorizados*

Menus (vertical e horizontal), ícones e formulários. Esses elementos gráficos são indispensáveis para se obter uma boa navegação no sistema;

*Identidade Visual*

Limpeza, simplicidade, objetividade, consistência visual, interação, integração de tecnologias e clareza.

---

Fonte: Autor.

Após realizar a transformação das necessidades do usuário em requisitos de projeto por meio da definição do escopo e da lista de requisitos, é necessário desenvolver a estrutura conceitual do sistema. Este desenvolvimento é abordado na fase de Experimentação, apresentada na sequência.

#### 5.4. EXPERIMENTAÇÃO



A experimentação é a terceira fase da metodologia Interad, nela são construídos os modelos conceituais para os elementos da interface gráfica, é definida a arquitetura do fluxo de informações e desenhado o fluxo de tarefas.

##### 5.4.1. Modelo Conceitual

Como o projeto refere-se a um sistema *Web*, o modelo conceitual trabalha com elementos habitualmente utilizados em sites. Dessa forma, com o intuito de colaborar com o entendimento de que se trata cada elemento gráfico, o Quadro 5 relaciona os elementos gráficos utilizados no sistema com seus respectivos objetivos.

Quadro 5 – Elementos gráficos e seus objetivos

(continua)

Item	Elemento Gráfico	Objetivo
<b>MENU</b>		
1		- Página inicial ( <i>Home</i> ).
2		- Acessar módulo “Meus Dados”.

Quadro 5 – Elementos gráficos e seus objetivos

(continuação)

3		- Acessar módulo “Grupos”.
4		- Acessar módulo “Usuários”.
5		- Acessar módulo “Categorias”.
6		- Acessar módulo “Softwares”.
7		- Acessar módulo “Moléculas”.
8		- Acessar módulo “Aulas”.
9		- <b>Acessar módulo “Minhas Aulas”.</b>
10		- Acessar módulo “Relatórios”.
11		- Acessar módulo “Logs de Acesso”.
12		- Acessar módulo “Informações”.
<b>FORMULÁRIOS</b>		
13		- Cadastrar novo registro.
14		- Excluir registro.
15		- Listar registros.
16		- Cancelar as operações: “Cadastrar”, “Excluir” e “Listar”.
17		- Tornar determinado registro ativo.
18		- Tornar determinado registro inativo.
19		- Informa que determinado registro está ativo.
20		- Informa que determinado registro está inativo.
21		- Informa a possibilidade de exclusão (aviso).
22		- Ordenar registros em ordem crescente.

Quadro 5 – Elementos gráficos e seus objetivos

(conclusão)

23		- Ordenar registros em ordem decrescente.
24		- Possibilidade de ordenar registros.
25		- Cadastrar registro.
		- Listar registros.
<b>OUTROS</b>		
		- Retrair conteúdo.
		- Expandir conteúdo.
		- Fechar bloco de conteúdo.
		- Sair do sistema.
		- Utilizar interface de Realidade Aumentada.
		- Diminuir ou aumentar largura do menu vertical.

Fonte: Autor.

#### 5.4.2. Diagrama do Projeto

Nesta etapa do projeto, objetivando capturar o conceito, a estrutura da informação e o esquema de organização do sistema, desenvolveu-se um diagrama do projeto (ou mapa), ilustrado na Figura 19. Dessa forma, por meio de uma representação visual, o diagrama expressa as principais relações entre o conteúdo e as funcionalidades do sistema.

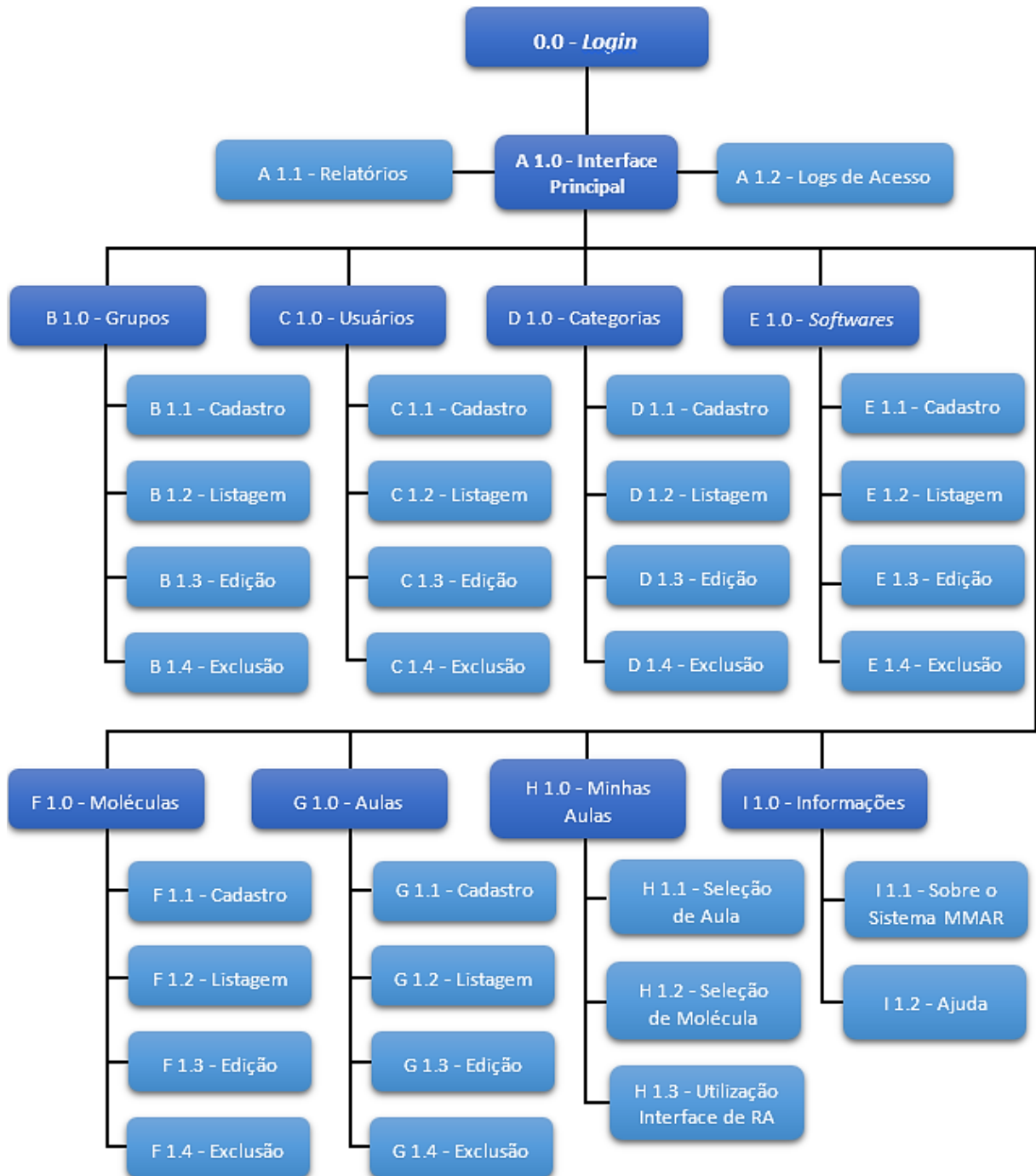
Garrett (2003) entende que demonstrando visualmente os relacionamentos essenciais (entre conteúdo e funcionalidades), seja suficiente para a compreensão das informações necessárias nessa etapa, visto que ao representar todos os *links* de todas as interfaces (em um elevado grau de detalhamento), apenas provocaria à equipe de projeto, desorientações e perdas informacionais.

Ao analisar o diagrama do projeto (Figura 19), percebem-se de forma ampla, as relações essenciais entre conteúdo e funcionalidades do Sistema MMAR, iniciando pelo *Login*. O usuário tendo êxito em sua autenticação no *Login* será direcionado à



Interface Principal, onde passará a ter acesso ao restante das interfaces (conteúdo) e funcionalidades do sistema.

Figura 19 – Diagrama do projeto



Fonte: Autor.

### 5.4.3. Arquitetura

Há inúmeras formas para a representação da arquitetura de um sistema, contudo, como o projeto refere-se a um sistema *Web*, com menus sendo disponíveis em todas as páginas, em sua maior parte, o fluxo da informação pode ser representado por meio do formato orgânico. Com isso, permitirá ao usuário direcionar-se a qualquer seção (interface) a qualquer momento, bem como possibilitará a inserção (cadastros) de novos registros e mecanismos para incorporação de novas informações ao material preexistente.

Contudo, em casos específicos, como na edição e exclusão de registros (como “usuários”, “grupos”, “softwares”, “moléculas” e “aulas”) ou, ainda, na utilização da interface de Realidade Aumentada, existe a necessidade de, primeiramente, direcionar-se à página de listagem. Então, nesses casos, observa-se o fluxo informacional sendo representado no formato sequencial.

## 5.5. ELABORAÇÃO

Na fase de Elaboração são definidos os tipos de interatividade (que são mais apropriados de acordo com os objetivos pedagógicos sugeridos e com o perfil dos usuários) e, logo após, iniciam-se as etapas de desenho da malha construtiva e estrutural do sistema, sendo finalizada pela construção do desenho de navegação.

### 5.5.1. Tipo de Interatividade

Com o objetivo de disponibilizar uma interface gráfica que permita a interação e que proporcione atividades relacionadas à aprendizagem, determinando ao usuário uma interação direta com o conteúdo disponibilizado no sistema, com outros usuários e com as próprias ferramentas (recursos), observou-se os seguintes tipos de interatividade proporcionada pelo Sistema MMAR:

- a) Interatividade objetiva: os usuários utilizam o *mouse* para clicar em menus (e demais *links*), incluindo botões. Também, é utilizada uma interface de Realidade Aumentada, para manipular os modelos moleculares tridimensionais, por meio de marcadores;

- b) Interatividade linear: em determinados momentos, os usuários podem mover-se para frente e para trás, por meio de uma sequência linear pré-determinada;
- c) Interatividade de suporte: o usuário receberá suporte, por meio de mensagens (como de confirmações e de erros) e, ainda, ajuda disponível nas seções de “Ajuda” e “Sobre o Sistema MMAR”, onde estão acessíveis diversas considerações técnicas sobre o sistema, bem como auxílios sobre o uso de cada módulo;
- d) Interatividade de atualização: um diálogo é iniciado entre o usuário e o conteúdo gerado pelo sistema, utilizando a interface de Realidade Aumentada;
- e) Interatividade de simulação: estende o papel de aprendiz, para o papel de controlador, ocorrendo com a própria manipulação das moléculas, utilizando a interface de Realidade Aumentada;
- f) Interatividade hiperlinkada: o usuário possui acesso a uma grande variedade de informações, por meio de uma base de conhecimento;
- g) Interatividade contextual não-imersiva: possibilita aos usuários atingirem diversos níveis interativos em um ambiente virtual, sendo capaz de explorar o contexto significativo relacionado com o conteúdo.

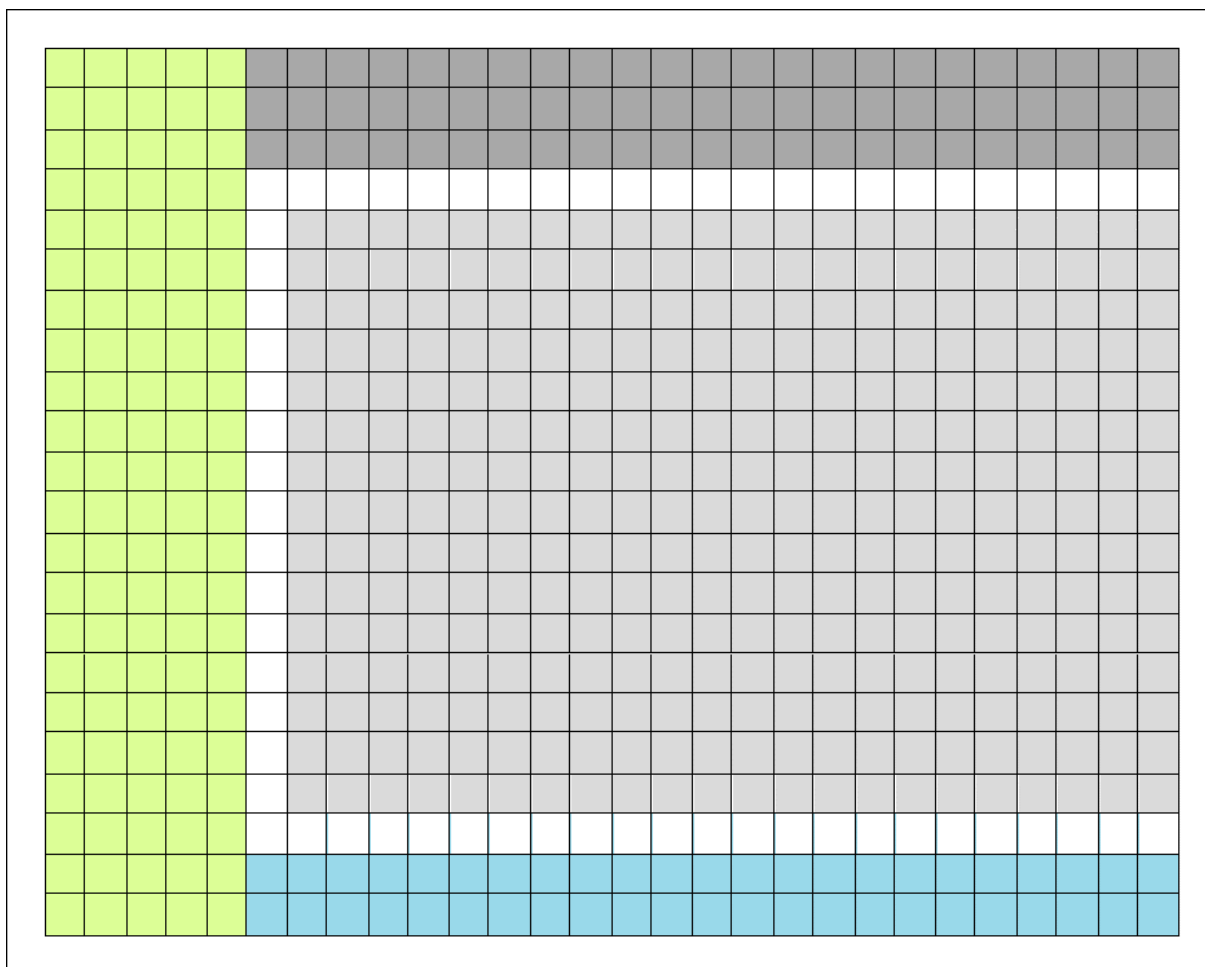
### 5.5.2. Malha Construtiva

A malha construtiva, segundo Passos (2011), é um recurso oriundo do *design* editorial que possibilita uma melhor visualização da interface. Já Garrett (2003) descreve a malha construtiva (ou grade de construção) como sendo uma grade, que como um “*layout master*”, é utilizada como *template* direcionado à criação de páginas, bem como à distribuição dos elementos gráficos, garantindo, assim, a uniformidade e consistência ao *layout* da interface. A Figura 20 apresenta a malha construtiva predominante do Sistema MMAR, dividida em quatro seções, sendo elas:

- a) **Superior**: contém um menu de acesso rápido, juntamente com o nome do usuário autenticado no sistema;
- b) **Central**: abrange o conteúdo de cada *link* (página) acessado;
- c) **Esquerdo**: apresenta um menu vertical, onde estão dispostos os *links* de acesso a todos os módulos;

- d) **Inferior:** abrange informações referentes à licença e à identificação do sistema.

Figura 20 – Malha construtiva do Sistema MMAR



Fonte: Autor.

### 5.5.3. Malha Estrutural

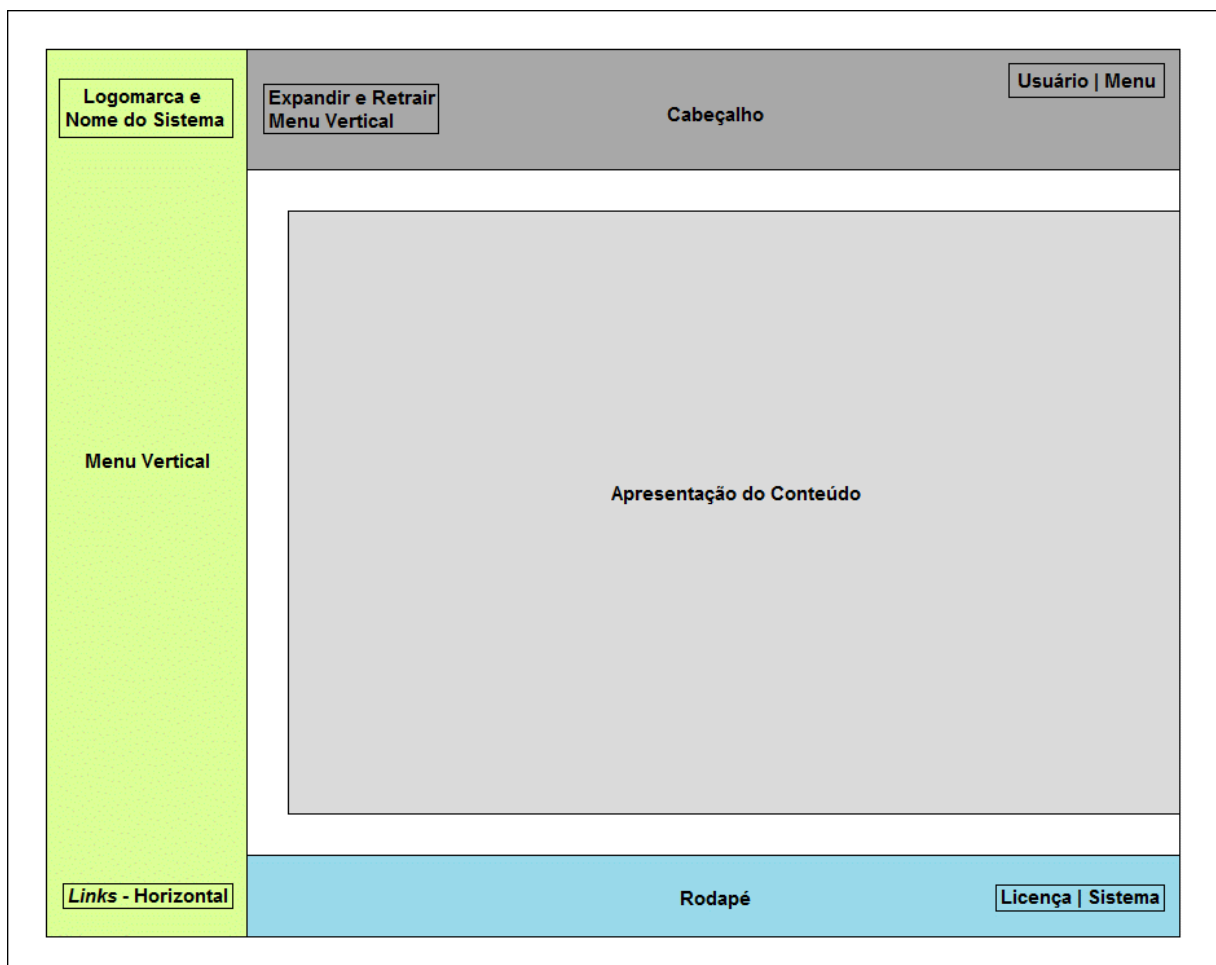
A malha estrutural refere-se à composição inicial da interface gráfica em módulos, onde os elementos gráficos que compõe a mesma, serão distribuídos de acordo com suas respectivas relevâncias e, na sequência, agrupados conforme suas respectivas tipologias. Na sequência, observa-se a figura 21, referente à malha construtiva do Sistema MMAR, sendo composta pelas seções:

- a) **Cabeçalho:** localizado no segmento superior do *layout*, composto por um menu de acesso rápido, juntamente com o nome do usuário autenticado no

sistema (lado direito do segmento) e, no lado esquerdo, um *link*, que permite a retração ou expansão do menu vertical;

- b) **Apresentação do Conteúdo:** localizado no segmento central do *layout*, abrange o conteúdo referente a cada *link* (página) acessado pelo usuário;
- c) **Menu Vertical:** localizado no segmento esquerdo do *layout*, apresenta na fração superior a logomarca e o nome do sistema, logo abaixo um menu vertical, onde estão dispostos os *links* de acesso a todos os módulos e, na fração inferior, *links* de acesso aos módulos comuns aos três tipos (perfis) de usuários;
- d) **Rodapé:** localizado no segmento inferior do *layout*, contém informações referentes à licença e à identificação do sistema.

Figura 21 – Malha estrutural do Sistema MMAR

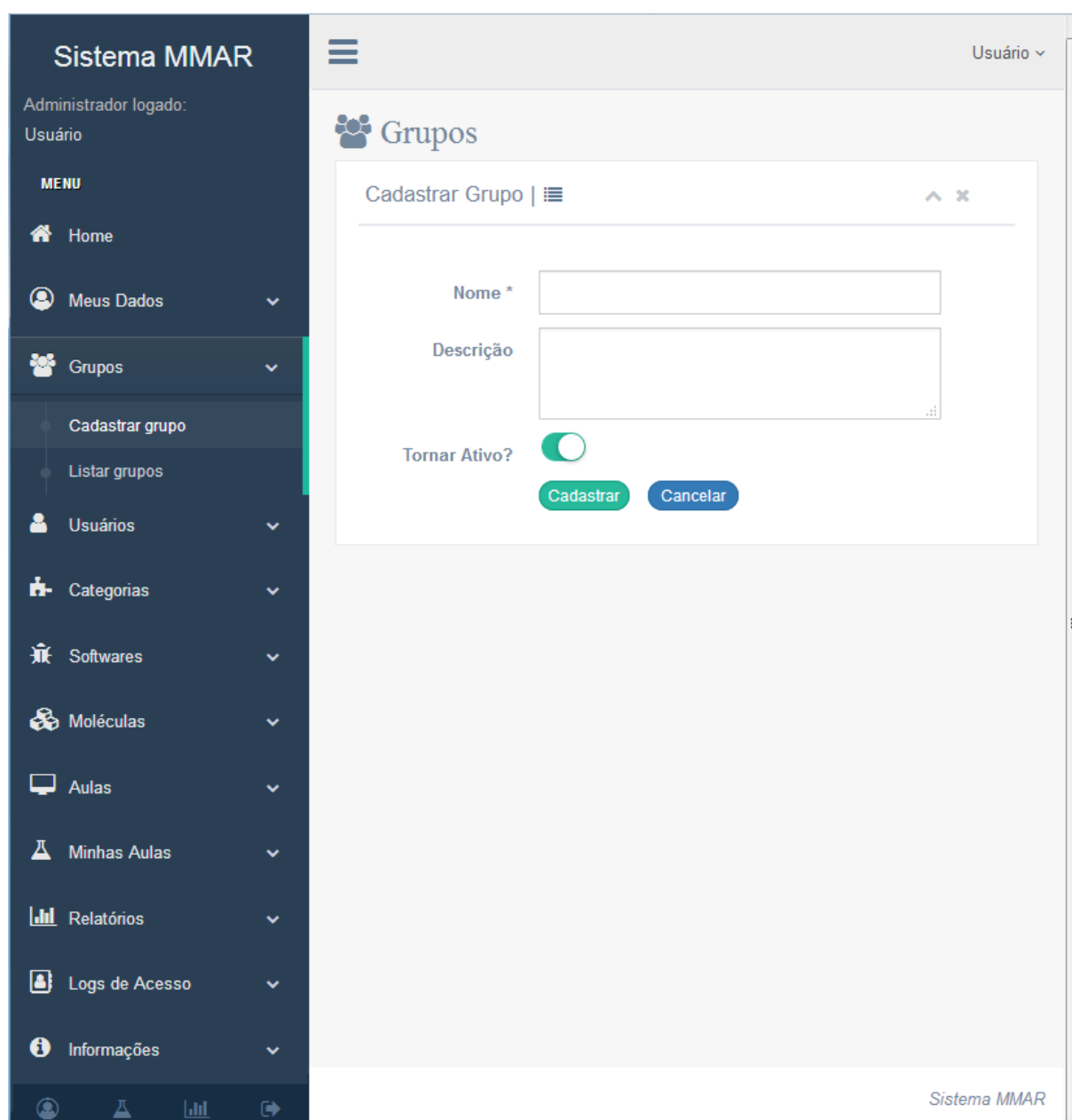


Fonte: Autor.

#### 5.5.4. Desenho de Navegação

O desenho da navegação, como é evidenciado pelo próprio nome, refere-se ao projeto de navegação do usuário no sistema. Tal navegação é realizada por meio da seleção dos diferentes tipos de *links* e da definição de seu posicionamento na interface gráfica. Como exemplo, a Figura 22 representa o desenho de navegação da interface gráfica referente à seção “Grupos” do Sistema MMAR.

Figura 22 – Desenho de navegação do Sistema MMAR



Fonte: Autor.

## 5.6. APRESENTAÇÃO

A última fase da metodologia Interad é a Apresentação, que compreende o *design* gráfico da identidade de marca do sistema e dos elementos da interface. A etapa de avaliação do projeto encerra esta fase, contudo, considerando que a avaliação é parte fundamental desta proposta, sua execução e discussão dos resultados serão apresentadas no capítulo 6. Ainda, nesta fase, as interfaces referentes ao sistema desenvolvido, são apresentadas, de acordo com todos os requisitos e funcionalidades descritas.

### 5.6.1. Identidade de Marca

A identidade de marca é a exteriorização tanto visual quanto verbal da própria marca e, ainda, proporciona apoio, expressão, comunicação, sintetizando e visualizando a marca. Abaixo, a Figura 23 demonstra a identidade de marca utilizada no Sistema MMAR.

Figura 23 – Identidade de marca utilizada no Sistema MMAR



Fonte: Autor.

Percebe-se que a identidade de marca possui características do conceito de *layout* (*design* visual), com as cores em matizes de cinza, quando exibida em uma interface gráfica onde as cores claras são predominantes. Também pode ser encontrada na cor branca, quando exibida em uma interface gráfica onde as cores escuras são predominantes.

Por representar uma “gota”, a identidade de marca caracteriza-se além de representar algo pequeno (obviamente, não tão pequeno como uma molécula, mas que remete a algo muito pequeno), é capaz de ser adaptável a qualquer forma, por exemplo, caso uma gota seja colocada em uma superfície plana, essa tomará a forma

de uma lâmina nesta mesma superfície, caso seja colocada em uma superfície com depressões, a gota preencherá quantas depressões seu volume permitir, caso seja utilizada para preencher um cilindro, um cubo ou qualquer outra forma, a gota irá se amoldar a qualquer conformação.

Assim, simboliza uma das principais características do Sistema MMAR, que é a capacidade de adaptação de exibição a qualquer tipo de molécula (aminoácidos, proteínas, vírus, etc.), sendo qual for o modelo utilizado para sua representação (*ribbons*, *ball and stick*, CPK, *sphere*, etc.).

### 5.6.2. *Design Visual*

O estágio de *design* visual refere-se à finalização do projeto de interface gráfica. Nesse momento, todos os elementos gráficos que compõem a mesma, bem como todos os textos e componentes de navegação são tratados conforme princípios de *design* gráfico. Assim, todos os componentes foram planejados seguindo uma harmonia no *design*:

- a) são utilizados elementos gráficos visualmente condizentes com as funções;
- b) o *design* é livre de informações irrelevantes e visualmente padronizados (com visual semelhante em todas as interfaces),
- c) são empregadas mensagens claras e objetivas;
- d) os elementos visuais são mantidos na mesma localização nas diversas interfaces do sistema;
- e) o visual é limpo e agradável, com cores neutras que não causam irritabilidade ou repulsa;
- f) são priorizados elementos gráficos que impactam diretamente na qualidade de navegação do sistema, como menus (vertical e horizontal), ícones e formulários;
- g) a interface gráfica é responsiva (salvo casos específicos, que envolvem a geração de gráficos para a representação de informações do sistema, onde, a responsividade não é aplicada em sua totalidade).



### 5.6.3. Apresentação do Sistema MMAR – *System of Molecular Modeling with Augmented Reality*

O Sistema MMAR foi projetado e desenvolvido com o intuito de proporcionar uma metodologia diferenciada no processo de ensino e aprendizagem de estruturas moleculares tridimensionais, por meio da utilização da tecnologia de Realidade Aumentada (possibilitando, também, as características expostas na seção 3.5). Além de oferecer um ambiente que possibilita um gerenciamento completo de grupos, usuários, categorias, *softwares*, moléculas, aulas, relatórios, *logs*, etc.

Com temática relacionada a assuntos relativos ao estudo molecular previstos na ementa da disciplina de Química do Ensino Médio, traz um ambiente *Web* voltado à modelagem molecular tridimensional, permitindo criações de aulas e, acessos às aulas (incluindo a interface de RA), não somente pelo professor (ou administrador), mas, também pelos próprios alunos.

Para utilizar o Sistema MMAR, primeiramente é necessário acessar o endereço do sistema e, logo após, informar corretamente “*login*” e “*senha*” na interface de autenticação, como pode ser observado na Figura 24. Neste momento é importante evidenciar que o sistema deve ser acessado utilizando o protocolo HTTPS<sup>32</sup>, para tanto, basta digitar “*https://*” na barra de endereços do navegador, antes do endereço do sistema.

A utilização do protocolo HTTPS deve-se ao fato de que os navegadores, por motivos de segurança, somente permitem o acesso à *webcam* do dispositivo que está realizando acesso ao sistema, se estiverem utilizando o protocolo HTTPS. Sendo assim, caso não seja usado o protocolo HTTPS, o usuário poderá acessar o sistema, porém, não será capaz de utilizar a interface de Realidade Aumentada, pois o acesso à *webcam* não será permitido.

Da mesma forma, é imprescindível salientar que os navegadores totalmente compatíveis com o Sistema MMAR são o Mozilla Firefox<sup>33</sup> e o Google Chrome<sup>34</sup>. Foram testados o Mozilla Firefox 52.0 e o Google Chrome 57.0.2987.133

---

<sup>32</sup> O protocolo HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*) permite que os dados sejam transmitidos por meio de uma conexão criptografada e que se verifique a autenticidade do servidor e do cliente por meio de certificados digitais. É utilizado, em regra, quando se deseja evitar que a informação transmitida entre o cliente e o servidor seja visualizada por terceiros, como, por exemplo, no caso de compras *online*.

<sup>33</sup> Disponível em: <https://www.mozilla.org>

<sup>34</sup> Disponível em: <https://www.google.com/chrome>

(consideradas versões mínimas recomendadas). Por não suportarem os recursos tecnológicos de Realidade Aumentada utilizados neste sistema, navegadores como Internet Explorer<sup>35</sup>, Opera<sup>36</sup> e Safari<sup>37</sup> são incompatíveis.

Figura 24 – Interface de autenticação do Sistema MMAR



— Sistema MMAR —

Login

Senha

Log in

MMAR!

*Sistema MMAR: System of Molecular Modeling with Augmented Reality*

CC BY NC SA

Fonte: Autor.

Após realizar a autenticação no sistema, o usuário terá seu perfil (tipo de usuário: “Administrador”, “Professor” ou “Aluno”) reconhecido pelo sistema e, de acordo com este, todo o ambiente será constituído. Cada tipo de usuário, possui o acesso a determinadas seções (como grupos, usuários, aulas, etc.) de forma pré-definida (sendo possível alterá-lo no próprio sistema), assim, o tipo “Administrador”

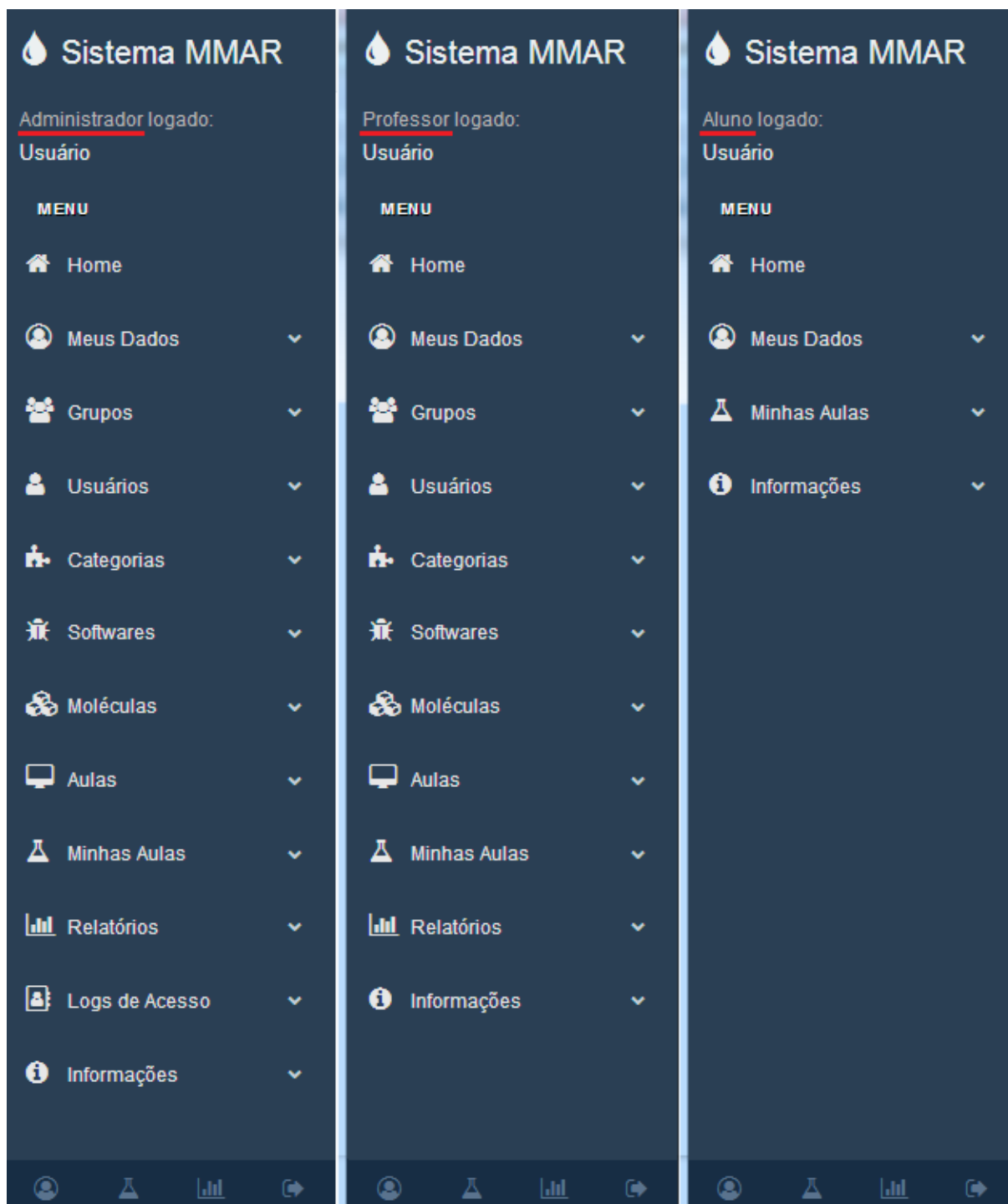
<sup>35</sup> Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/download/internet-explorer.aspx>

<sup>36</sup> Disponível em: <http://www.opera.com>

<sup>37</sup> Disponível em: <https://safari.softonic.com.br>

terá acesso às seções que não estarão acessíveis ao tipo “Professor” ou ao tipo “Aluno”, como pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Tipos de usuário e seções do Sistema MMAR



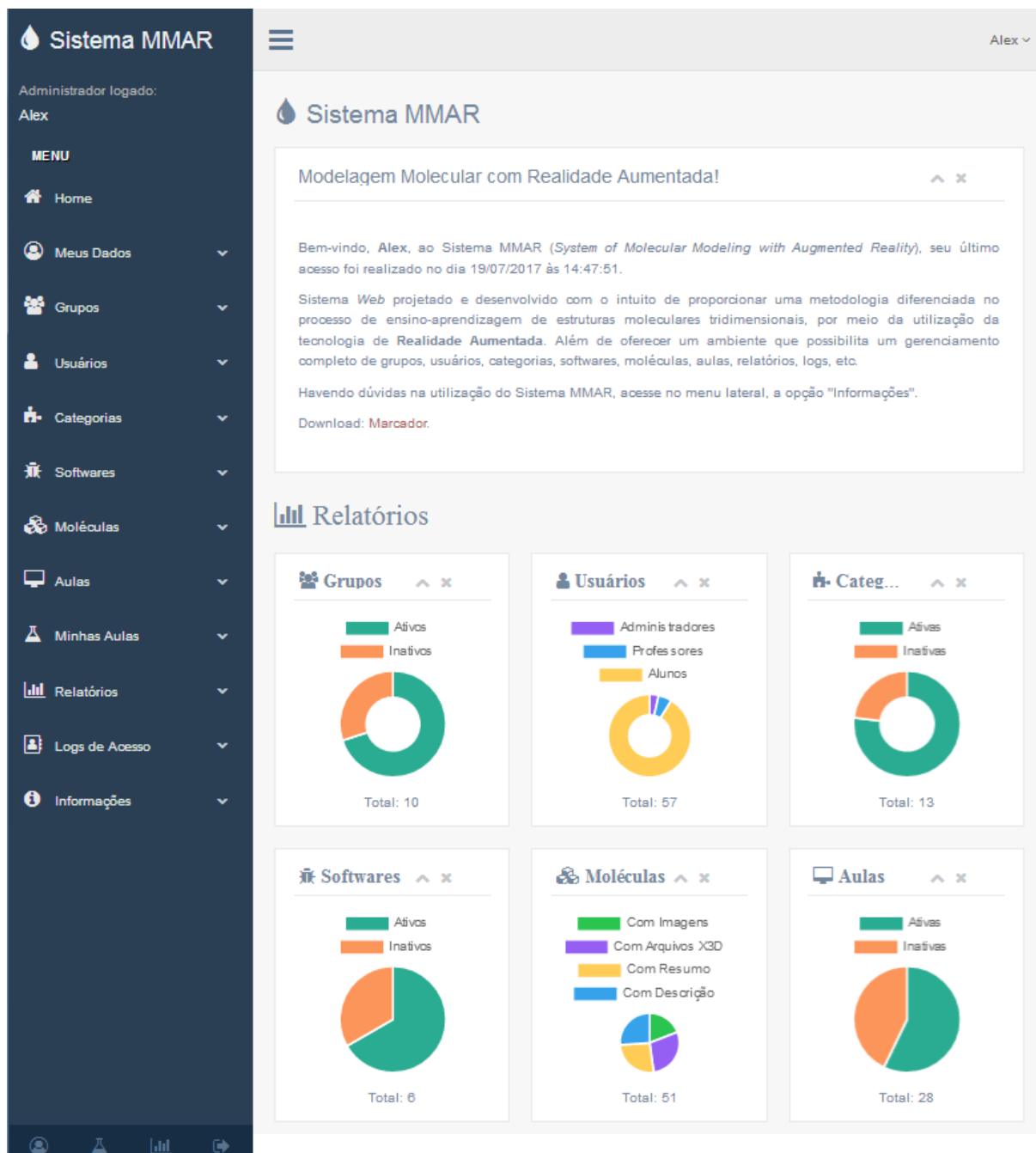
Fonte: Autor.

Cada tipo de usuário possui o acesso a seções específicas, como é ilustrado na Figura 25: a coluna situada à esquerda representa o menu vertical condizente ao tipo de usuário “Administrador”; a coluna central representa o menu vertical condizente ao tipo de usuário “Professor”, gerado a partir da realização do *login* de um usuário do tipo “Professor”; a coluna localizada à direita, por sua vez, representa o menu vertical condizente ao tipo de usuário “Aluno”, gerado a partir da realização do *login* de um usuário do tipo “Aluno”.

Não obstante, também considerando o tipo de usuário, em cada seção (módulo), o usuário acessará somente o que lhe foi permitido. Por exemplo, tanto o tipo de usuário “Administrador” quanto o tipo de usuário “Professor”, possuem acesso à seção “Usuários”, contudo, somente o tipo “Administrador”, terá permissão para cadastrar ou excluir outro usuário do tipo “Administrador”. Assim, para o usuário do tipo “Professor”, sequer será exposta a possibilidade de cadastro, listagem, edição ou exclusão de um usuário do tipo “Administrador”.

Após a autenticação no sistema e, reconhecimento do tipo de usuário, este é direcionado à interface principal (*home*) do Sistema MMAR (Figura 26). Esta interface contém, além dos menus, uma mensagem de boas-vindas, onde também é informada a data e o horário do último acesso ao sistema realizado pelo usuário, bem como uma breve apresentação do sistema e um *link* para *download* do marcador. Todas essas informações são dispostas em um bloco, que pode ser retraído (ocultando as informações), expandido (exibindo as informações) ou, ainda, fechado.

Na interface principal, de acordo com o tipo de usuário, também é apresentado um conjunto de gráficos, representando de forma resumida, relatórios referentes às principais seções do sistema. Esses relatórios, por exemplo, demonstram: a quantidade de grupos ativos e inativos; o número de usuários do tipo “Administrador”, “Professor” e “Alunos”, bem como a quantidade total de usuário; quantidade de moléculas com imagens, com arquivos .x3d, com resumo e com descrição; quantidade de aula ativas e inativas, incluindo o total de aulas.

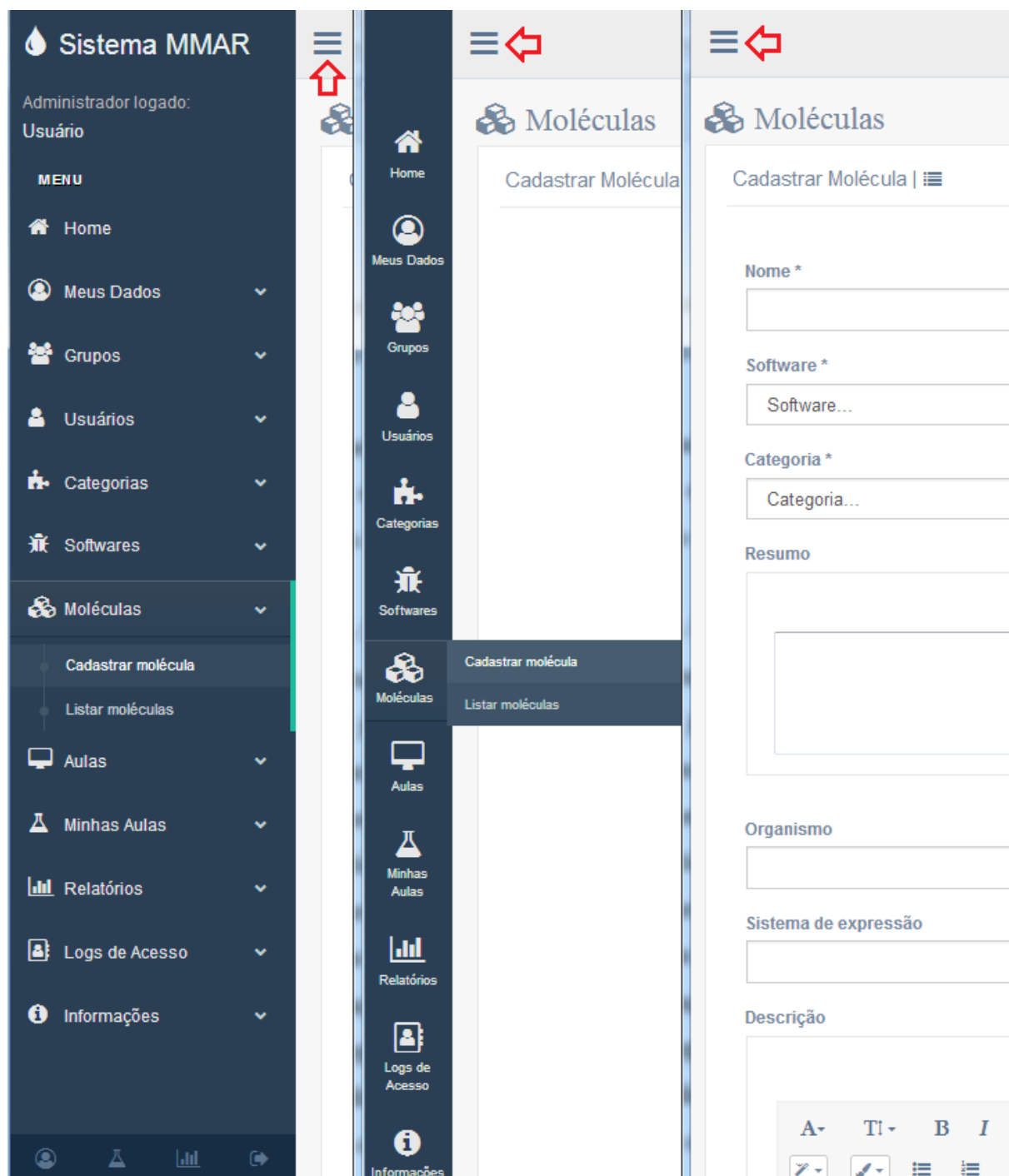
Figura 26 – Interface principal (*home*) do Sistema MMAR

Fonte: Autor.

Caso o usuário acesse o Sistema MMAR utilizando algum tipo de dispositivo que possua uma tela pequena, como um *tablet* ou um *netbook*, ele poderá optar por utilizar um menu vertical que ocupe menos espaço ou, até mesmo, ocultá-lo totalmente, como pode ser percebido na Figura 27. Nesta, na coluna situada à esquerda, está exposto o menu vertical considerado padrão para dispositivos com

telas maiores (notebooks e *desktops* em geral), pois abrange um espaço horizontal maior; na coluna central é exposto o menu vertical com uma abrangência horizontal menor, adequado para telas menores; por fim, a coluna localizada à direita, representa uma interface com o menu oculto, também sendo ideal para telas menores.

Figura 27 – Opções de exibição do menu vertical no Sistema MMAR



Fonte: Autor.

Para manipular o menu vertical, basta clicar no *link* situado na parte superior da interface, ao lado do próprio menu, representado por três linhas sobrepostas, como é indicado pelas setas vermelhas na Figura 27. Essa característica do sistema é de suma importância, pois a mesma foi prevista em seu projeto e está diretamente ligada aos aspectos relacionados à responsividade da interface.

Logo após realizar a autenticação no sistema, o usuário poderá acessar a seção “Meus Dados” (Figura 28), onde encontrará as principais informações de sua conta, como a data e hora de cadastro e, a data e hora da última modificação, bem como o grupo ao qual está vinculado.

Figura 28 – Seção “Meus Dados”

Usuário

## Meus Dados

Meus Dados

Cadastrado em: 12/08/2016 às 00:00:00

Última modificação: 20/07/2017 às 16:16:29

Vinculado ao grupo: Administradores

Nome \*

Email \*

Login \*

Senha

Repete senha

Fazem parte do conjunto de campos do formulário da seção “Meus Dados”, que são passíveis de edição, os campos: “Nome”, “E-mail” e “Senha”. Percebe-se, que o campo referente ao *login* está exposto em um formato diferente dos demais, com o fundo na cor cinza escuro, isso ocorre devido ao fato deste campo não ser editável pelo usuário.

Caso o usuário seja do tipo “Administrador” ou “Professor”, ele terá acesso à seção “Grupos”, onde, poderá organizar os usuários no sistema, agrupando-os (por meio do cadastro de grupos – Figura 22), conforme suas necessidades. A Figura 29 representa a subseção “Listar Grupos”, contendo diversos grupos já cadastrados.

Figura 29 – Subseção “Listar Grupos”

The screenshot displays the 'Listar Grupos' (List Groups) interface. On the left is a dark sidebar with navigation icons for Home, Meus Dados, Grupos, Usuários, Categorias, Softwares, Moléculas, Aulas, and Minhas Aulas. The main content area has a header 'Grupos' and a sub-header 'Listar Grupos | +'. Below this, there is a 'Listar grupos:' label with a dropdown menu open, showing options: TODOS, TODOS, Ativos, and Inativos. A green 'Listar' button is visible. Below the dropdown is a table with 10 rows of group data. Each row includes a number, a name, a responsible user, a status, and an 'Excluir' button. At the bottom, it says 'Total: 10 registros'.

Nº	Nome	Responsável	Status	Excluir
1	2º Ano - Integrado Eventos	Usuário	Inativo	Excluir
2	2º Ano - Integrado Informática	Usuário	Ativo	Excluir
3	3º Ano - Integrado Eventos - T30	Usuário	Ativo	Excluir
4	3º Ano - Integrado Eventos - T31	Usuário	Ativo	Excluir
5	3º Ano - Integrado Informática	Usuário	Ativo	Excluir
6	Administradores	Usuário	Ativo	Excluir
7	Alunos - Integrado	Usuário	Ativo	Excluir
8	Professores	Usuário	Ativo	Excluir
9	Professores - Integrado	Usuário	Inativo	Excluir
10	Turma Especialização - Química	Usuário	Inativo	Excluir

Total: 10 registros



Analisando a Figura 29, observa-se que a listagem dos registros referentes aos grupos é gerada no formato de uma tabela, dividida em cinco colunas: a primeira contendo a sequência numérica dos registros; a segunda possuindo o nome dos grupos; a terceira abrangendo os nomes dos responsáveis pelo cadastro dos respectivos grupos (visando não divulgar nomes, utilizou-se o termo “Usuário”); a quarta contendo o *status* (ativo ou inativo); a quinta possuindo os *links* para a exclusão de grupos.

Por motivos de segurança, o *link* de exclusão do grupo “Administradores” (ao qual todos os administradores do sistema estão vinculados), sempre é apresentado na forma “desabilitado” (com a cor diferenciada dos demais *links* de exclusão). Esse critério impede que os usuários do tipo “Administrador”, sejam todos, simultaneamente, excluídos.

Caso seja conveniente, o usuário poderá utilizar os filtros de listagem de grupos. Por padrão, ao acessar a interface de listagem de grupos, todos os grupos serão listados, contudo, para listar somente os grupos que estão com o *status* ativo, a opção “Ativos” deve ser selecionada, caso contrário, para listar somente os grupos que estão com o *status* inativo, a opção “Inativos” deve ser selecionada.

Ainda, analisando a Figura 29, percebe-se que a interface de listagem dos registros relativos aos grupos é composta, basicamente, pela identificação da seção (“Grupos”) e logo abaixo a identificação da subseção (“Listar Grupos”), já o formulário é composto pelas opções de listagem seguido dos *links* “Listar” e “Cancelar” e, quando a listagem é gerada, utiliza-se o formato de uma tabela.

O formato (*design*) da interface gráfica da subseção “Listar Grupos” é padronizado em todas as subseções que possuam o objetivo de “listar” registros do Sistema MMAR. Assim, atende simultaneamente dois importantes requisitos de projeto: *design* livre de informações irrelevantes e *design* visualmente padronizado (com visual semelhante em todas as interfaces).

Igualmente, também buscando contemplar os requisitos anteriormente mencionados, as interfaces do sistema, em sua totalidade, são livres de informações desnecessárias e visualmente padronizadas. Todas as interfaces de cadastros, listagens, edições e exclusões, independentemente da seção (como “Grupos”, “Usuários”, “Moléculas”, “Aulas”, etc.), mantêm o mesmo *design* gráfico.

Com o grupo já cadastrado (e seu *status* estando “ativo”), o usuário do tipo “Administrador” ou “Professor”, poderá realizar o cadastro de novos usuários, por meio da subseção “Cadastrar Usuário”, conforme ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Subseção “Cadastrar Usuário”

The image shows a web application interface for user registration. On the left is a dark sidebar with navigation icons for Home, Meus Dados, Grupos, Usuários, Categorias, Softwares, Moléculas, Aulas, Minhas Aulas, Relatórios, Logs de Acesso, and Informações. The main content area is titled 'Usuários' and contains a sub-section 'Cadastrar Usuário'. The form fields are: 'Nome \*', 'Email \*', 'Login \*', 'Senha \*', and 'Repete senha \*'. Below these is a 'Grupo \*' dropdown menu, which is highlighted with a red box. A red arrow points from this dropdown to an expanded list of groups, also highlighted with a red box. The expanded list includes: 'Grupo...', '2º Ano - Integrado Informática', '3º Ano - Integrado Eventos - T30' (highlighted in blue), '3º Ano - Integrado Eventos - T31', '3º Ano - Integrado Informática', 'Administradores', 'Alunos - Integrado', and 'Professores'. Below the 'Grupo' field is the 'Tipo \*' section with radio buttons for 'Administrador', 'Professor' (selected), and 'Aluno'. The 'Acessar as seções:' section has checkboxes for: 'Aulas', 'Categorias', 'Grupos', 'Informações', 'Meus Dados', 'Minhas Aulas', 'Moléculas', 'Relatórios' (unchecked), 'Softwares', and 'Usuários'. At the bottom, there is a 'Tomar Ativo?' toggle switch and two buttons: 'Cadastrar' and 'Cancelar'.

Todos os campos do formulário “Cadastrar Usuário” (Figura 30), são de preenchimento obrigatório, como nome, e-mail, *login*, senha, grupo e tipo. No momento da seleção do grupo (vincular o usuário a determinado grupo), são disponibilizados somente os grupos que se encontram ativos (*status* “ativo”), independentemente de quem os cadastrou.

Na sequência é necessário escolher o tipo de usuário: “Administrador”, “Professor” ou “Aluno”. Para cada tipo de usuário selecionado, imediatamente, abaixo desta seleção, são apresentadas todas as seções (módulos) que este tipo de usuário poderá acessar. Havendo necessidade, os acessos às seções ainda podem ser personalizados, para tanto, basta cancelar o acesso às seções que o usuário não deverá ter acesso, ou, conceder o acesso às seções que o usuário deverá ter acesso. Observa-se que somente um usuário do tipo “Administrador” pode cadastrar outro usuário do deste tipo.

Como exemplo, na Figura 30, observa-se que o usuário terá acesso a todas as seções condizentes ao tipo de usuário “Professor”, exceto à seção “Relatórios”, apontada pela seta azul, que se encontra desmarcada. Por último, é exposta a possibilidade de “Tornar Ativo” o usuário que está sendo cadastrado, caso não seja selecionada esta opção, este usuário será cadastrado, contudo, não poderá acessar o sistema.

Na interface referente à listagem de usuários, são disponibilizadas as seguintes opções de filtro: “Todos”, “Ativos”, “Inativos”, “Grupo” ou “Nome”. As duas últimas opções tornam-se interessantes, pois é viabilizada a possibilidade de listar somente os usuários de determinado grupo (filtro “Grupo”), ou, acessar diretamente o registro de usuário, informado seu nome (filtro “Nome”). Com intuito de manter a padronização das interfaces de listagem, os usuários são apresentados no formato de tabela, contendo um usuário por linha. Para editar determinado usuário, basta acessar o *link* de edição, disponível no próprio nome; na mesma linha de cada registro de usuário listado, encontra-se a possibilidade de exclusão deste usuário e, optando por excluí-lo, será exibido um alerta (Figura 31).

Caso, seja confirmada a opção de exclusão, todos os grupos, usuários, categorias, *softwares*, moléculas e aulas cadastrados por este usuário, também serão excluídos. Por motivos de segurança, na hipótese de um grupo que será excluído, conter um usuário que tenha cadastrado algum grupo (seja responsável por algum

grupo), primeiramente, este grupo deverá ser excluído, para somente depois, dar prosseguimento à exclusão do usuário inicial.

Esta metodologia de exclusão foi adotada objetivando manter a consistência e a integridade (principalmente referencial) no banco de dados. Como cada registro no Sistema MMAR contém um atributo referente ao usuário responsável pela criação do mesmo, no momento da exclusão de determinado usuário, todos os registros criados por este também serão excluídos, mantendo, assim, a consistência e a integridade. Manter o vínculo entre o usuário e seus registros criados, também possibilita obter maior flexibilidade e controle sobre as operações, como por exemplo, listar grupos ou moléculas de um usuário em particular, gerar relatórios específicos, permitir o acesso somente às aulas que determinado usuário criou, etc.

Figura 31 – Alerta de exclusão de usuário



Fonte: Autor.

O usuário do tipo "Administrador" ou "Professor" poderá gerenciar a seção "Categorias", objetivando maior organização das moléculas no sistema. Assim, as moléculas poderão ser categorizadas de acordo com o desejo do usuário, como pode ser observado na Figura 32, referente à interface de listagem de registros de "categorias", contendo diversas "categorias" já cadastradas. Como exemplo, poderá ser criada uma categoria chamada "Aminoácidos", onde, todas as moléculas do tipo aminoácido, poderão ser vinculadas à esta categoria no momento de seus respectivos cadastros.

Para editar determinada categoria, basta acessar o *link* de edição (situado no nome da categoria) e, para excluir, deve ser acessado o *link* "Excluir" da respectiva

categoria. Caso seja confirmada a exclusão, todas as moléculas pertencentes à categoria excluída, também serão excluídas.

Figura 32 – Subseção “Listar Categorias”

Nº	Nome	Responsável	Status	Excluir
1	Alcaloides	Usuário	Ativo	Excluir
2	Aminoácidos	Usuário	Ativo	Excluir
3	Aminoácidos Teste	Usuário	Inativo	Excluir
4	Compostos de Enxofre	Usuário	Ativo	Excluir
5	Macromoléculas	Usuário	Inativo	Excluir
6	Moléculas Compostas	Usuário	Inativo	Excluir
7	Moléculas Inorgânicas	Usuário	Ativo	Excluir
8	Moléculas Orgânicas	Usuário	Ativo	Excluir
9	Moléculas Pequenas	Usuário	Ativo	Excluir
10	Moléculas Simples	Usuário	Ativo	Excluir
11	Proteínas	Usuário	Ativo	Excluir
12	Química Orgânica	Usuário	Ativo	Excluir
13	Vírus	Usuário	Ativo	Excluir

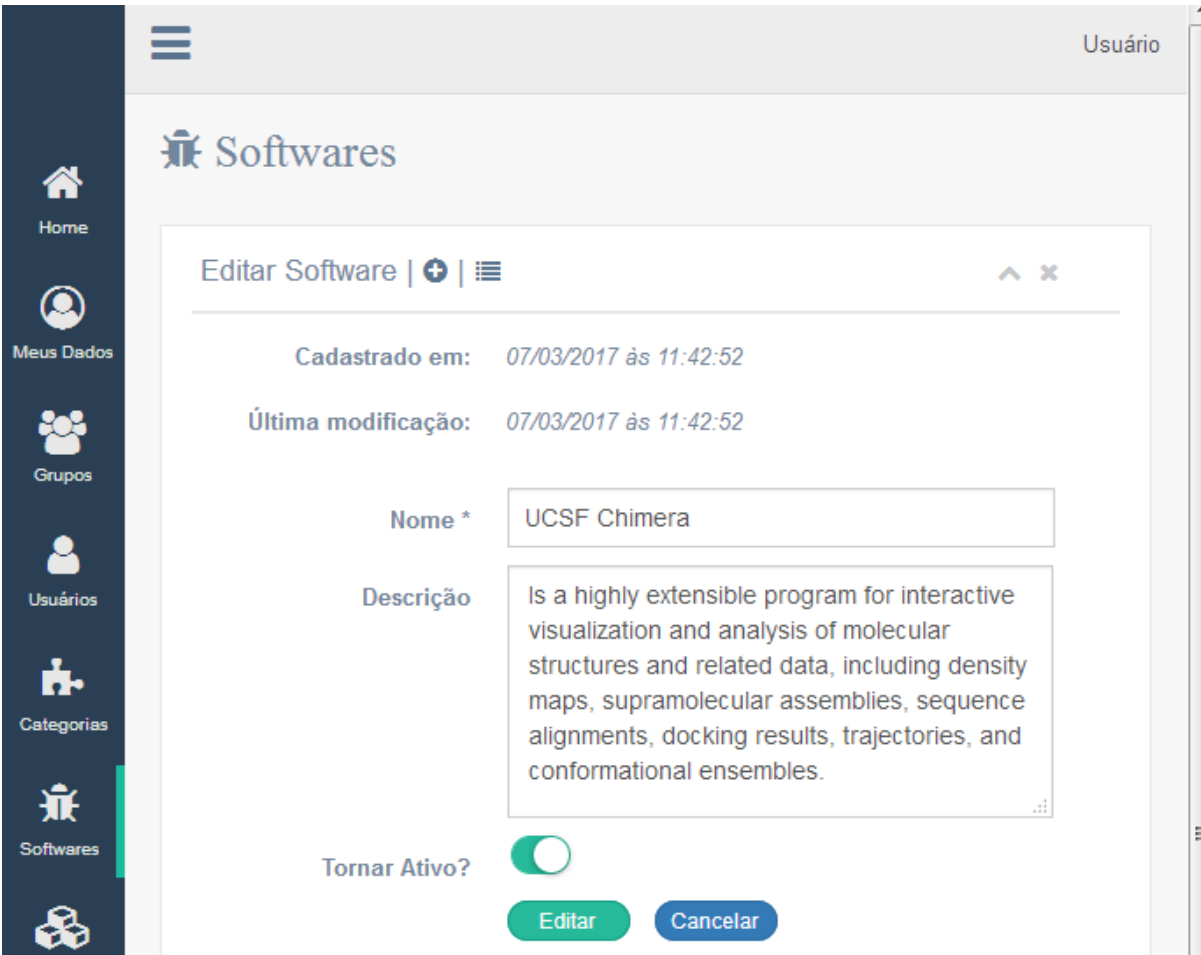
Fonte: Autor.

Da mesma forma que é permitido ao usuário gerenciar a seção “Categorias”, também é permitido gerenciar a seção “Softwares”, como é ilustrado na Figura 33, que representa a interface referente à subseção de edição de *software*. Esta seção possibilita cadastrar *softwares* dos quais os arquivos .x3d foram exportados,

permitindo, assim, além de melhorar a organização das moléculas (categorizando-as por *softwares* exportadores), a possibilidade do Sistema MMAR adequar e otimizar o tratamento da geração das imagens dos modelos moleculares tridimensionais.

Isso ocorre devido aos inúmeros aspectos de exportação (geração) de modelos moleculares no formato .x3d intrínsecos a cada *software*, que não respeitam uma padronização de criação dos arquivos neste formato. Alguns *softwares*, por exemplo, exportam os modelos moleculares em uma escala muito pequena, outros em uma escala maior.

Figura 33 – Subseção “Edição de *Software*”



Usuário

Softwares

Editar Software | + | ☰

Cadastrado em: 07/03/2017 às 11:42:52

Última modificação: 07/03/2017 às 11:42:52

Nome \* UCSF Chimera

Descrição  
Is a highly extensible program for interactive visualization and analysis of molecular structures and related data, including density maps, supramolecular assemblies, sequence alignments, docking results, trajectories, and conformational ensembles.

Tornar Ativo?

Editar Cancelar

Fonte: Autor.

Tendo o conhecimento de qual *software* originou determinado arquivo .x3d, o processo de tratamento de geração da imagem referente ao modelo molecular descrita neste arquivo, por exemplo, a ação de ajustar sua escala para o tamanho

considerado ideal, torna-se menos complexa. O mesmo problema de padronização também pode ocorrer em relação a outras características, como o brilho, o contraste, a luminosidade, etc.

Existindo, minimamente uma categoria e um *software* cadastrado (ambos com *status* “ativo”) o usuário do tipo “Administrador” ou “Professor” poderá realizar o cadastro de moléculas. A Figura 34 representa o primeiro segmento (de dois segmentos – imagem dividida para melhor adequação, devido ao seu tamanho) da interface da subseção de edição de moléculas.

Na Figura 34 pode-se perceber a edição da molécula do Zika Vírus<sup>38</sup> (*Mutation identified in Neonatal Microcephaly*), onde, os campos do formulário considerados obrigatórios são: nome, *software* que originou o arquivo *.x3d* (na Figura 34 as opções são destacadas na cor verde) e a categoria que a molécula será vinculada (na Figura 34 as opções são destacadas na cor vermelha).

Os próximos campos do formulário de edição são considerados de preenchimento não obrigatório, como “resumo”, “organismo”, “sistema de expressão”, “descrição”, etc. Caso algum campo não seja preenchido, no momento da apresentação das informações, este campo não será exposto (sequer qualquer informação relacionada a ele será exibida).

Também pode ser observado, que para o preenchimento do campo “descrição”, é disponibilizado um compacto editor de texto *Web*, que permite ao professor, por exemplo, ter a flexibilidade de criar uma descrição de determinada molécula, mais atrativa ao aluno, contendo opções de formatação de textos, como diferentes: cores, tipos de fontes, tamanhos de fontes, alinhamentos, etc.

---

<sup>38</sup> Disponível em: <http://www.rcsb.org/pdb/explore.do?structureId=5X8Y>

Figura 34 – Primeiro segmento: subseção “Edição de Molécula”

Usuário

**Moléculas**

Editar Molécula | + | ≡

Cadastrada em: 17/06/2017 às 20:04:30

Última modificação: 17/06/2017 às 20:04:30

Nome \* Zika - Mutation identified in Neonatal Microcep

Software \* UCSF Chimera

Categoria \* Vírus

Resumo

O nome Zika tem sua origem na floresta de Zika, perto de Entebbe, capital da República de Uganda, onde o vírus foi isolado pela primeira vez em 1947.

Organismo Zika virus

Sistema de expressão Escherichia coli

Descrição

A Tl

B I S U

≡ ≡ ≡ ≡

≡ ≡ ≡ ≡

↺ ↻

O vírus da zica ou vírus da zika ou,

Fonte: Autor.

A Figura 35 demonstra o segundo segmento da interface da subseção de edição de moléculas, onde, encontra-se a imagem (ilustrativa) condizente à molécula

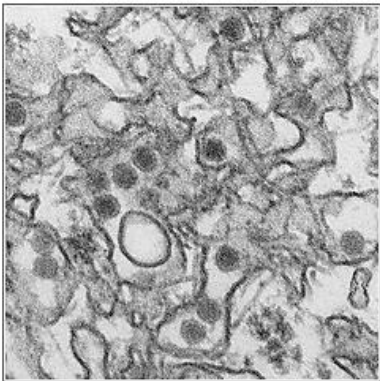


do Zika Vírus, disponibilizada na forma de *pop-up*<sup>39</sup> (que possibilita ampliá-la). Caso, seja necessário excluir esta imagem, deve ser marcada a opção “Excluir imagem?”, contudo, caso seja necessário apenas substituir a imagem existente, basta selecionar uma nova imagem em “Alterar imagem?”.

Figura 35 – Segundo segmento: subseção “Edição de Molécula”

ainda, vírus de Zika (em inglês, *Zika virus*; abreviatura: **ZIKV**) é um vírus do gênero *Flavivirus*. Em humanos, transmitido através da picada do mosquito *Aedes aegypti*, causa a doença também conhecida como **zika** - que embora raramente acarrete complicações para seu portador, apresenta indícios de poder causar microcefalia congênita (quando adquirido por gestante, podendo prejudicar o feto em alguns casos).

**Imagem**



Excluir imagem?  - Marque para excluir a imagem.

Alterar imagem?  Nenhum arquivo selecionado.

Download X3D

Excluir X3D?  - Marque para excluir o arquivo X3D.

Alterar arquivo X3D?  Nenhum arquivo selecionado.

Tornar Ativa?

Fonte: Autor.

<sup>39</sup> O *pop-up* é uma janela que abre no navegador ao visitar uma página *Web* ou acessar uma hiperligação específica.

A mesma condição ocorre em relação aos arquivos .x3d, na hipótese de necessidade de exclusão de um arquivo .x3d, o campo “Excluir X3D?” deve ser marcado, ou, na hipótese de necessidade de apenas substituir o arquivo .x3d existente, basta selecionar um novo arquivo em “Alterar arquivo X3D?”. Ainda, há a possibilidade de realizar o *download* do arquivo .x3d já cadastrado, para tanto, é necessário acessar o *link* “Download X3D”.

Havendo grupos e moléculas cadastrados (com *status* “ativo”), o usuário do tipo “Administrador” ou “Professor” poderá gerenciar a seção “Aulas”, cadastrando e editando aulas de forma completa (contemplando todos os campos do formulário de cadastro ou edição de moléculas), pois não é exigido que grupos ou moléculas sejam informados no momento do cadastro ou edição de aulas.

A Figura 36 ilustra a interface da subseção de “Edição de Aulas”, mais especificamente a aula intitulada “Química Orgânica”, onde, aborda conteúdos como nitrilas, isonitrilas, nitrocompostos e haletos orgânicos. O único campo do formulário que requer preenchimento obrigatório é o campo “título” e, igualmente a subseção “Edição de Moléculas”, a subseção de “Edição de Aulas” apresenta um campo “Resumo” e outro “Descrição”, disponibilizando para este, um editor de texto *Web*.

Duas importantes ações que ocorrem no momento do cadastramento ou na edição de uma aula, é a seleção de quais grupos de usuário terão acesso e de quais moléculas pertencerão a ela. Para permitir que determinado grupo tenha acesso (seja vinculado) à aula que está sendo cadastrada ou editada, é necessário selecionar no campo “Participantes (Grupos)”, primeiramente, uma das opções de filtro “Todos os grupos” (permite a listagem de todos os grupos com *status* “ativo”, independentemente de quem os cadastrou) ou “Meus grupos” (permite somente a listagem dos grupos com *status* “ativo”, que o usuário autenticado no sistema cadastrou).

Logo após, são listados todos os grupos referentes à opção de filtro escolhida e, na sequência, basta selecionar um ou mais grupos. É de suma importância perceber que somente os grupos com *status* “ativo” estarão disponíveis. No momento da seleção de um determinado grupo, este é automaticamente acrescentado na lista dos “Grupos selecionados”, logo abaixo do campo “Participantes (Grupos)”, como pode ser observado na Figura 36.

Figura 36 – Subseção “Edição de Aula”

**Aulas**

Editar Aula | 🏠 | ☰

Cadastrada em: 05/07/2017 às 11:52:58  
 Última modificação: 12/07/2017 às 15:26:03

**Título \*** Química Orgânica

**Resumo**

É o ramo da química que estuda os compostos que contêm carbono, denominados compostos orgânicos. Como estes compostos são encontrados

**Descrição**

A- Ti- B I S U

- NITRILAS:  
 As nitrilas são compostos orgânicos resultantes da substituição do átomo de hidrogênio do cianeto de hidrogênio, por um grupo orgânico (R).

Nomenclatura:  
**Prefixo + Infixo + NITRILA**

**Participantes (Grupos)** Seleccione...

**Grupos selecionados**  3º Ano - Integrado Eventos - T30  
 3º Ano - Integrado Eventos - T31

**Moléculas** Seleccione... <sup>1ª</sup>

**Moléculas selecionadas**  Nitrobenzeno  
 Nitroetano  
 Nitrometano  
 Trinitrotolueno - TNT

**Tornar Ativa?**

**1ª** Seleccione...  
 Todas as moléculas  
 Minhas moléculas  
**Categorias**

**2ª** Seleccione...  
 Alcaloides  
 Aminoácidos  
 Compostos de Enxofre  
 Moléculas Inorgânicas  
**Moléculas Orgânicas**  
 Moléculas Pequenas  
 Moléculas Simples  
 Proteínas  
 Química Orgânica  
 Vírus

Editar Cancelar

Fonte: Autor.

Cada grupo selecionado possui um campo (*checkbox*), já marcado, que precede seu nome, sendo que para excluir algum grupo, é necessário desmarcar este campo (o grupo será retirado automaticamente da lista dos “Grupos selecionados”). Contudo, para efetivar quaisquer das operações citadas anteriormente, faz-se necessário submeter o formulário, por meio do *link* (botão) “Editar”.

Em relação a quais moléculas pertencerão à aula, o processo é semelhante ao de seleção de grupos. Para permitir que determinada molécula seja vinculada à aula que está sendo cadastrada ou editada, é necessário selecionar no campo “Moléculas”, primeiramente, uma das opções de filtro “Todos as moléculas” (permite a listagem de todas as moléculas com *status* “ativo”, independentemente de quem as cadastrou), “Minhas moléculas” (permite somente a listagem das moléculas com *status* “ativo”, que o usuário autenticado no sistema cadastrou), ou “Categorias” (permite a geração de mais um filtro, possibilitando a realização da listagem de moléculas, com *status* “ativo”, por categorias).

Na sequência, são listadas todas as moléculas referentes à opção de filtro escolhida e, logo após, basta selecionar uma ou mais moléculas. É importante perceber que somente as moléculas com *status* “ativo” estarão disponíveis, bem como somente as categorias (caso seja escolhido o filtro “Categorias”) com *status* “ativo” estarão disponíveis.

No momento da seleção de uma determinada molécula, esta é automaticamente acrescentada na lista das “Moléculas selecionadas”, logo abaixo do campo “Moléculas”, como pode ser observado na Figura 36. Cada molécula selecionada possui um campo (*checkbox*), já marcado, que precede seu nome, sendo que para excluir qualquer molécula, é necessário desmarcar este campo (a molécula será retirada automaticamente da lista das “Moléculas selecionadas”). Porém, para consumir quaisquer das operações citadas anteriormente, faz-se necessário submeter o formulário, por meio do *link* (botão) “Editar”.

Com a existência de pelo menos uma aula e, estando com *status* “ativo”, esta poderá ser acessada por qualquer tipo de usuário, desde que o usuário pertença a um grupo que possua acesso à esta aula (vinculado à aula no momento de seu cadastro ou edição). A Figura 37 representa o primeiro segmento (de dois segmentos – imagem dividida para melhor adequação, devido ao seu tamanho) da interface da seção “Minhas Aulas”.

Figura 37 – Primeiro segmento: seção “Minhas Aulas”

**Sistema MMAR**

Professor logado:  
Usuário

MENU

- Home
- Meus Dados
- Grupos
- Usuários
- Categorias
- Softwares
- Moléculas
- Aulas
- Minhas Aulas**
  - Minhas aulas
- Relatórios
- Informações

**Minhas Aulas**

Minhas Aulas

Postagem: 05/07/2017

**Química Orgânica**  
É o ramo da química que estuda os compostos que contêm carbono, denomi...  
05/07/2017

**Compostos de Enxofre - Tiocompostos**  
Os tiocompostos pertencem a uma classe de substâncias que possuem um ou ma...  
04/07/2017

**Compostos de Enxofre - Ácidos Sulfônicos**  
Compostos que apresentam o grupo -SO<sub>3</sub>H em sua estrutura molecular pertencem...  
04/07/2017

**5MR3 (Proteína) - VDW**  
Crystal structure of red abalone egg VERL repeat 2 with linker in complex.  
17/08/2017

**Zika (Vírus)**  
O vírus da zica ou vírus da zika ou, ainda, vírus de Zika (em inglês, Z...  
17/08/2017

Total: 5 registros

**Química Orgânica**

**Resumo:**  
É o ramo da química que estuda os compostos que contêm carbono, denominados compostos orgânicos. Como estes compostos são encontrados nos seres vivos, a Química Orgânica ficou sendo conhecida como "a química da vida."

**Descrição:**

**- NITRILAS:**  
As nitrilas são compostos orgânicos resultantes da substituição do átomo de hidrogênio do cianeto de hidrogênio, por um grupo orgânico (R).

**Nomenclatura:**  
**Prefixo + Infixo + NITRILA**

**- ISONITRILAS**  
São substâncias formadas por moléculas orgânicas resultantes de reações do isocianeto de hidrogênio (H-NC), cujo hidrogênio foi substituído por grupos orgânicos. A nomenclatura desses compostos é feita pela adição do termo pela adição do termo isocianeto de ao nome do grupo orgânico ligado ao -NC.

**Nomenclatura:**  
**Isocianeto de + nome do grupo orgânica**

**- NITROCOMPOSTOS**  
São compostos são substâncias formadas por moléculas orgânicas que contém o grupo -NO<sub>2</sub>.

**Nomenclatura:**  
**Nitro + Nome do hidrocarboneto**

**- HALETOS ORGÂNICOS**  
São compostos derivados de um hidrocarboneto pela troca de um ou mais átomos de hidrogênio pelo mesmo número de átomos de halogênio.

**Nomenclatura:**  
**Nome do halogênio + nome do hidrocarboneto**  
**Nome do haleto + de + nome do grupo orgânico**

Moléculas:

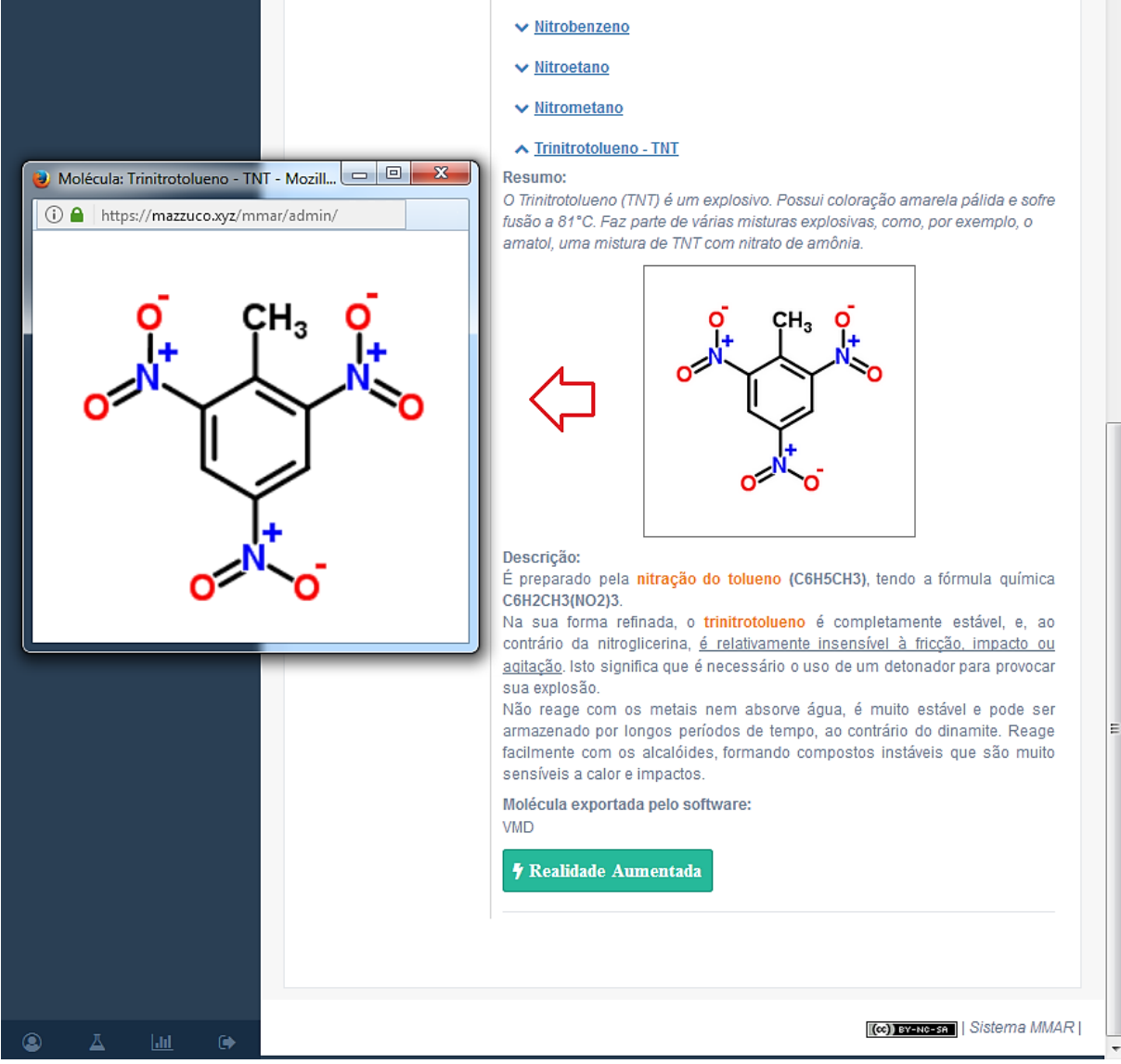
Fonte: Autor.

A seção “Minhas Aulas” (Figura 37) apresenta todas as aulas (por meio de seus respectivos títulos e resumos), com *status* “ativo”, em ordem decrescente de data de cadastro (postagem), em uma coluna vertical localizada no centro da interface. Na fração localizada no lado direito da interface, é exibido todo o conteúdo referente à aula selecionada, como título, resumo, descrição, bem como todas as moléculas

pertencentes à aula. Para selecionar determinada aula, presente na lista vertical de aulas, basta “clique” em seu título ou resumo.

A Figura 38 ilustra o segundo segmento da seção “Minhas Aulas”, relativo às moléculas que estão presentes na aula selecionada. As moléculas (com *status* “ativo”) são listadas, pelo nome, em ordem alfabética, sendo que para acessar o conteúdo de uma molécula é necessário “clique” em seu nome.

Figura 38 – Segundo segmento: seção “Minhas Aulas”



▼ [Nitrobenzeno](#)

▼ [Nitroetano](#)

▼ [Nitrometano](#)

▲ [Trinitrotolueno - TNT](#)

Resumo:  
O Trinitrotolueno (TNT) é um explosivo. Possui coloração amarela pálida e sofre fusão a 81°C. Faz parte de várias misturas explosivas, como, por exemplo, o amatol, uma mistura de TNT com nitrato de amônia.

Descrição:  
É preparado pela **nitração do tolueno** (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>), tendo a fórmula química C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>. Na sua forma refinada, o **trinitrotolueno** é completamente estável, e, ao contrário da nitroglicerina, é relativamente insensível à fricção, impacto ou agitação. Isto significa que é necessário o uso de um detonador para provocar sua explosão. Não reage com os metais nem absorve água, é muito estável e pode ser armazenado por longos períodos de tempo, ao contrário do dinamite. Reage facilmente com os alcalóides, formando compostos instáveis que são muito sensíveis a calor e impactos.

Molécula exportada pelo software:  
VMD

[⚡ Realidade Aumentada](#)

CC BY-NC-SA | Sistema MMAR |

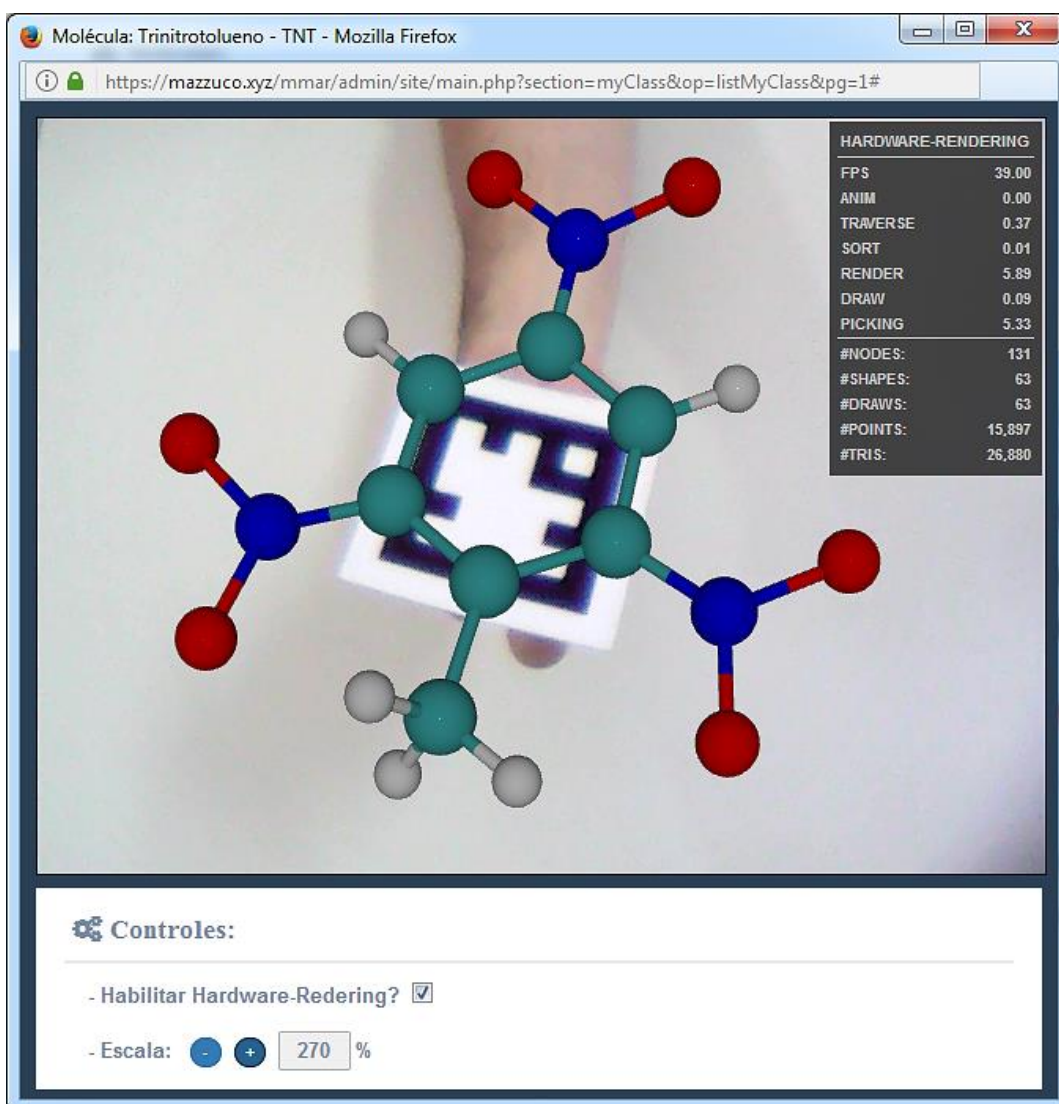
Fonte: Autor.

Todos os campos preenchidos no momento do cadastro de determinada molécula, são exibidos no momento de sua seleção, como pode ser observado na

Figura 38. Primeiramente é apresentado o resumo, logo abaixo, a imagem ilustrativa (que permite ser ampliada) e a descrição completa da molécula, onde pode ser percebida a utilização do editor de texto *Web*, no momento do cadastro da molécula, possibilitando representar o texto no formato justificado, com a fonte em negrito, na cor laranja e sublinhado.

Após a apresentação de todas as informações da molécula selecionada, é exposto o *link* (botão verde) relativo à utilização da interface de Realidade Aumentada. “Clicando” neste *link*, será aberta uma nova janela no navegador (Figura 39), ativando a *webcam* e, a partir deste momento, todas as imagens capturadas pela *webcam* serão exibidas nesta janela.

Figura 39 – Utilização da interface de Realidade Aumentada



Fonte: Autor.

Com a *webcam* ativa, capturando imagens, no instante em que o marcador for disponibilizado à frente da *webcam*, o desenho do marcador é reconhecido pelo sistema e, sobre este, é reproduzida a imagem tridimensional referente à molécula selecionada, neste caso (Figura 39), a molécula relativa ao Trinitrotolueno (TNT).

A Figura 39 também ilustra na fração superior (direita), um pequeno quadro contendo informações técnicas de renderização, que permite ser habilitado ou desabilitado por meio da opção “Habilitar *Hardware-Redering?*”. Havendo necessidade de aumentar ou diminuir a escala da molécula, para melhor adequar seu tamanho, basta clicar no botão “+” ou “-” respectivamente.

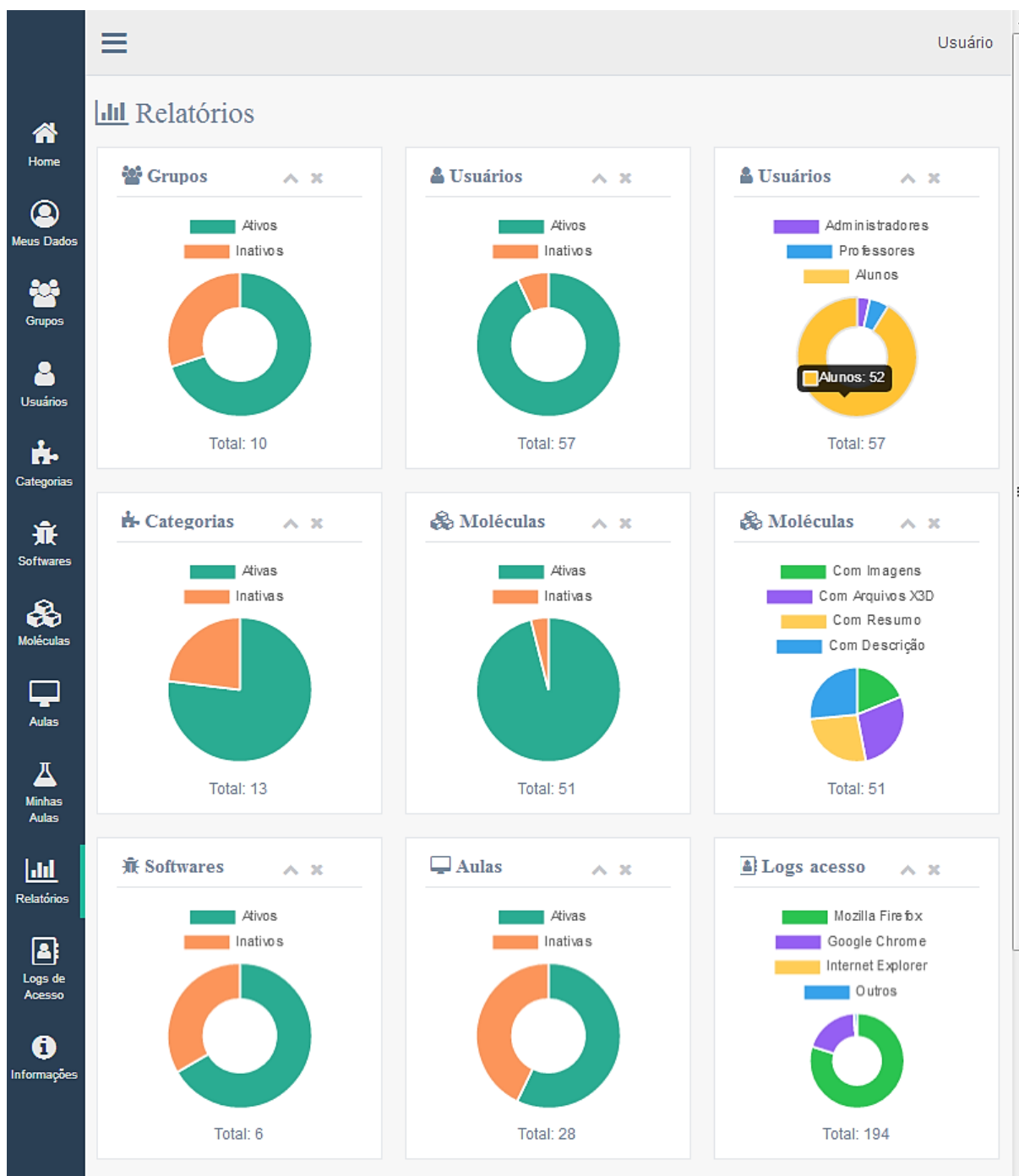
O Sistema MMAR permite a geração de relatórios do sistema, de acordo com o tipo de cada usuário, sendo estes relatórios apresentados por meio de gráficos do tipo “*pie*” e “*doughnut*”, como pode ser observado na Figura 40. O usuário pode “ajustar” determinado gráfico para exibir somente as informações que lhe for conveniente “clcando” na legenda correspondente a informação que será ocultada ou exposta.

Para conhecer o número referente a cada porção de um gráfico, o usuário deverá sobrepor o ponteiro do *mouse* à porção cujo número lhe convém saber, como pode ser percebido na Figura 40, no gráfico referente aos “Usuários”. Caso seja conveniente, o usuário poderá ocultar, exibir ou “excluir” gráficos, por meio das opções apresentadas na parte superior de cada bloco, nos quais os gráficos encontram-se situados.

Tendo em mãos esse conjunto de informações, os usuários poderão ter maior conhecimento e controle sobre o que realmente está contido no sistema e, assim, otimizar sua utilização. Por exemplo, um professor pode verificar que possui um grande número de aulas ou de moléculas com status “inativo” e, como já se encontram cadastradas no sistema, o professor poderia planejar uma melhor forma de usá-las, sendo que, para tanto, possivelmente bastaria adequá-las.



Figura 40 – Seção “Relatórios”



Fonte: Autor.

Com o intuito de complementar a seção “Relatórios”, é disponibilizada, em uma seção independente, a seção “Logs de Acesso” (Figura 41). Assim como na seção anteriormente mencionada, a seção “Logs de Acesso” também apresenta relatórios,

contudo, esta seção abrange exclusivamente relatórios condizentes aos registros de acesso ao Sistema MMAR.

Figura 41 – Seção “Logs de Acesso”

The screenshot shows the 'Logs de Acesso' section of the MMAR system. The interface includes a sidebar with navigation icons and a main content area displaying a table of access logs. The table has the following columns: N°, Nome, Tipo, Navegador, S.O., IP, and Data. The data is sorted by date in descending order.

N°	Nome	Tipo	Navegador	S.O.	IP	Data
1	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	26/07/2017 às 16:06:03
2	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	26/07/2017 às 14:07:46
3	Usuário	Professor	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	26/07/2017 às 10:41:37
4	Usuário	Professor	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	25/07/2017 às 14:51:20
5	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	25/07/2017 às 14:46:21
6	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	25/07/2017 às 09:16:36
7	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	24/07/2017 às 14:20:38
8	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	24/07/2017 às 09:08:55
9	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	22/07/2017 às 09:31:31
10	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	21/07/2017 às 09:25:44
11	Usuário	Administrador	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	20/07/2017 às 16:13:28
14	Usuário	Aluno	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	20/07/2017 às 09:54:06
15	Usuário	Aluno	Mozilla Firefox 54.0	Windows	200.132.54.1	20/07/2017 às 09:53:18

Fonte: Autor.

Os logs de acesso são listados no formato de tabela, em ordem decrescente de data de acesso, sendo que cada linha contém um único registro. A tabela é dividida

em sete colunas: a primeira contendo a sequência numérica dos registros; a segunda o nome do usuário que realizou o acesso (na Figura 41, por privacidade, os nomes foram substituídos pelo termo “Usuário”); a terceira contém o tipo de usuário; a quarta compreende os navegadores utilizados para acessar o sistema; a quinta lista o tipo de sistema operacional; a sexta exibe o IP<sup>40</sup> do usuário; a sétima apresenta a data e o horário de acesso.

A seção “Logs de Acesso” é um importante recurso de auxílio nas resoluções de problemas técnicos, bem como na tomada de decisões em relação às aulas. O administrador, por exemplo, poderá solucionar problemas relativos ao uso da interface de Realidade Aumentada, somente observando e identificando o tipo do navegador utilizado (pois há navegadores incompatíveis). Já o professor poderá analisar quais alunos acessaram suas aulas (e quando acessaram), viabilizando assim, maior controle sobre a gestão destas aulas, permitindo, caso necessário, aplicar metodologias específicas para melhorar os acessos ao sistema.

A última seção do Sistema MMAR denomina-se “Informações”, que disponibiliza duas subseções: a subseção “Sobre o Sistema MMAR”, responsável por apresentar informações de caráter técnico, como a compatibilidade com navegadores, tecnologias e metodologias utilizadas para o desenvolvimento do sistema, licença, autor etc.; e a subseção “Ajuda”, encarregada de auxiliar o usuário na utilização do sistema, sendo estruturada em forma de tópicos, representados pelos nomes das seções (“clikando” em determinado tópico, serão exibidas todas as informações de ajuda sobre este).

Após realizada a apresentação das seções, bem como das principais funcionalidades do Sistema MMAR, na sequência, descreve-se o capítulo destinado à avaliação e análise dos seus resultados, inicialmente por meio da aplicação do Sistema MMAR aos estudantes do Curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do IF Farroupilha Campus São Borja.

---

<sup>40</sup> IP (*Internet Protocol*): de forma genérica, é uma identificação de um dispositivo (computador, roteador, etc.) em uma rede local ou pública. Cada computador na internet possui um IP único, que é o meio em que as máquinas utilizam para se comunicarem.



## 6. AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado o processo de avaliação do Sistema MMAR e a discussão dos resultados identificados. O intuito é verificar os efeitos desta pesquisa, que tem por objetivo analisar as possíveis influências interativas, intuitivas e motivacionais, proporcionadas por um ambiente diferenciado para o ensino de estruturas moleculares tridimensionais, por meio do desenvolvimento e aplicação de um sistema *Web* dirigido à modelagem molecular tridimensional, dispondo de uma interface de RA.

A avaliação realizada nesta pesquisa considerou aspectos como interatividade, usabilidade e motivação, concentrando-se em uma avaliação definida como “Visão do Estudante” (subseção 4.3.1), pois objetiva analisar o comportamento do aluno perante o Sistema MMAR, focando na identificação de possíveis influências relacionadas aos aspectos de interatividade, usabilidade e motivação.

É importante ressaltar, como mencionado na seção 4.3 do capítulo relativo aos aspectos metodológicos, que não foram encontradas abordagens que possibilitassem avaliar *softwares* considerando especificamente as influências intuitivas. Então, optou-se por avaliar a usabilidade, visto que a intuitividade pode ser definida como uma das características da usabilidade.

A seguir, são apresentados os passos e atividades que permitiram a condução do processo de avaliação do Sistema MMAR, sendo organizados pelos tópicos considerados fundamentais: preparação do experimento, execução da avaliação, análise e interpretação dos resultados e, por fim, considerações sobre os resultados da pesquisa.

### 6.1. PREPARAÇÃO DO EXPERIMENTO

Nesta subseção são expostos os procedimentos considerados em relação à preparação do experimento de avaliação do Sistema MMAR, principiando pela reunião da amostra de estudantes, que colaboraram com a aplicação da abordagem, seguido pela apresentação do instrumento de avaliação.

### **6.1.1. Recrutamento da Amostra**

Inicialmente realizou-se uma reunião com o professor titular da disciplina de Química do curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do IF Farroupilha Campus São Borja. Nesta reunião foi feita uma contextualização desta pesquisa e, na sequência, apresentada a proposta de aplicação do Sistema MMAR, à uma ou mais turmas do curso.

O professor prontamente aceitou a proposta e, no mesmo momento, indicou quais turmas estariam aptas (de acordo com as respectivas ementas), estipulando, ainda, as datas para a aplicação do sistema. Ficou acordado que o professor utilizaria o Sistema MMAR como parte de sua aula, não oferecendo qualquer tipo de recompensa curricular pela participação, como nota ou frequência na disciplina.

Duas turmas do terceiro ano do Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do IF Farroupilha Campus São Borja compuseram a amostragem, sendo indicadas para a aplicação do Sistema MMAR: uma turma composta por quatorze alunos e, outra, contendo onze alunos (totalizando vinte e cinco alunos).

É importante evidenciar que o número de alunos por turma encontrava-se reduzido, devido ao recesso do mês de julho, pois as datas de aplicação do Sistema MMAR ocorreram nas duas últimas semanas do primeiro semestre e, conseqüentemente, muitos alunos já haviam deixando de frequentar a instituição de ensino.

### **6.1.2. Instrumento de Avaliação**

Buscando atender o elemento “Questão” da abordagem GQM, como instrumento de avaliação, utilizaram-se os métodos, segmentados em três subcomponentes, conforme exposto na subseção 4.3. Estes métodos, propostos por Silveira e Carneiro (2012), Rezende (2013) e Savi (2011), contemplando, respectivamente os subcomponentes interatividade, usabilidade e motivação, resultaram nas quinze questões que podem ser identificadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Itens que compõem o instrumento de avaliação

(continua)

Item	Questões
<b>Subcomponente Interatividade</b>	
1	Provê formas de uso/interação fáceis de serem lembradas, não excluindo a necessidade de se ter instruções acessíveis sempre.
2	Utiliza resolução e formato de imagens e vídeos compatíveis com disponibilização via <i>Web</i> .
3	Cuida para não ter efeitos visuais que atrapalhem a interação do usuário, tirando o foco do mesmo do que importa (o aprendizado a partir da interatividade).
4	Utiliza opções de menu, botões e <i>links</i> para navegação claramente padronizados e, consistentes, com os demais recursos de interface utilizados no sistema.
5	Mantém sempre uma padronização de layout (uso de cores, fontes, imagens, etc.) do sistema.
<b>Subcomponente Usabilidade</b>	
6	Oferece facilidade para que o usuário aprenda a explorar e utilizar os diferentes módulos e atividades incluídos.
7	Possui a capacidade de tornar a sua utilização fácil para os usuários.
8	As características (padronização de telas, navegação, <i>design</i> , etc.) facilitam ao usuário a memorização dos caminhos e procedimentos de interação para uso adequado do sistema.
9	A informação contida no espaço de conhecimento incorporado no sistema (por exemplo, informações referentes às aulas e moléculas) é apresentada de maneira entendível.
10	A interação com a aplicação é agradável e atrativa, sente-se satisfeito com o sistema.
<b>Subcomponente Motivação</b>	
11	O <i>design</i> (interface gráfica) do sistema é atraente.
12	A variação (de forma, conteúdo ou de atividades) ajudou a me manter atento ao sistema.
13	O conteúdo do sistema é relevante para os meus interesses.

Quadro 6 – Itens que compõem o instrumento de avaliação

(conclusão)

14	O conteúdo do sistema está conectado com outros conhecimentos que eu já possuía.
15	Foi fácil entender o sistema e começar a utilizá-lo como material de estudo.

Fonte: Autor.

A seleção das questões para a concepção do instrumento de avaliação foi embasada em critérios condizentes à relevância destas com a pesquisa. Por exemplo, Silveira e Carneiro (2012) propõem dezoito diretrizes relacionadas à interatividade, contudo, somente as cinco questões consideradas mais significativas à esta pesquisa foram ajustadas e utilizadas; já Rezende (2013) sugere dez requisitos referentes à usabilidade e Savi (2011) indica dez requisitos referentes à motivação.

Também houve a preocupação de adequar o vocabulário utilizado pelos autores na elaboração de suas questões (diretrizes ou requisitos), sem que estas perdessem seus objetivos. Esta ação ocorreu devido a diversas questões apresentarem terminologias específicas de suas respectivas áreas de conhecimento, que poderiam ocasionar respostas não condizentes com a verdadeira opinião dos alunos do Ensino Médio.

Para todas as questões foi utilizada, como parâmetro de resposta, a escala Likert de cinco alternativas, variando de -2 a +2: Discordo Fortemente, Discordo, Não Tenho Certeza, Concordo e Concordo Fortemente. Ao responderem às questões, os alunos localizaram-se ao longo da escala por meio da avaliação de direção e intensidade sobre determinado aspecto do Sistema MMAR, satisfazendo assim, o elemento “Métrica” da abordagem GQM, como pode ser observado na Figura 42.

Figura 42 – Modelo de aplicação da escala Likert na avaliação do Sistema MMAR.

Provê formas de uso/interação fáceis de serem lembradas, não excluindo a necessidade de se ter instruções acessíveis sempre.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente

Fonte: Autor.



Além das quinze questões fechadas, apresentadas anteriormente, o instrumento de avaliação também contempla duas questões abertas: “Quais seriam os pontos fortes do sistema?” e “Quais seriam as sugestões de melhoria do sistema?”. Assim, o respondente tem maior flexibilidade no momento da avaliação, não permanecendo limitado ao rol de questões abertas predeterminadas. O instrumento de avaliação está disponível (integralmente) no Apêndice B.

### **6.1.3. Confeção de Marcadores**

Após o recrutamento de amostras e da elaboração do instrumento de avaliação, foi necessário confeccionar quinze marcadores: quatorze marcadores destinados aos alunos (pois a maior turma abrangia quatorze alunos) e um marcador destinado ao professor. Foram realizados inúmeros testes, com diversos tipos de marcadores, isto é, produzidos em diversas configurações (formatos), como: impressos em folha do tipo A4, impressos em folhas com maior gramatura, impresso em folha do tipo A4 e posteriormente anexado em um dos lados de um cubo, etc.

Todos estes testes tiveram o intuito de encontrar a melhor configuração para manipular o modelo molecular utilizando a interface de Realidade Aumentada, pois é notório que os movimentos são limitados quando utilizados, por exemplo, marcadores impressos em folhas brancas (não necessariamente do tipo A4). Isso pode ser observado nos trabalhos de Farias, Dantas e Burlamaqui (2011), Nickels et al. (2012), Singhal et al. (2012) e Maier, Klinker e Tönnis (2009), sendo que estes últimos utilizaram marcadores impressos nas porções laterais de cubos.

Com a realização dos testes, foi possível constatar que marcadores impressos em folhas do tipo A4 apresentam uma capacidade de manipulação muito pequena, sendo que, obrigatoriamente, o marcador deve permanecer apoiado sobre uma superfície plana (em uma mesa ou até mesmo na palma da mão). Caso os marcadores sejam impressos em folhas com uma gramatura maior (até mesmo anexados em uma cartolina), estes apresentam uma capacidade de manipulação um pouco maior, visto que não há necessidade de estarem sobre uma superfície plana e podem ser manejados pelas próprias bordas (ou cantos); já o marcador na forma de cubo (com marcadores impressos em seus lados) apresenta uma capacidade de manipulação ainda maior, porém igualmente gera limitações e desconforto no momento de realizar movimentos de rotação.

Após estas análises, concluiu-se que para obter resultados ainda melhores, na utilização da interface de Realidade Aumentada, seria necessário corrigir o problema de rotação gerado pelo cubo. Então, desenvolveu-se um modelo de marcador que possui uma configuração simplificada, contendo apenas um lado (seria desnecessário manter todos os lados do cubo), com a imagem sendo impressa em uma folha com maior gramatura (ou fixada a ela) e que permitisse executar movimentos de rotação sem gerar grandes limitações ou desconforto. O modelo de marcador proposto e utilizado nesta pesquisa é apresentado na Figura 43.

Figura 43 – Marcador utilizado na avaliação do Sistema MMAR.



Fonte: Autor.

Os marcadores confeccionados e utilizados nesta pesquisa (Figura 43) apresentam uma superfície impressa (imagem do marcador) em folha do tipo A4 de aproximadamente 9cm X 9cm, presa sobre uma superfície de cartolina do mesmo tamanho e, por fim, esta é fixada em um cilindro de aproximadamente 4cm. Dessa forma, a imagem do marcador permanece em uma superfície plana e consistente, propiciando que o próprio marcador seja facilmente manipulado (sendo manuseado por meio do cilindro) e, ainda, permitindo que sejam executados, confortavelmente, movimentos de rotação sem grandes limitações.

Na sequência, é apresentada a subseção referente à execução da avaliação do Sistema MMAR.

## 6.2. EXECUÇÃO DA AVALIAÇÃO

Esta subseção objetiva abordar os procedimentos de execução da avaliação da pesquisa, que iniciou com a aplicação do Sistema MMAR, na disciplina de Química. A escolha do local para aplicação do Sistema MMAR tornou-se restrita, pois como todos os alunos (incluindo o professor) utilizariam individualmente a interface de Realidade Aumentada, seria necessário, no mínimo, um quantitativo de quinze *webcams* ou dispositivos providos de *webcams* (como *notebooks* ou *netbooks*). Uma vez que a Instituição não era equipada com o número de dispositivos com *webcam* integrada e, sequer havia o montante de *webcams* necessário, optou-se por utilizar os computadores pertencentes à Coordenação de Ensino a Distância, mais especificamente, os computadores utilizados pelos tutores a distância que, no período de aplicação do sistema, não estariam sendo utilizados.

O quantitativo de computadores foi perfeitamente contemplado, pois no local estavam disponíveis quinze unidades e, em relação ao requisito *webcam*, estes computadores apresentam uma peculiaridade: são do tipo *All in One*<sup>41</sup>, possuindo assim, *webcam* integrada. Como o local já apresentava-se organizado (Figura 44), no formato de um laboratório (com bancadas e cadeiras), foi necessário somente realizar alguns testes: de funcionamento, para confirmar se todos estavam operando adequadamente, incluindo a *webcam*; de conexão com a Internet, para verificar se todos os computadores estavam acessando corretamente à Internet (e com velocidade adequada); por último, de utilização da *webcam* no Sistema MMAR, para analisar a qualidade desta (captação de imagens), bem como as condições de processamento para realizar as renderizações dos modelos moleculares.

---

<sup>41</sup> São computadores que abrigam no monitor todo o *hardware* necessário para operar, como placa mãe, processador, memórias, etc.

Figura 44 – Local da aplicação do Sistema MMAR.



Fonte: Autor.

Para o professor ser capaz de utilizar o Sistema MMAR, proporcionando a ele maior liberdade para realizar os movimentos com o marcador, uma simples *webcam* foi ajustada no braço de movimentação de um tripé (utilizado para o suporte de câmeras maiores) e, ligada a um notebook, que por sua vez estava conectado à uma televisão LCD de 42 polegadas (Figura 45).

Como a mesa que continha a televisão estava próxima à bancada dos computadores, garantia aos alunos uma visualização satisfatória dos modelos moleculares que o professor manipulava. O conjunto dos dispositivos utilizados pelo professor, também facilitou suas regulagens, pois todos eram passíveis de ajustes, por exemplo, a televisão poderia ser inclina de acordo com o melhor ângulo de visão dos alunos, o *notebook* poderia ser colocado em qualquer posição da mesa ou até mesmo da sala (pois o cabo que o conectava à televisão possuía quinze metros), a *webcam* poderia ser girada em 360 graus, permitindo ainda, regular sua altura, por meio do tripé.

Figura 45 – Professor utilizando o Sistema MMAR.



Fonte: Autor.

Na aplicação do sistema foram utilizados dispositivos cujas configurações estão descritas no Quadro 7. Percebe-se, que é imprescindível a identificação das configurações dos equipamentos que são utilizados para a renderização de modelos moleculares tridimensionais, pois principalmente para exibir moléculas com um número elevado de átomos, como proteínas (e/ou utilizando modelos de representação como o *sticks* ou *ball and stick*), é absolutamente necessário obter maior desempenho.

Quadro 7 – Configurações dos equipamentos utilizados na aplicação

(continua)

<b>Aspectos</b>	<b>All in One</b>	<b>Notebook</b>
<b>Fabricante</b>	LG	Dell
<b>Modelo</b>	22v240	Vostro 3450
<b>Sistema Operacional</b>	Windows 8.1	Windows 7

Quadro 7 – Configurações dos equipamentos utilizados na aplicação

(conclusão)

<b>Processador</b>	<b>Intel Celeron N2930</b>	<b>Intel Core i5-2410M 2.3GHz</b>
<b>Memória RAM</b>	4GB	8GB
<b>Disco Rígido</b>	500GB	500G

Fonte: Autor.

Para agilizar o processo de cadastramento de alunos no sistema, o pesquisador auxiliou o professor e, com antecedência à avaliação, realizou o cadastro de todos os alunos que participaram desta. Foram criados usuários individuais, seguindo o padrão de *login* “nome.sobrenome” e o padrão aplicado às senhas sendo a inicial do nome seguido “123”. Os usuários foram divididos em dois grupos no Sistema MMAR, o primeiro denominado “3º Ano - Integrado Eventos - T30”, referente à turma 30, do terceiro ano, do curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do IF Farroupilha Campus São Borja, contendo onze alunos e, o segundo denominado “3º Ano - Integrado Eventos - T31”, referente à turma 31 do mesmo curso, possuindo quatorze alunos.

Na sequência, o professor cadastrou três aulas no sistema, de acordo com sua metodologia de ensino, intituladas “Compostos de Enxofre - Ácidos Sulfônicos”, “Compostos de Enxofre - Tiocompostos” e “Química Orgânica”, vinculando os dois grupos (turmas) às mesmas, permitindo, assim, os acessos dos integrantes dos respectivos grupos às aulas cadastradas. Com a finalidade de demonstrar o uso do Sistema MMAR na manipulação de modelos moleculares de maior complexidade, o pesquisador acrescentou duas aulas consideradas “complementares”, intituladas: “Zika (Vírus)” e “5MR3 (Proteína)”.

No momento em que os alunos chegaram no local da aplicação da avaliação, acomodaram-se aleatoriamente nas bancadas, permanecendo apenas um aluno por computador. Logo, o professor fez uma breve explanação sobre a aplicação da avaliação, relacionando-a com sua matéria e, mais especificamente, com a aula que seria ministrada. Em seguida, o professor passou a palavra ao pesquisador, que contextualizou o Sistema MMAR, abordando sua origem, motivo de seu desenvolvimento, algumas tecnologias envolvidas (como a Realidade Aumentada) e,

por último, enfatizando a importância da avaliação. O professor novamente fez uso da palavra e, deu início à sua aula, utilizando o Sistema MMAR.

Para melhor conduzir a execução da avaliação desta pesquisa, previamente foi determinado um roteiro, constituindo, assim, um percurso pedagógico que deveria ser cumprido pelos alunos, conforme apresentado no Quadro 8.

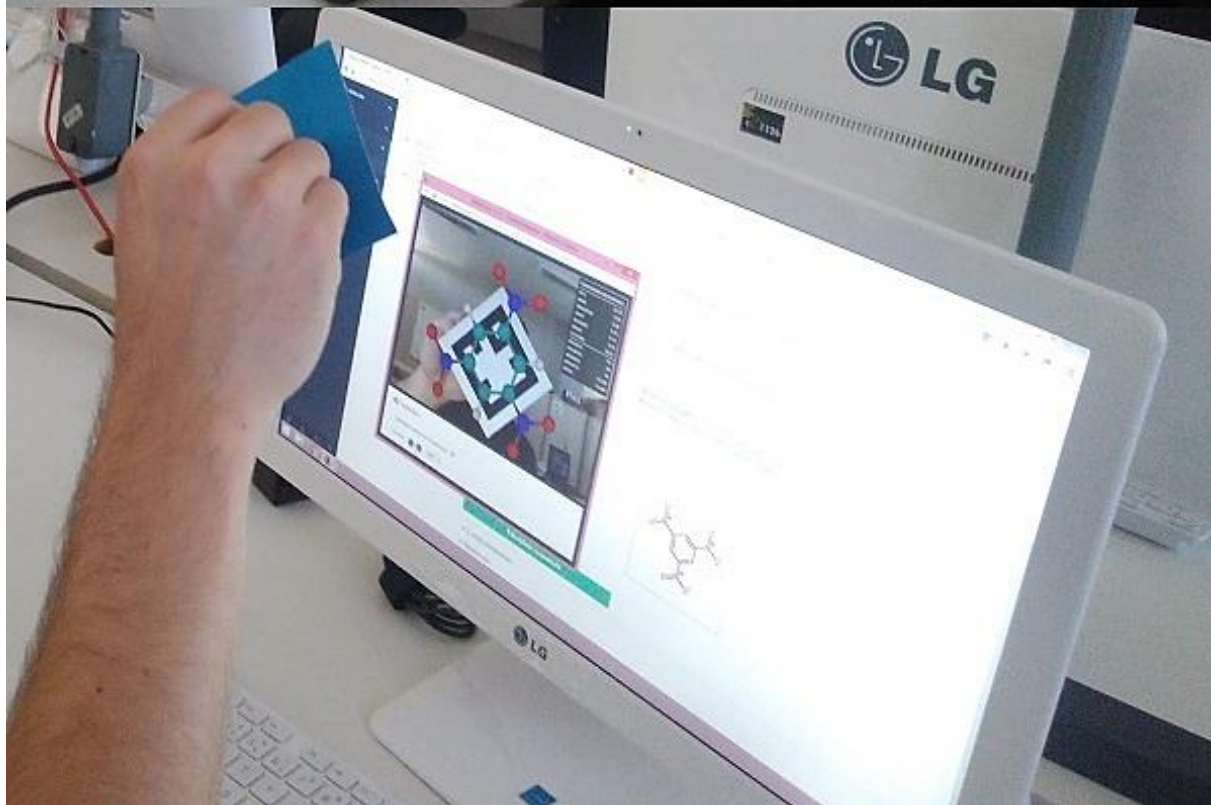
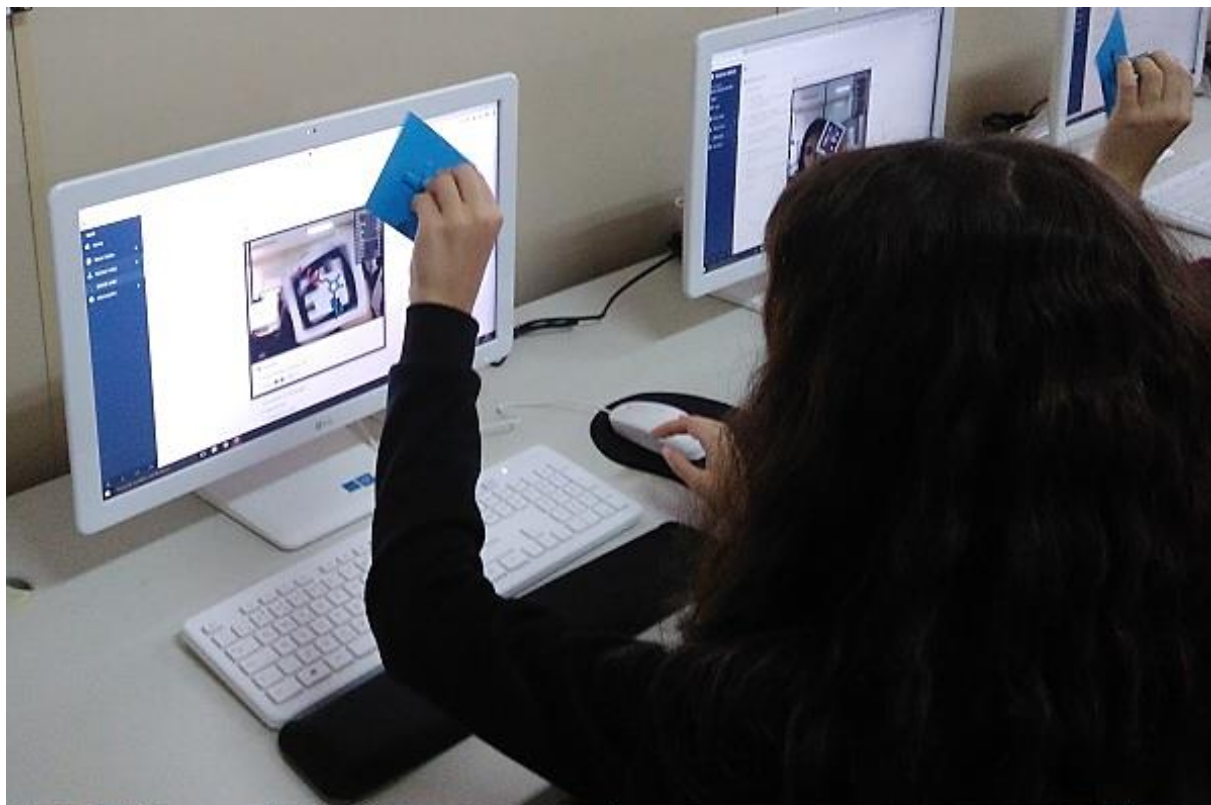
Quadro 8 – Percurso pedagógico cumprido pelos alunos na execução da avaliação

Item	Atividade	Descrição
1	Acesso ao Sistema MMAR	Por meio do navegador (Google Chrome ou Mozilla Firefox), o aluno realiza o acesso ao Sistema MMAR
2	Introdução ao sistema	Realizado o acesso (com o usuário já autenticado), o aluno recebe as instruções iniciais do sistema, bem como sua contextualização.
3	Alteração de senha	Sendo o primeiro acesso do aluno, este é informado a alterar sua senha e, caso necessário, demais informações na seção “Meus Dados”.
4	Instruções das Atividades	Antes dos alunos acessarem a seção “Minhas Aulas”, estes recebem instruções referentes às atividades que deveriam ser realizadas.
5	Acesso às aulas	Acessando as aulas, os alunos têm liberdade para visualizar o conteúdo de cada aula, bem como manipular qualquer molécula, por meio da interface de Realidade Aumentada.
6	Acesso às aulas complementares	Possibilidade de acesso às aulas complementares, contendo moléculas como Zika Vírus, para exemplificar o uso do sistema na manipulação de modelos moleculares maiores (de maior complexidade).
7	Finalização do acesso	Após a realização das atividades, os alunos são informados a saírem do sistema e, na sequência, desligarem seus computadores.

Fonte: Autor.

É importante ressaltar que o item 4 do Quadro 8 (Instruções das Atividades), refere-se às questões que os alunos deveriam responder, enquanto utilizavam o sistema (fazendo uso da interface de Realidade Aumentada, como pode ser observado na Figuras 46 e 47), como: “Identifique os grupos funcionais presentes nas moléculas”, “Escreva a fórmula molecular dos compostos” e “Escreva o nome dos compostos que apresentam apenas um grupo funcional”.

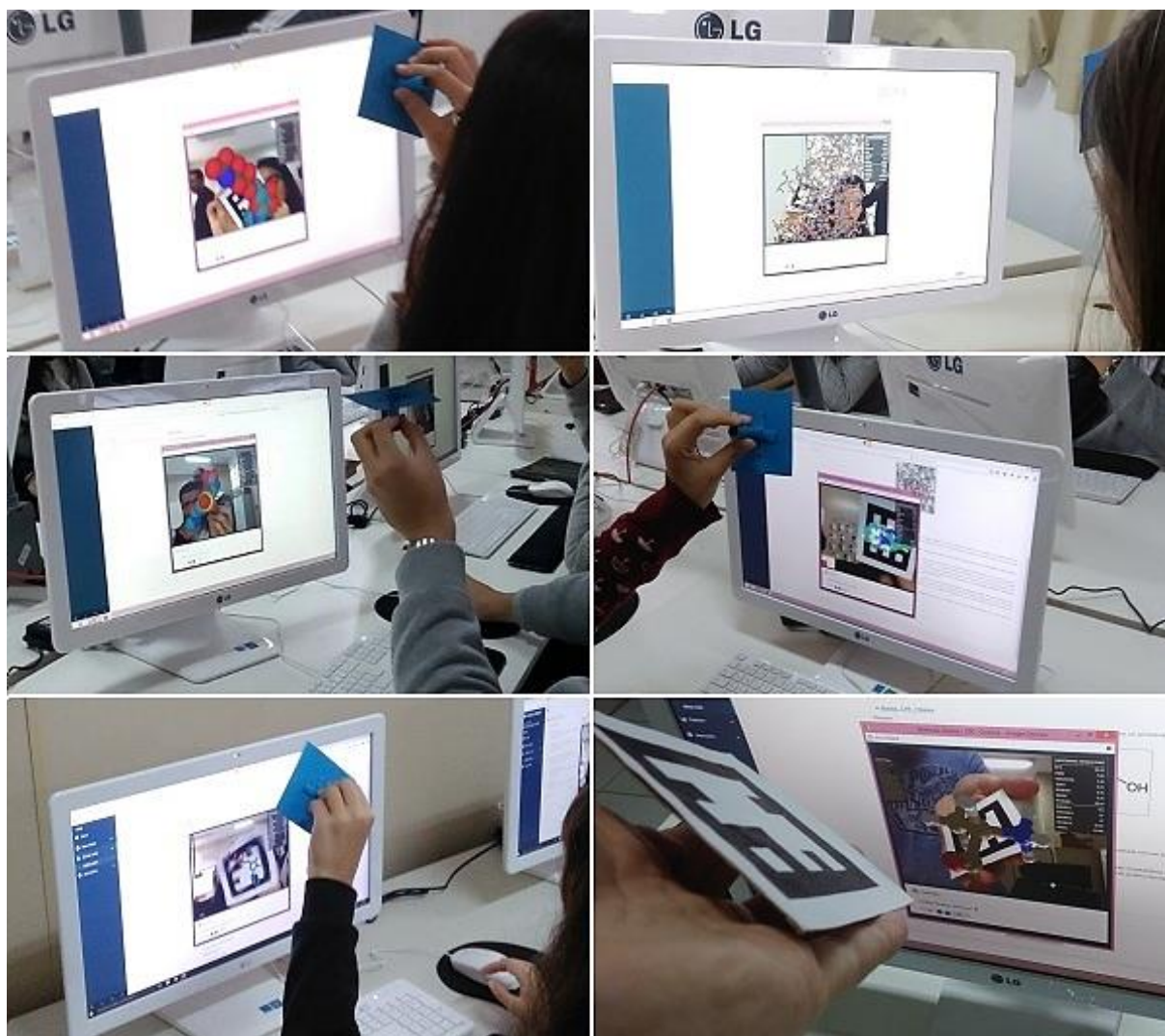
Figura 46 – Alunos utilizando o Sistema MMAR.



Fonte: Autor.

Figura 47 – Alunos utilizando o Sistema MMAR.





Fonte: Autor.

Ao concluir integralmente o percurso pedagógico e, após a execução do item 7 do Quadro 8, os participantes foram convidados a avaliar o sistema respondendo ao questionário de avaliação. Para esta ação, os alunos foram estimulados a refletirem sobre as atividades que lhes foram dirigidas, bem como a utilizar o instrumento de avaliação, de forma sincera e espontânea, independentemente de suas percepções serem consideradas boas ou ruins.

Durante a execução da avaliação não foram percebidos imprevistos, tanto o professor quanto os alunos realizaram as atividades propostas de forma satisfatória. O único inconveniente identificado, logo no início da avaliação, foi o excesso de iluminação no ambiente, que interferia diretamente na captação das imagens dos marcadores pelas câmeras, prejudicando a renderização (e manipulação) dos

modelos moleculares. Contudo, o problema foi solucionado de forma simples: desligando algumas luzes e fechando cortinas, pois a avaliação ocorreu durante o dia e as janelas compreendem um lado (completo) da sala.

Na próxima subseção são expostas as análises e as interpretações dos dados obtidos por meio da aplicação da avaliação.

### 6.3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta subseção apresenta os dados obtidos por meio da avaliação da pesquisa, de acordo com o planejamento e a execução abordados nas subseções prévias. Tem como intuito analisar os aspectos relacionados à interatividade e à usabilidade ocorridos pelo uso da interface de Realidade Aumentada pelos alunos e, ainda verificar as possíveis influências motivacionais.

Para tanto, foram empreendidas relações entre os dados identificados (com base no instrumento de avaliação), bem como nas considerações realizadas pelo professor, procurando por padrões e discutindo as principais contribuições dos avaliadores. Por fim, também objetiva-se identificar os pontos fortes e fracos e, ainda, as limitações encontradas com o sistema, permitindo, assim, sugerir melhorias.

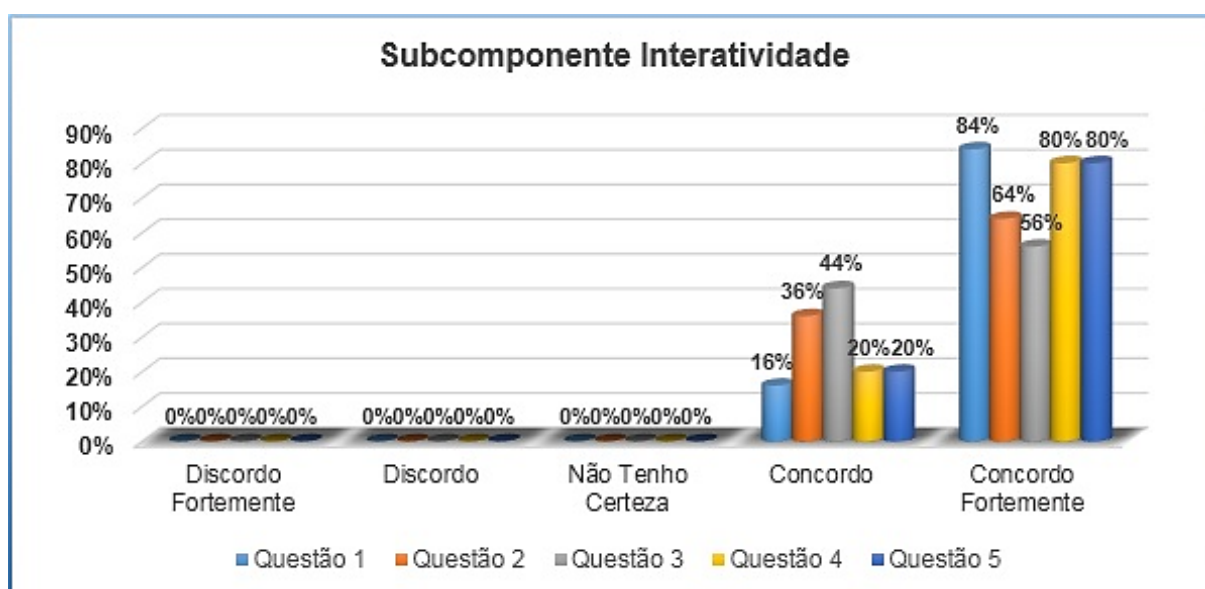
Na concepção do instrumento de avaliação desta pesquisa (Questionário), foram considerados os subcomponentes interatividade, usabilidade e motivação, sendo os mesmos constituídos pela adaptação dos respectivos modelos: das diretrizes relacionadas à interatividade propostas por Silveira e Carneiro (2012); do questionário direcionado aos aspectos de usabilidade proposto por Rezende (2013); e do questionário relativo à motivação sugerido por Savi (2011).

Ainda em relação à abordagem das análises dos resultados da avaliação, observa-se que esta foi aplicada a duas turmas distintas, contudo, os resultados serão analisados em conjunto, pois as duas pertencem ao terceiro ano do curso Técnico em Eventos Integrado ao Ensino Médio do IF Farroupilha Campus São Borja, sendo que a disciplina foi ministrada pelo mesmo professor (com conteúdo equivalente) e, também, pela condução do experimento (incluindo o percurso pedagógico – Quadro 8) ter sido igualmente executada em ambas as turmas.

### 6.3.1. Subcomponente Interatividade

Nesta subseção são apresentadas as análises condizentes aos resultados referentes ao subcomponente interatividade do instrumento de avaliação. O Gráfico 1 ilustra os valores (percentuais) correspondentes a cada questão deste subcomponente, em relação as cinco alternativas da escala Likert (subseção 4.3.3): Discordo Fortemente, Discordo, Não Tenho Certeza, Concordo e Concordo Fortemente.

Gráfico 1 – Subcomponente Interatividade.



Fonte: Autor.

A seguir as questões do subcomponente interatividade (itens do Questionário) são analisadas e comentadas individualmente, buscando demonstrar a média de pontuação de cada questão, enfatizando os aspectos sobressaídos e relevantes para esta pesquisa que os próprios usuários identificaram.

**Questão 1** - *Provê formas de uso/interação fáceis de serem lembradas, não excluindo a necessidade de se ter instruções acessíveis sempre.*

Esta questão apresenta a melhor percentagem deste subcomponente (Gráfico 1), contendo 84% das avaliações atribuídas à resposta “Concordo Fortemente” (“+2” na escala Likert) e 16% facultado à resposta “Concordo” (“+1” na escala Likert),

demonstrando que o sistema contemplou o requisito de projeto referente à “identidade visual” da interface gráfica (subseção 5.3.3), contendo características focadas na simplicidade, na objetividade, na consistência visual e na clareza.

Esses números também ratificam o posicionamento de Nielsen (2003) em relação à possibilidade do usuário, que está utilizando o sistema, de lembrar facilmente das ações que necessita realizar para executar as operações que ele julgue conveniente. Ou, ainda, a viabilidade do usuário, independentemente do intervalo de tempo sem interagir com o sistema, de quando voltar a utilizá-lo, recordar-se das principais ações, sem ter a necessidade de consultar instruções ou qualquer tipo de manual.

Como ponto positivo, durante a avaliação do sistema, alguns alunos ainda relataram que “é muito fácil de lembrar dos caminhos no sistema”, isto é, eles estavam se referindo às formas de uso e interação utilizadas pelo o sistema. Pontos negativos não foram observados durante a avaliação. Também é importante observar que não ocorreram avaliações condizentes à: “Discordo Fortemente” (“-2” na escala Likert), “Discordo” (“-1” na escala Likert) e “Não Tenho Certeza” (“0” na escala Likert).

**Questão 2** - *Utiliza resolução e formato de imagens e vídeos compatíveis com disponibilização via Web.*

Esta questão aponta uma percentagem de 64% das avaliações direcionada à resposta “Concordo Fortemente” (“+2” na escala Likert) e 36% voltada à resposta “Concordo” (“+1” na escala Likert). Esses números confirmam que o sistema alcançou o requisito de projeto referente aos “elementos gráficos priorizados” da interface gráfica, bem como à “identidade visual”, mais precisamente o aspecto voltado à integração de tecnologias.

Ao decorrer da avaliação, no instante em que utilizava a interface de Realidade Aumentada, um aluno questionou: “Porque a janela do vídeo é pequena? Não poderia ser maior?”. Como o pesquisador percebeu que os demais alunos interessaram-se pelo questionamento, foi explicado, rapidamente, a todos, que o tamanho da janela onde estava sendo exibido o vídeo (RA) era considerado o mais adequado, pois caso fosse maior, abrangeria uma área maior de renderização e, como consequência, poderia apresentar problemas de otimização tanto na qualidade das imagens quanto na realização dos movimentos de manipulação dos modelos moleculares.

Assim, o sistema não somente utiliza uma resolução e um formato de imagens e vídeos compatíveis com disponibilização por meio da *Web*, mas corrobora

diretamente com o posicionamento de Shneiderman (1998), que prioriza a compatibilidade dos elementos de uma interface gráfica com seu contexto de aplicação.

**Questão 3** - *Cuida para não ter efeitos visuais que atrapalhem a interação do usuário, tirando o foco do mesmo do que importa (o aprendizado a partir da interatividade).*

Neste subcomponente (Gráfico 1), é a questão que apresenta a menor percentagem das avaliações atribuídas à resposta “Concordo Fortemente” (“+2” na escala Likert) com 56% e, 44% conferida à resposta “Concordo” (“+1” na escala Likert). Contudo, representa uma excelente avaliação para esta questão, permitindo contemplar os requisitos de projetos: “localização” (subseção 5.3.3), onde, busca-se o *design* livre de informações irrelevantes, “usabilidade” e “identidade visual”, onde são priorizados os aspectos referente à limpeza e à clareza da interface gráfica.

Dessa forma, com os números representando valores considerados adequados, a premissa de prevenir para que o sistema não possua efeitos visuais que possibilitem dificultar a interação do usuário com o próprio sistema, desviando a atenção dele do que realmente importa (aprendizado a partir da interatividade), contempla a condição proposta por Silveira e Carneiro (2012), que busca proporcionar que o usuário possa interagir, executando ações com o objeto, sem que o foco seja perdido.

Durante a avaliação, dois alunos (um complementando o outro) observaram que na seção “Minhas Alunas”, mais especificamente no momento da seleção de uma molécula de determinada aula, ao clicar sobre o nome da molécula (para que as informações desta fossem expostas), o sistema (de forma automática) redirecionava o usuário ao topo da mesma interface. Como consequência, para possibilitar ao usuário visualizar as informações da molécula escolhida (“clorada”), este deveria voltar até o local da interface, no qual estava situada a molécula (na parte inferior da interface).

Possivelmente este tenha sido o principal motivo pelo qual esta questão tenha recebido a menor avaliação do subcomponente interatividade. Contudo, alunos também observaram que o sistema é “muito limpo”, pois não possui, por exemplo, *banners*, imagens não condizentes com o conteúdo, *links* coloridos, etc.

**Questão 4** - *Utiliza opções de menu, botões e links para navegação claramente padronizados e, consistentes, com os demais recursos de interface utilizados no sistema.*

Esta questão demonstra uma percentagem de 80% das avaliações voltada à resposta “Concordo Fortemente” e 20% atribuída à resposta “Concordo”. Esses valores corroboram que o sistema obteve êxito em seus requisitos de projeto (subseção 5.3.3) relacionados à “usabilidade” da interface gráfica, com cores apropriadas e com elementos visuais que mantenham a mesma localização nas interfaces do sistema, bem como à “busca e pesquisa”, contendo títulos destacados, com elementos gráficos visualmente condizentes com as funções.

Durante a implementação do sistema houve a constante preocupação de padronizar o sistema (opções de menus, botões e *links* para navegação) por meio de elementos que realmente fossem considerados padrões em sistemas *Web*, mas com *design* diferenciado. Por exemplo, são utilizados elementos em formulários, como *checkbox* (interruptores), com *design* moderno, reproduzindo o estilo utilizado pelo iOS<sup>42</sup>.

Por fazer uso de opções de menu, formulários, botões e *links* para navegação evidentemente padronizados, procurando tornar os elementos gráficos consistentes com os recursos de interface, o sistema demonstra estar comprometido com a ideia de consistência de Bastien e Scapin (1993), onde são prezados os aspectos relacionados à consistência dos elementos gráficos com suas funções (recursos), propiciando ao usuário a execução de suas atividades, inexistindo equívocos entre o elemento gráfico e sua respectiva funcionalidade.

**Questão 5** - *Mantém sempre uma padronização de layout (uso de cores, fontes, imagens, etc.) do sistema.*

Esta questão apresenta os mesmos valores percentuais da questão anterior: contendo 80% das avaliações atribuídas à resposta “Concordo Fortemente” (“+2” na escala Likert) e 20% voltado à resposta “Concordo” (“+1” na escala Likert). Esses valores demonstram que o sistema, contemplou o requisito de projeto referente à “localização” da interface gráfica (subseção 5.3.3), contendo elementos gráficos visualmente padronizados, buscando a aplicação de um visual semelhante em todas as interfaces do sistema, incluindo mensagens claras e objetivas.

---

<sup>42</sup> iOS (antes chamado de *iPhone OS*) é um Sistema Operacional móvel da *Apple Inc.* desenvolvido originalmente para o *iPhone*, também usado em *iPod touch* e *iPad*.

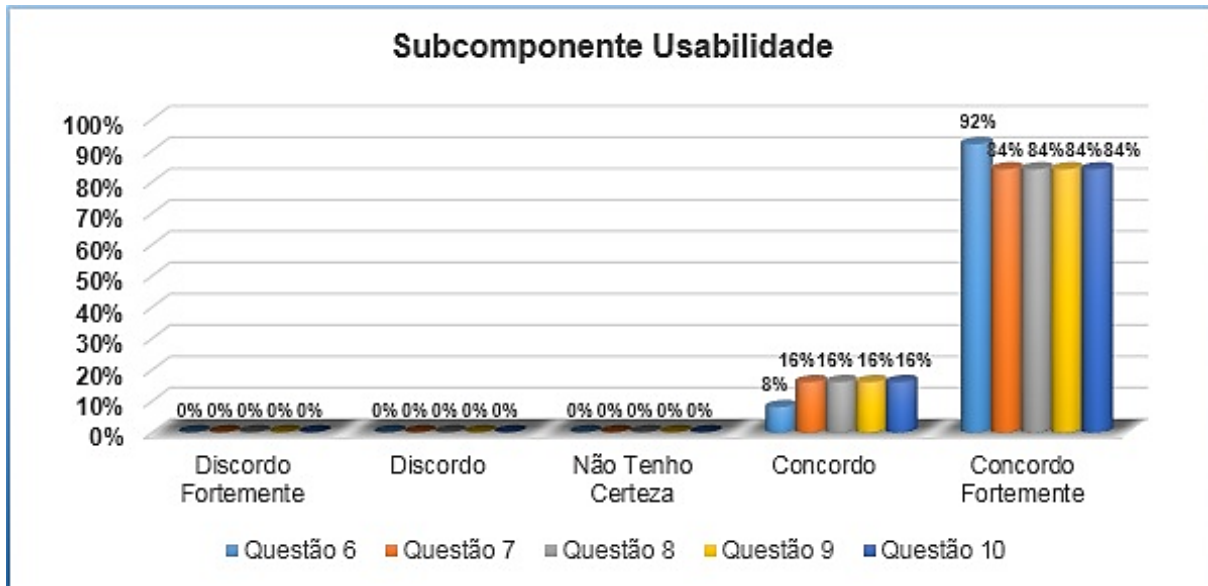
Os números mencionados representam claramente que esta questão está de acordo com posicionamento de Nielsen (2003) em relação à facilidade de aprendizagem, pois existindo uma padronização de *layout*, o tempo e esforço necessários para que os usuários atinjam um determinado nível de familiaridade com o sistema são menores. Sendo o contrário percebido em sistemas cujos *layouts* não apresentam padronizações, onde os usuários necessitam de maior tempo e esforço para a aprendizagem de utilização do sistema.

Ainda em relação à esta questão, cabe observar que uma das prioridades de projeto da interface gráfica foi justamente a padronização do *layout*. O usuário do tipo “professor”, por exemplo, poderá deslocar-se pelo sistema e ao encontrar o formulário de cadastro na seção “Grupos” e, após, na seção “Usuários”, na seção “Moléculas”, na seção “Aulas”, etc., perceberá que os *layouts* são análogos. O mesmo aplica-se a todas as interfaces de “edição”, de “listagem”, de “exclusão”, de “relatórios” e de “ajuda”.

### **6.3.2. Subcomponente Usabilidade**

Nesta subseção são expostas as análises condizentes aos resultados referentes ao subcomponente usabilidade do instrumento de avaliação, sendo que este modelo possui como base os critérios propostos por Rezende (2013). O Gráfico 2 ilustra os valores (percentuais) correspondentes a cada questão deste subcomponente, condizentes as cinco alternativas da escala Likert (subseção 4.3.3): Discordo Fortemente, Discordo, Não Tenho Certeza, Concordo e Concordo Fortemente.

Gráfico 2 – Subcomponente Usabilidade.



Fonte: Autor.

Na sequência, as questões referentes ao subcomponente usabilidade (itens do Questionário) são analisadas e comentadas individualmente, buscando demonstrar as pontuações de cada questão, enfatizando os aspectos sobressaídos e relevantes para esta pesquisa, que os próprios usuários identificaram.

**Questão 6** - *Oferece facilidade para que o usuário aprenda a explorar e utilizar os diferentes módulos e atividades incluídos.*

Esta questão apresenta o maior valor percentual (92%) direcionado à resposta “Concordo Fortemente” (“+2” na escala Likert), não somente entre as respostas deste subcomponente, mas também o maior valor entre todas as questões dos três subcomponentes. Já para a resposta “Concordo” (“+1” na escala Likert) foi atribuído o valor de 8%.

Esta facilidade de aprendizagem apresentada pelo sistema (expressada pelos valores citados), vai ao encontro da proposta de Rezende (2013), onde é prezada a característica voltada à facilidade oferecida pelo sistema, com o intuito do usuário aprender a explorar e fazer uso tanto das distintas seções (módulos) quanto das diferentes tarefas incluídas (cadastradas no sistema).

Da mesma forma, os números deixam transparecer que o sistema atende a um fator imprescindível apresentado por Reategui (2007), em relação à facilidade de



aprendizagem, que permite ao usuário, que está acessando pela primeira vez a interface gráfica do Sistema MMAR, poder aprendê-la suficientemente para efetivar as tarefas básicas necessárias.

Em diversas ocasiões os alunos, durante a avaliação, comentaram que o “sistema era muito fácil de ser usado”, mesmo sendo a primeira vez que estavam utilizando o Sistema MMAR, não houve a necessidade de acessarem a seção “Ajuda”. É importante observar que a facilidade de aprendizagem também está relacionada a outros aspectos, como, por exemplo, aos mecanismos de orientação e navegação empregados.

**Questão 7** - *Possui a capacidade de tornar a sua utilização fácil para os usuários.*

Esta questão demonstra uma percentagem de 84% das avaliações voltada à resposta “Concordo Fortemente” e 16% atribuída à resposta “Concordo”. Esses números comprovam que o sistema obteve sucesso na implementação de um conjunto de requisitos de projeto (subseção 5.3.3), como os relacionados à “usabilidade”, à “busca e pesquisa”, à “localização” e à “eficiência”.

Esses valores corroboram com o posicionamento de Nielsen (2003) em relação à facilidade de utilização (eficiência), onde são considerados aspectos referentes à experiência dos usuários e avalia o esforço físico e cognitivo destes durante o processo de interação, mensurando a velocidade, bem como o número de erros praticados durante a execução de determinada atividade.

Durante a atividade de avaliação, houve um diálogo entre dois alunos que se encontravam lado a lado na bancada, pertinente à esta questão, onde o primeiro perguntou: “Tá conseguindo?”; e o segundo respondeu: “Claro né! Muito fácil...”. Por consequência, esse simples diálogo (de poucas palavras) contribui muito para ilustrar a facilidade de utilização do Sistema MMAR.

**Questão 8** - *As características (padronização de telas, navegação, design, etc.) facilitam ao usuário a memorização dos caminhos e procedimentos de interação para uso adequado do sistema.*

Com uma percentagem de 84% das avaliações voltada à resposta “Concordo Fortemente” e 16% atribuída à resposta “Concordo”, esta questão também apresenta valores muito bons, que demonstram que o sistema contemplou principalmente o requisito de projeto (subseção 5.3.3) relacionado à “localização”, priorizando

essencialmente um *layout* padronizado (com visual semelhante em todas as interfaces).

Esses valores demonstram que o sistema respeita a posição de Nielsen (2003), que objetiva fazer com que o usuário realize poucas ações para atingir seu objetivo, facilitando o processo de memorização e, por consequência, favorecendo sua utilização (característica abordada na questão anterior). Também solidifica o aspecto atendido pelo sistema em relação ao suporte à memorização, determinado por Rezende (2013), o qual busca aprimorar a padronização (considerando a harmonia) de todos os elementos que compõem a interface gráfica, como cores, fontes, menus, *links*, formulários, imagens, etc.

**Questão 9** - *A informação contida no espaço de conhecimento incorporado no sistema (por exemplo, informações referentes às aulas e moléculas) é apresentada de maneira entendível.*

Esta questão possui uma peculiaridade, que é importante ser ressaltada: o que está sendo avaliado não é exclusivamente o sistema, mas também, o conteúdo apresentado por ele. Para o sucesso da mesma, devem ser atendidos dois aspectos importantes: o primeiro é o conhecimento do professor em relação aos recursos do sistema (como a possibilidade de anexar imagens, colorir textos, etc.), pois assim poderá tornar às informações referentes às aulas e às moléculas não somente entendíveis, como também, atrativas; o segundo é a capacidade de o professor organizar (montar) suas aulas no sistema da forma mais adequada possível, otimizando o entendimento.

Esta questão apresenta uma percentagem de 84% das avaliações dirigida à resposta “Concordo Fortemente” e 16% atribuída à resposta “Concordo”. Esses valores comprovam que o sistema obteve sucesso no cumprimento do objetivo de “apresentar de maneira entendível a informação contida no espaço de conhecimento incorporado no sistema”, contemplando, também o requisito referente à “clareza das informações”, sugerido por Rezende (2013).

**Questão 10** - *A interação com a aplicação é agradável e atrativa, sente-se satisfeito com o sistema.*

Esta questão expõe os mesmos valores percentuais das três questões anteriores: com o valor de 84% das avaliações atribuído à resposta “Concordo Fortemente” e 16% direcionado à resposta “Concordo”. Esses valores demonstram

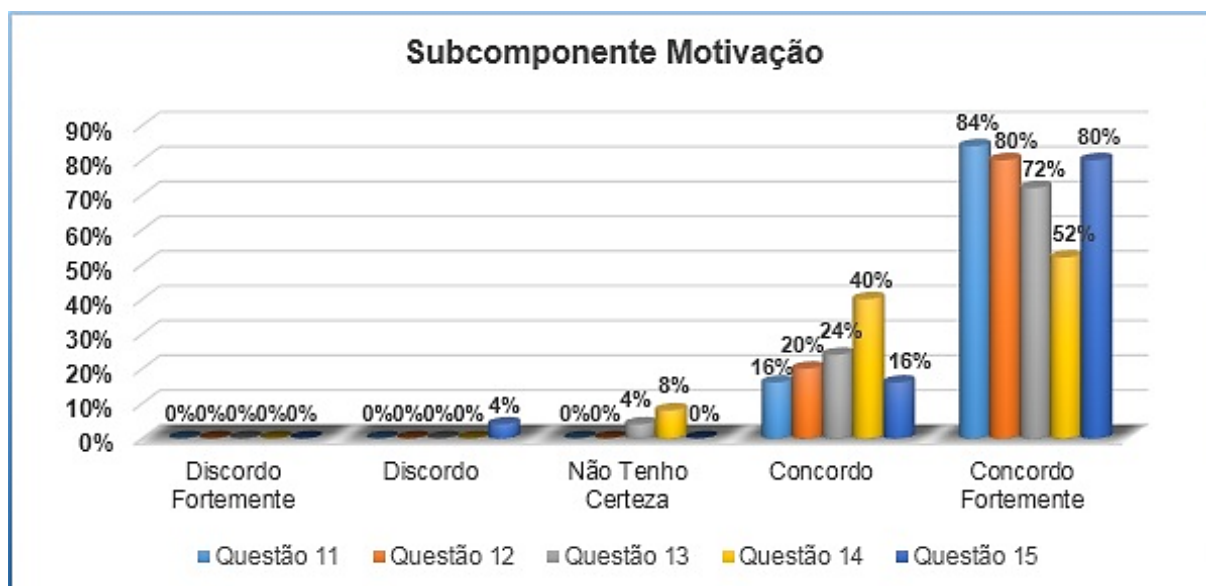
que o sistema, atendeu ao requisito “sentir-se satisfeito com o sistema” de maneira apropriada.

Os números também indicam que o sistema contemplou os aspectos relacionados à satisfação do usuário, propostos por Rezende (2013), que representam uma condição muito subjetiva, segundo a qual o usuário considera a interação com a aplicação prazerosa e interessante, sentindo-se satisfeito com o sistema.

### 6.3.3. Subcomponente Motivação

Nesta subseção são apontadas as análises que tangem aos resultados condizentes ao subcomponente motivação do instrumento de avaliação, sendo que este modelo é constituído pela metodologia sugerida por Savi (2011). O Gráfico 3 ilustra os valores (percentuais) correspondentes a cada questão deste subcomponente, condizentes as cinco alternativas da escala Likert (subseção 4.3.3): Discordo Fortemente, Discordo, Não Tenho Certeza, Concordo e Concordo Fortemente.

Gráfico 3 – Subcomponente Motivação.



Fonte: Autor.

As questões alusivas ao subcomponente motivação são analisadas e comentadas individualmente na sequência, almejando apresentar as pontuações de cada questão, destacando as características relevantes para esta pesquisa que os próprios usuários reconheceram.

**Questão 11** - *O design (interface gráfica) do sistema é atraente.*

Esta questão apresenta uma percentagem de 84% das avaliações voltada à resposta “Concordo Fortemente” (maior índice deste subcomponente) e 16% atribuída à resposta “Concordo”. Esses excelentes valores comprovam que os alunos consideraram a interface gráfica atraente, cumprindo principalmente o requisito de projeto (subseção 5.3.3) relacionado à “identidade visual”, priorizando essencialmente a integração de tecnologias mantendo a objetividade.

Participantes destacaram que o sistema é interessante (considerando um ambiente leve) e que gostaram da diversificação das seções (que incluía gráficos de relatórios). Porém, o que notoriamente sobressaiu, em relação às demais interfaces apresentadas pelo sistema, foi a atratividade proporcionada pela interface de Realidade Aumentada, sem haver perdas da objetividade deste (ensino de moléculas).

Essas observações vão ao encontro das concepções de Prado (2015), que enfatiza a importância de que se tenha uma introdução tecnológica na educação, sendo que a tecnologia introduzida não retire o foco do objetivo da aplicação, pelo contrário, que contribua para que os alunos criem uma relação direta com os conteúdos apresentados.

**Questão 12** - *A variação (de forma, conteúdo ou de atividades) ajudou a me manter atento ao sistema.*

Percebe-se que esta questão está diretamente relacionada à questão anterior, pois além de analisar a apresentação do conteúdo ou de atividades (responsabilidade do professor), também considera a diversificação de formas, que está vinculada à atratividade do sistema (pois, para o aluno manter-se atento deve ser apresentado um mínimo de atratividade).

Da mesma forma que a questão anterior, esta questão obteve valores muito bons em sua avaliação, com uma percentagem de 80% das avaliações direcionada à resposta “Concordo Fortemente” e 16% voltada à resposta “Concordo”. Comprovando

que o sistema apresenta um importante requisito sugerido por Savi (2011), que tange a capacidade da aplicação de deter a atenção do usuário.

Como consequência dos valores atribuídos à avaliação é possível constatar que o sistema é capaz de fazer com que o usuário permaneça atento, não somente pela variação de conteúdo (aulas, moléculas, etc.) ou atividades, que foram criadas pelo professor, mas também pelas características da interface gráfica apresentadas pelo próprio sistema.

**Questão 13** - *O conteúdo do sistema é relevante para os meus interesses.*

Em uma análise sequencial, esta questão foi a primeira a expor valores percentuais que fogem ao padrão apresentado pelas respostas das demais questões analisadas até o momento. Demonstra uma percentagem de 72% das avaliações atribuída à resposta “Concordo Fortemente”, 24% direcionada à resposta “Concordo” e 4% conferida à resposta “Não Tenho Certeza”.

Por mais que seja observado o valor de 4% atribuído à resposta “Não Tenho Certeza”, que corresponde a um respondente, os demais números demonstram que o sistema cumpriu com êxito o objetivo de ser relevante para os interesses do aluno. Como todos os alunos estavam cursando justamente o conteúdo abordado, parte-se do princípio de que um sistema apresentando este conteúdo serviria aos interesses de todos, causando estranheza que somente um aluno não concordou (ou não tinha certeza).

Porém, este fato pode ser atribuído ao entendimento da questão (que é extremamente subjetivo). Como durante o processo de avaliação, alguns alunos comentaram que “não gostavam de Química”, possivelmente, subjetivamente, houve uma relação entre um aluno “não gostar de Química”, com o grau de relevância do conteúdo apresentado pelo sistema ser pertinente aos seus interesses, conferindo, assim, sua resposta à opção “Não Tenho Certeza”.

**Questão 14** - *O conteúdo do sistema está conectado com outros conhecimentos que eu já possuía.*

Os valores apresentados por esta questão assemelham-se aos valores da questão anterior. É direcionada uma percentagem de 52% das avaliações à resposta “Concordo Fortemente”, 40% direcionada à resposta “Concordo” e 8% à resposta “Não Tenho Certeza”.

Esta questão também apresentou o menor valor entre todas as questões dos três subcomponentes, direcionada à resposta “Concordo Fortemente” (52%), por outro

lado, apresentou o maior valor atribuído à resposta “Concordo” (40%). Dessa forma, esses números permitem constatar que o sistema atingiu uma excelente média, contemplando os aspectos propostos por Savi (2011), que envolvem a relevância da conexão do conteúdo expostos no sistema com outros conhecimentos que o usuário detém.

Também é possível observar que esta questão ilustra um cenário semelhante à questão 13, pois, provavelmente, existiu uma relação entre um aluno “não gostar de Química”, com suas respostas, o que poderia explicar a opção “Não Tenho Certeza” ter recebido um percentual de respostas de 8% (dois respondentes). Outro fator admissível é acreditar na possibilidade do professor não ter atingido as expectativas em relação à publicação do conteúdo, pois ele estava trabalhando pela primeira vez no Sistema MMAR, tentando adequar o material utilizado em aula aos recursos disponíveis no ambiente e à sua perspectiva (empírica) de melhor configuração de postagem.

**Questão 15** - *Foi fácil entender o sistema e começar a utilizá-lo como material de estudo.*

Com uma percentagem de 80% das avaliações voltada à resposta “Concordo Fortemente”, 16% atribuída à resposta “Concordo”, esta questão é a única que apresenta um valor dirigido à resposta “Discordo” (4%). Por apresentar valores muito bons, demonstra que o sistema contemplou os aspectos referentes aos requisitos de projeto como: “busca e pesquisa”, “localização”, “eficiência”, “usabilidade”, “priorização de elementos gráficos” e “identidade visual”.

Os números também retratam que o sistema corrobora com a opinião de Nielsen (2003) em relação à satisfação subjetiva dos usuários, estando relacionada com a facilidade de entendimento, proporcionada pelas funcionalidades oferecidas pelo sistema ao usuário.

Nesta questão, igualmente a de número 13, ocorre certa estranheza em relação ao registro de 4% (único respondente) atribuído à resposta “Discordo”, distanciando-se do padrão de respostas apresentadas à esta. Este fato pode ter ocorrido devido ao real motivo do aluno não concordar com a afirmação, ou, provavelmente, como somente foram observados relatos descrevendo a facilidade de entendimento do sistema, bem como sua fácil utilização como objeto de estudo, possivelmente houve uma interpretação imperfeita da questão, prejudicando assim sua avaliação. Isto também pode ser constatado pelo aluno observar somente pontos positivos em

relação ao sistema: “Ele é muito legal e diferente. O design é muito bom e de fácil acesso.”.

#### **6.3.4. Análise das Questões Abertas**

Nesta subseção são comentadas e analisadas as respostas mais relevantes direcionadas às duas questões abertas que constituem, juntamente com as quinze questões fechadas, o instrumento de avaliação. Dessa forma, há uma interessante contribuição, visto que os respondentes possuem maior liberdade de resposta (não permanecendo restritos às respostas pré-determinadas), possibilitando, ainda, que os deixem mais confortáveis e, como consequência, possam ser mais espontâneos e sinceros em suas respostas.

É importante enfatizar que todos os questionários foram respondidos, sendo ainda, que os respondentes demonstraram interesse em responder de acordo com o que realmente consideraram sobre a utilização do sistema, possibilitando respostas verdadeiras, desconsiderando qualquer tipo de influência.

Inicialmente são analisadas as respostas referente à primeira questão: “Quais seriam os pontos fortes do sistema?”. Ressalta-se que as respostas são apresentadas *ipsis litteris*.

Voltando-se aos aspectos condizentes à interatividade e usabilidade do sistema, foi relatado pelos respondentes que: “Ele é muito legal e diferente. O design é muito bom e de fácil acesso”; “A padronização das telas facilita o estudo”; “De fácil acesso, com gráficos surpreendentes com fácil utilização”; “Bem organizado, entendível e fácil manuseio”; “A forma que ele foi estruturado”; “Interatividade com o assunto proposto, design limpo, fácil uso”; “Ótima resolução e entendimento do sistema”.

É possível observar coerência em relação às respostas das questões fechadas com as respostas das questões abertas, pois valorizam positivamente características previstas no projeto do Sistema MMAR (subseção 5.3.3), como aspectos referentes à “eficiência”, “busca e pesquisa”, “localização”, “usabilidade”, “elementos gráficos priorizados”, etc.

Também, vão ao encontro das premissas defendidas por Nielsen (2003) em relação a possibilidade de o usuário lembrar facilmente das ações que necessita realizar para executar determinadas atividades; Shneiderman (1998), que privilegia a

compatibilidade dos elementos que compõem uma interface gráfica com seu contexto de aplicação (como resolução de vídeo e imagens); e Bastien e Scapin (1993) que prezam as características dirigidas à consistência dos elementos gráficos com suas respectivas funções.

Dirigindo-se aos aspectos relacionados à motivação, foi observado pelos respondentes: “O sistema possibilita maior entendimento do conteúdo. As moléculas aparentemente atrativas e é um sistema INOVADOR e INCRÍVEL”; “É muito legal e diferente, mega interessante de trabalhar. Dá mais gosto de aprender e ver moléculas de química. Facilita a compreensão”; “É interessante, diferente, e uma forma muito clara de nos mostrar as moléculas, ótimo programa, sistema com muita inovações e que nos chama à atenção”; “A união da tecnologia a uma matéria, que muitas pessoas têm dificuldade, assim sendo um meio mais fácil de aprender”; “Ajuda a manter a concentração. É mais atraente para o aprendiz”; “Por visualizar melhor as formulas das moléculas, desperta curiosidade no aluno, tem uma aprendizagem divertida”; “Estimula o aprendizado de maneira interativa e de fácil entendimento”, “Aprendizado de forma bastante diferente”.

As respostas também retratam o êxito no cumprimento da tarefa de projetar e desenvolver um sistema, integrando à este uma tecnologia pouco utilizada no cenário educacional, de forma a corroborar com as propostas de Prado (2015), que destaca a importância de que se tenha uma introdução tecnológica na educação (sem perder o foco do objetivo); Rezende (2013), que contempla os aspectos relacionados à satisfação do usuário, onde o usuário avalia a interação como uma aplicação prazerosa e interessante, sentindo-se satisfeito com o sistema; Nielsen (2003) que dirige à satisfação subjetiva dos usuários, que está diretamente relacionada com a facilidade de entendimento viabilizada pelas funcionalidades do sistema.

Após a análise da primeira questão, na sequência são apresentadas as considerações relacionadas à segunda questão: “Quais seriam as sugestões de melhoria do sistema?”. As análises desta questão podem ser divididas em quatro aspectos distintos: o primeiro, sendo direcionado ao tipo do dispositivo utilizado para realizar o acesso ao sistema, pois sete alunos informaram respostas semelhantes à “Poderia estar disponível para celular”.

Como este questionamento também ocorreu durante o processo de avaliação, o pesquisador informou que todo o sistema poderia ser acessado por meio do celular, pois a responsividade implementada está adequada para este tipo de dispositivo,



contudo, a interface de Realidade Aumentada ainda não está funcional para celulares. Outro ponto relevante, que pode implicar prejuízos na qualidade da renderização dos modelos moleculares utilizando Realidade Aumentada no celular, é a capacidade de processamento deste, pois é inferior à capacidade de processamento de dispositivos como *desktops* e *notebooks*.

O segundo aspecto está ligado ao material postado pelo professor, pois foram relatadas sugestões como “Atualizar mais informações” e “Mais conteúdo”. Foram criadas três aulas, cada qual com suas respectivas descrições e imagens ilustrativas (conforme utilizadas nas apresentações em sala de aula), contendo, ainda, um total de vinte e um modelos moleculares, que poderiam ser manipulados utilizando Realidade Aumentada. Possivelmente, o motivo atribuído às sugestões dirigidas ao conteúdo, é o fato do sistema propiciar um ambiente no qual o aluno sente prazer em estar envolvido. Isto pode ser comprovado pelas próprias respostas da questão anterior, como “desperta curiosidade no aluno”, “tem uma aprendizagem divertida” e “dá mais gosto de aprender e ver moléculas de química” e, com isso, o aluno busca cada vez mais conteúdos e modelos moleculares para serem manipulados por meio da interface de Realidade Aumenta, pois cada modelo torna-se uma surpresa no momento de sua visualização.

O terceiro aspecto está relacionado com às aulas “complementares”, intituladas: “Zika (Vírus)” e “5MR3 (Proteína)”. Foram citados relatos como “Se der melhorar o funcionamento com moléculas maiores”, “Evitar travamentos” e “Carregamento de algumas moléculas”, contudo, é importante ressaltar que estas duas aulas foram incluídas com o intuito de demonstrar o uso do Sistema MMAR na manipulação de modelos moleculares de maior complexidade, pois não faziam parte da ementa curricular. Como alguns testes já haviam sido realizados, o pesquisador informou aos alunos, durante a avaliação, que alguns modelos moleculares pertencentes às duas aulas mencionadas, eram considerados grandes e que, possivelmente, o período para efetivar seu *download* seria maior que os demais. Ainda, que haveria o risco de provocar travamentos, pois o processamento destinado a estes modelos seria muito grande.

O quarto aspecto está diretamente relacionado ao tipo de modelo molecular utilizado, pois foram observados relatos como “Poderia expandir para visualizar as ligações dentro da molécula” e “legenda com cor - nome da molécula”. Contudo, as implantações destas sugestões dependem exclusivamente do *software* utilizado para

gerar os arquivos .x3d suportarem tais requisitos. Por exemplo, caso determinado *software* tenha suporte à visualização das ligações ou à visualização de legendas, basta exportar o modelo contendo estas características e, logo após importá-lo no Sistema MMAR.

### 6.3.5. Considerações do Professor

Esta subseção busca apresentar as considerações do professor que realizou, juntamente com o pesquisador, a aplicação do Sistema MMAR, focando em um posicionamento avaliativo diferenciado dos demais, visto que abrange o olhar e os sentimentos do professor. Nesta pesquisa, diferentemente do procedimento praticado junto aos alunos, o instrumento avaliativo não foi empregado ao professor, pois percebeu-se que seria interessante obter-se um parecer que ultrapassasse o escopo do questionário, dando maior liberdade no momento de realizar suas considerações.

Dessa forma, acordou-se que o professor elaboraria um depoimento descritivo, onde externaria os aspectos (positivos e/ou negativos) considerados essenciais, bem como as possíveis contribuições do Sistema MMAR, mediante suas observações durante a aplicação deste. Na sequência, são expostos trechos (na íntegra) das principais observações realizadas pelo professor, bem como um breve comentário:

“O Sistema Molecular com Realidade Aumentada, permitiu aos estudantes uma experiência única de poder manusear as moléculas orgânicas com a Tecnologia de Realidade Aumentada, proporcionando um espaço interativo e atraente. Além disso, instigou a curiosidade em relação as estruturas orgânicas, as quais os estudantes puderam manipular as moléculas tridimensionais visualizando as suas ligações químicas, grupos funcionais, ângulos das ligações, deixando o processo do ensino e aprendizagem de química mais interessante e dinâmico.”

Pode-se perceber que a ponderação do professor está condizente com as respostas do instrumento avaliativo, pois ele também concorda que o sistema (utilizando a tecnologia de Realidade Aumentada) permite criar um ambiente mais interativo e atraente, que instiga a curiosidade, tornando o processo de ensino mais interessante e dinâmico. Do mesmo modo, possibilitou o contato dos alunos à uma realidade não costumeira, que viabilizou uma mudança de percepção em relação ao objeto de ensino:

“...aproximou os estudantes de uma realidade que não está presente em seu dia a dia. Após a aplicação, os estudantes demonstraram-se empolgados, com muitas perguntas em relação as moléculas químicas, mudando as suas percepções, pois é possível visualizar cada um dos átomos presentes nas moléculas e as suas interações com os outros átomos ligantes.”.

Também é relevante observar o relato produzido pelo professor em relação ao conjunto de recursos disponibilizados pelo sistema, e não somente em relação à interface de Realidade Aumentada, onde foi enfatizada a facilidade deste em gerenciar aulas, grupos, etc., levando-o, inclusive, ao desafio de repensar suas práticas:

“O Sistema MMAR vai além da Realidade Aumenta, permitindo facilidades ao docente em poder utilizar-se de um sistema completo, como a inserção de conteúdo e questionários, a criação de grupos e gerenciamentos dos mesmos, enfim, pronto para a utilização, que desafia o docente a mudar sua prática e a repensar o processo de ensino e aprendizagem.”.

O professor também registra características, que, até então, não haviam sido consideradas relevantes, pois não pertenciam ao conjunto de premissas a serem analisadas pela pesquisa. Porém, da perspectiva observada e descrita, foi possível pontuá-las como primordiais: a socialização de experiências e de conhecimentos, bem como a imersão tecnológica, possibilitando ser constatada na seguinte descrição:

“Posso considerar o Sistema MMAR, como um espaço interativo, que permite a socialização de experiências e conhecimentos, pois quando o testei encontrei dificuldade de manipulação, mas quando os estudantes o testaram a realidade foi diferente, encontraram muita facilidade de manipulação (já nasceram imersos as tecnologias, o que permite uma manipulação com muita destreza). Também rompe com a formalidade da aula tradicional, pois permite a inserção das aulas pelo professor, deixando disponível para o acesso, de qualquer local, auxiliando na questão de pesquisa e estudo.”.

Por fim, o professor encerra suas considerações, enfatizando a necessidade de inserir novas tecnologias nos espaços escolares (como meios didáticos) e, ainda, a relevância do Sistema MMAR, como objeto de aprendizagem, em atender às necessidades no ensino de Química:

“Enfim, inserir as novas tecnologias no ambiente escolar e fazer delas meios didáticos para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem é uma demanda

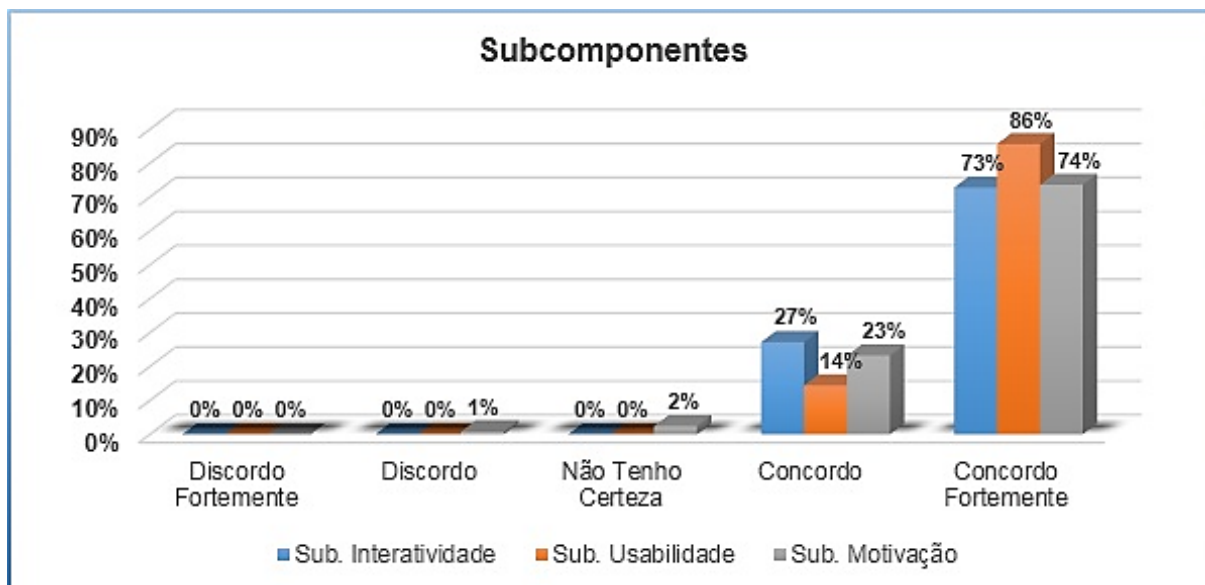
urgente e necessária nos dias atuais. Neste sentido, o sistema MMAR é capaz de fornecer subsídios suficientes para a inserção da tecnologia com foco exclusivo no ensino de química, permitindo a extrapolação ao ensino tradicional, tornando visível e palpável os mais diferentes conceitos desta disciplina.”.

### **6.3.6. Comparações entre os Subcomponentes: Pontos Fortes e Fracos**

Para finalizar a verificação dos dados coletados por meio do instrumento de avaliação, nesta subseção é apresentada uma breve relação dos valores condizentes aos resultados de cada subcomponente, considerando as respostas referentes às questões fechadas. Na sequência, também são analisadas as respostas referentes às questões abertas, bem como as considerações do professor. Essa análise faz-se necessária devido à importância em se identificar quais subcomponentes obtiveram melhores e piores avaliações, possibilitando identificar possíveis pontos fortes e fracos do sistema, bem como possíveis melhorias.

O gráfico 4 representa os valores percentuais atribuídos a cada resposta (das cinco alternativas da escala Likert) de todas as questões de determinado subcomponente, assim, por exemplo, pode-se identificar qual subcomponente teve maior valor correspondente à resposta “Discordo Fortemente”. Como cada subcomponente apresenta cinco questões e, foram reunidos vinte e cinco respondentes, o total de respostas para cada subcomponente é de cento e vinte e cinco (correspondendo a 100%).

Gráfico 4 – Subcomponentes.



Fonte: Autor.

Inicialmente é possível observar que não há ocorrências de avaliações (0%) dirigidas à resposta “Discordo Fortemente”, mesmo que tenha sido considerado o fator “subjetividade” e, que tenham sido analisadas trezentas e setenta e cinco respostas. O valor (0%), neste caso, assinala um ponto positivo, pois demonstra que o sistema em hipótese alguma deixou de atender seus objetivos.

Identifica-se, também, que o subcomponente interatividade e o subcomponente usabilidade apresentaram excelentes resultados, pois não ocorreram registros de avaliações (0%) voltadas às respostas “Discordo” e “Não Tenho Certeza”. O subcomponente interatividade obteve uma percentagem de 73% dirigida à resposta “Concordo Fortemente” e 27% à resposta “Concordo”, já o subcomponente usabilidade, deteve a maior percentagem direcionada à resposta “Concordo Fortemente” com 86% e, à resposta “Concordo” com 14%.

O subcomponente motivação apresenta-se como sendo o único a registrar avaliações atribuídas à resposta “Discordo” (1%) e à “Não tenho Certeza” (2%), por outro lado, apresentou uma percentagem de 74% em relação à resposta “Concordo Fortemente”. Os valores 1% e 2% possivelmente estão relacionados ao fato da subjetivamente, havendo uma relação entre os alunos “não gostarem de Química” e, isto refletindo no momento da escolha de suas respostas, conferindo-as as opções “Discordo” e “Não Tenho Certeza”.

Tendo em mãos os números das avaliações dos subcomponentes e, considerando as respostas referentes às questões abertas e, ainda as considerações do professor, é possível construir uma relação de pontos fortes e fracos, condizentes às principais características apresentadas pelo Sistema MMAR.

### **1. Pontos Fortes:**

- Abrange de forma completa as características desejáveis especificadas na subseção 3.5 (diferencial deste trabalho);
- Contempla todos as exigências de projeto especificados na subseção 5.3.3, incluindo os aspectos referentes à segurança;
- Atende de forma adequada os requisitos referentes ao subcomponente interatividade, como forma de utilização e de interação facilmente lembradas, resolução de formatos de imagens e vídeos compatíveis com o ambiente *Web*, padronização de *layout*, etc.;
- Satisfaz com êxito os requisitos condizentes ao subcomponente usabilidade, que envolve a facilidade com que o usuário aprende a explorar o sistema, tornando-o simples de ser utilizado e lembrado, etc.;
- Contempla os aspectos voltados ao subcomponente motivação, que engloba características como às direcionadas à agradabilidade e à atratividade da utilização do sistema, considerando, ainda, a facilidade do entendimento do conteúdo;
- Possibilita a socialização de experiências e conhecimentos, quando trabalhado em grupo (turma).

### **2. Pontos Fracos:**

- Referente ao subcomponente usabilidade, ainda não possui um perfeito funcionamento da interface de Realidade Aumentada em dispositivos pequenos, como nos celulares;
- Em relação às influências que impactam nos três subcomponentes: não contempla um guia didático dirigido à criação de aulas e postagem de material.

Como sugestões de prováveis melhorias no Sistema MMAR, é possível propor, justamente, o direcionamento aos pontos fracos, como a adequação do funcionamento da interface de Realidade Aumentada em celulares, bem como o

desenvolvimento e integração de um guia didático dirigido à criação de aulas (conteúdo).

Na próxima subseção são realizadas as considerações finais condizentes aos resultados da pesquisa, buscado expor as conclusões encontradas.

#### 6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Esta pesquisa, inicialmente, objetivou verificar as possíveis influências interativas, intuitivas e motivacionais no contexto da disciplina de Química, do Curso Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio, promovidas pela aplicação de um sistema *Web* não convencional, voltado ao ensino de estruturas moleculares tridimensionais, possuindo suporte à interface de Realidade Aumentada.

Contudo, por não serem encontradas abordagens que possibilitassem avaliar *softwares* ponderando especificamente as influências intuitivas, optou-se por avaliar a usabilidade, visto que, para Nielsen (1993), a intuitividade é uma das características da usabilidade, que consiste justamente na facilidade de uso apresentada pelo *software* (subseção 4.3).

O instrumento de avaliação foi aplicado a vinte e cinco alunos do terceiro ano, na disciplina de Química. Inerentes a cada subcomponente, foram considerados importantes aspectos pelo instrumento de avaliação, como interação, relevância, dinamicidade, satisfação, memorização, interatividade, atratividade, diversão e motivação. Considerado o ponto de vista do aluno, foram encontrados resultados, que demonstram que o Sistema MMAR contemplou adequadamente todos os aspectos mencionados.

Diante das informações obtidas, foi possível observar os efeitos da aplicação do sistema, que utiliza a tecnologia de Realidade Aumentada, na interatividade, na usabilidade e na motivação dos alunos, verificando influências em diversos fatores. Entre os motivos que alicerçam esta constatação, alguns são apresentados na sequência, extraídos de declarações dos próprios alunos, bem como de inferências sobre seus comportamentos, no momento da aplicação do instrumento de avaliação e, ainda pelas considerações do professor:

- a) o sistema possibilita conservar a forma padrão de aprendizado empregada em sala de aula, com a utilização de textos, imagens, *slides* e vídeos, incorporada à interatividade do sistema, o que permite despertar a

criatividade e a curiosidade, tornando o ensino mais atrativo e dinâmico, ratificando o posicionamento de Cadavieco (2014), que ressalta a importância em fazer uso da RA como um complemento envolvente e benéfico para o processo educativo. O que pode ser constatado pelos excelentes resultados atribuídos ao subcomponente interatividade e às respostas dos alunos como: “Desperta curiosidade sobre o conteúdo, facilita a visualização das moléculas, possibilita melhor entendimento sobre a matéria” e “Pode visualizar melhor as fórmulas das moléculas, desperta a curiosidade no aluno, tem uma aprendizagem divertida”; e, ainda, pelas ponderações do professor: “...proporcionando um espaço interativo e atraente” e “deixando o processo do ensino e aprendizagem de química mais interessante e dinâmico.”;

- b) auxilia o aluno na fixação de conhecimentos enquanto, simultaneamente, ele se distrai, propiciando um aprendizado de forma não convencional, indo ao encontro dos conceitos de Vijay et al. (2016), que afirmam que a RA tem modificado o cenário de ensino e aprendizagem de uma forma mais inovadora e interessante, como pode ser percebido pelas avaliações do subcomponente motivação e pelas afirmações dos alunos: “É muito legal e diferente...”, “É mais atraente para o aprendizado”, “Mais fácil entendimento da matéria” e “Aprendizado de forma bastante diferente”, “saímos do nosso cotidiano de sala de aula, fazendo que tenhamos mais interesse com algo novo”; também, pode ser percebido pela declaração do professor: “...aproximou os estudantes de uma realidade que não está presente em seu dia a dia.”;
- c) o conhecimento alcançado com o sistema foi relevante e útil, permitindo a aprendizagem de forma lúdica e prazerosa, oportunizando uma ótima forma de melhorar a prática do ensino, pois durante o uso do sistema, manipulando os modelos moleculares por meio da interface de Realidade Aumenta, também estavam estudando, corroborando com o pensamento de Maiti (2016), de que a RA na educação tem como principal intuito proporcionar uma rica experiência educacional, auxiliando no processo de compreensão de assuntos complexos. Isso pode ser percebido pelos apontamentos dos alunos, como: “... dá mais gosto de aprender e ver as moléculas de química. Facilita a compreensão”; e, pelo posicionamento do



professor: “Após a aplicação, os estudantes demonstraram-se empolgados, com muitas perguntas em relação as moléculas químicas...”;

- d) o sistema apresenta inúmeros recursos, contudo, é simples, objetivo, de fácil utilização e entendimento e, apresenta uma forma de manipulação dos modelos moleculares mais natural, por meio de marcadores, deixando os alunos mais interessados pelo conteúdo. Esses aspectos podem ser observados por meios dos valores condizentes aos subcomponentes interatividade, usabilidade e motivação, bem como pelas citações dos alunos: “Ótima resolução e entendimento do sistema”, “interatividade com o assunto proposto, design limpo, fácil uso”, “...melhor entendimento da matéria de uma forma interativa e apresenta e estimula o interesse pela mesma” e “facilidade em acessar o sistema, possibilita bons estudos”; e, pelo relato do professor: “...permitindo facilidades ao docente em poder utilizar-se de um sistema completo, como a inserção de conteúdo e questionários, a criação de grupos e gerenciamentos dos mesmos”;
- e) pela interface de Realidade Aumentada, no contexto desta aplicação, poder ser considerada algo inovador e, por apresentar características atrativas tão peculiaridades, possibilita motivar os alunos a desejarem, cada vez mais, manipular (e estudar) um quantitativo maior de moléculas, corroborando com a ideias de Lau (2012) e de Kaufmann (2006), que reconhecem que a RA pode influenciar de forma positiva no processo de aprendizagem. Isso pode ser constatado observando as ótimas avaliações atribuídas ao subcomponente motivação e, ainda, enfatizado em relatos como: “... ótimo programa, sistema com muitas inovações e que chamam a atenção”, “... as moléculas são mais atrativas e é um sistema inovador e incrível”, “Mais conteúdo...” e “Seria interessante ter mais moléculas...”;
- f) o sistema complementou conteúdos que foram trabalhados em sala de aula na disciplina de Química, fazendo com que os alunos obtivessem uma melhor compreensão dos assuntos já estudados e, também, permitindo que eles revissem opiniões e conceitos já formados, reforçando o posicionamento de Farias, Dantas e Burlamaqui (2011), que admitem que a RA é uma ferramenta diferenciada de apoio à atividade docente. Isto pode ser constatado pelas observações dos próprios alunos durante a avaliação:

“Então... a molécula de TNT é assim!” e “As moléculas são muito diferentes!”;

- g) o sistema possibilitou a expressão da autonomia, pois para a realização dos exercícios propostos (durante o período da avaliação), os alunos tinham a liberdade para pesquisar qualquer tipo de material de apoio (na internet, em seus cadernos ou em seus livros) e, de forma individual responder às atividades propostas. Este aspecto vai ao encontro do posicionamento de Brindley (2015), que sugere que a autonomia é uma característica que necessita ser explorada, pois é importante para o processo de desenvolvimento do aluno contemporâneo;
- h) propicia ser um espaço interativo, onde as trocas de experiências e de conhecimentos tornam-se características marcantes durante o processo de ensino e, ainda é capaz proporcionar ao aluno um ambiente que permite ser acessado a partir de qualquer lugar geograficamente distante, assistindo tanto na pesquisa quanto no próprio estudo, ratificando os conceitos de Stöter et al. (2015), que destacam a relevância da incorporação de novas abordagens no processo ensino aprendizagem. Essas afirmações podem ser evidenciadas pela declaração do professor: “Posso considerar o Sistema MMAR, como um espaço interativo, que permite a socialização de experiências e conhecimentos... Também rompe com a formalidade da aula tradicional, pois permite a inserção das aulas pelo professor, deixando disponível para o acesso, de qualquer local, auxiliando na questão de pesquisa e estudo.”.

Sendo assim, conclui-se que é possível melhorar tanto o interesse quanto a motivação do aluno por um objeto de aprendizagem (sistema), que está adequadamente ajustado ao seu modelo cognitivo, proporcionando recursos, não convencionais, condizentes à sua realidade. Tal afirmação baseia-se em constatações de quanto os aspectos de interatividade, usabilidade e motivação, conferidos pelo sistema, influenciaram na acentuação atratividade, curiosidade, atenção, entusiasmo e relevância do objeto de estudo de um assunto complexo, como a composição estrutural tridimensional molecular.

## 7. CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta uma síntese da pesquisa concretizada nesta dissertação, no qual também são expostos os problemas encontrados durante o seu desenvolvimento, as suas limitações e contribuições, bem como as sugestões dirigidas aos trabalhos futuros.

A pesquisa partiu da hipótese de que um sistema *Web*, que utiliza a tecnologia de Realidade Aumentada para a modelagem molecular tridimensional, possibilita proporcionar a compreensão de estruturas moleculares tridimensionais de forma mais atraente e motivadora, por meio de uma visualização de objetos não convencional, contemplando interações com modelos virtuais mais realistas, sendo essas realizadas por meios mais naturais do que os tradicionais e, dessa forma, acentuando o interesse pelos conteúdos relativos às moléculas e, conseqüentemente, pela disciplina de Química.

O planejamento e o desenvolvimento do sistema contemplando as características mencionadas, buscou propiciar uma alternativa ao modelo de aula expositiva, prezando pela introdução de características da educação contemporânea como a dinamicidade, juntamente com a exploração recursos tecnológicos adequadamente projetados, proporcionando, assim, atender à geração atual de nativos digitais, que possuem maior dificuldade em manter a atenção em algo.

Contudo, problemas e contratempos surgiram no princípio do projeto do sistema, visto que a proposta inicial era direcionada ao desenvolvimento de um sistema *Web*, que utilizasse a tecnologia de Realidade Aumentada para manipular modelos moleculares tridimensionais e, que estes fossem gerados a partir da interpretação de arquivos no formato .pdb<sup>43</sup>. Porém, após a realização de inúmeros testes, percebeu-se que seria muito difícil integrar, em tempo hábil, bibliotecas como *GLmol*<sup>44</sup>, *WebMol*<sup>45</sup> e *3Dmol*<sup>46</sup> com a estrutura do sistema que já estava sendo desenvolvida e, ainda, com a própria tecnologia de RA.

---

<sup>43</sup> PDB formato utilizado pelo *Protein Data Bank* (<http://www.wwpdb.org/>) para descrever estruturas 3D de proteínas e ácidos nucleicos.

<sup>44</sup> *A molecular viewer written in Javascript and WebGL*. Disponível em: <https://github.com/dkoes/GLmol>

<sup>45</sup> *Object-oriented JavaScript adapter library for online molecular visualization*. Disponível em: <https://github.com/dkoes/WebMol>

<sup>46</sup> *WebGL accelerated JavaScript molecular graphics library*. Disponível em: [https://github.com/3dmol/3Dmol.js?utm\\_source=recordnotfound.com](https://github.com/3dmol/3Dmol.js?utm_source=recordnotfound.com)

A principal dificuldade oriunda da integração estava direcionada à incompatibilidade, o que acarretava na realização de diversas adequações e, conseqüentemente, consumia muito tempo direcionado a estas. Outro fator, que também foi crucial para a alteração proposta, está relacionado à limitação dos tipos de representação molecular, isto é, os modelos moleculares seriam restritos a representações básicas como *ball and stick*, *stick* e *cartoon*, e possivelmente a qualidade deixaria a desejar. Isto devido às restrições inerentes às próprias bibliotecas utilizadas para gerar os modelos moleculares.

Então, para solucionar as dificuldades e limitações, a proposta do projeto foi modificada, o sistema não utilizaria mais arquivos do tipo .pdb, mas no formato .x3d. Esta alteração possibilitou resolver a dificuldade da integração, pois não seria mais necessário depender de bibliotecas para interpretar e gerar modelos moleculares a partir de arquivos .pdb, não ficando, assim, restrito aos recursos destas. O uso do formato .x3d permitiu uma integração perfeita com os navegadores *Web*, pois há mecanismos que permitem que a mesma seja realizada de forma compatível.

Em relação às restrições da disponibilidade de tipos de modelos moleculares, o uso de arquivos .x3d, também trouxe benefícios, pois oportunizou que todo o processo de geração destes modelos ficasse a cargo de *softwares* renomados no meio científico e acadêmico, como o VDM e o Chimera, viabilizando-se trabalhar com uma ampla gama de modelos moleculares, exportados por estes. Sendo assim, basta o professor utilizar o *software* no qual possui maior afinidade para configurar determinada molécula (de acordo com suas necessidades) e, logo após, exportá-la para o formato .x3d.

Outras dificuldades também ocorreram durante o desenvolvimento do sistema, como a complexidade dos componentes relacionados às funcionalidades (ou do próprio *layout*), proporcionadas por inúmeras bibliotecas *javascript*, sendo que no momento da integração de outra biblioteca para atender uma nova demanda, intervia nas ações de alguma biblioteca que estava desempenhando adequadamente suas funções. Outra dificuldade, que possivelmente tornou-se a mais marcante, tange à ausência de materiais de apoio ao desenvolvimento *Web* utilizando a tecnologia de Realidade Aumentada, pois são extremamente restritos e, quando algum é encontrado, suas descrições são simplistas.

Contudo, apesar das dificuldades, foram demonstradas as possibilidades em agregar recursos computacionais como a tecnologia de Realidade Aumentada, tão

presentes na realidade do aluno, ao campo educacional. A RA proporciona um ambiente onde a interatividade não se restringe aos periféricos padrão como *mouse* ou teclado e surge como uma tecnologia diferenciada, pois possibilita novas oportunidades visuais de aprendizagem, sendo uma estratégia inovadora para ajudar os alunos a atingirem bons resultados no ensino.

Foi explorada a viabilidade da criação de um sistema *Web* (com gerenciamento de conteúdo), suportando uma interface de Realidade Aumentada, que permitiu aos usuários uma forma não convencional de realizar as interações com modelos moleculares mais realistas, sendo essas realizadas por meios mais naturais (através de marcadores). O sistema também propiciou um amplo conjunto de funcionalidades, como gerenciamento de grupos, usuários, moléculas, aulas, relatórios, etc.

Foram observadas basicamente duas limitações do sistema, uma condizente à usabilidade, pois ainda não há uma disponibilidade de utilização da interface de Realidade Aumentada em dispositivos pequenos (como nos celulares), outra, em relação à ausência de um guia didático (no próprio sistema) dirigido à criação de aulas e postagem de material.

Conclui-se que foi possível desenvolver um sistema *Web* (com gerenciamento de conteúdo), integrando à tecnologia de Realidade Aumentada, pois o sistema adaptou-se ao estilo cognitivo dos usuários, possibilitando que estes alcançassem diversos níveis interativos no ambiente virtual (sistema), sendo capazes de explorar o contexto significativo relacionado ao conteúdo.

Também foi possível verificar que aspectos relacionados à interatividade, à usabilidade e à motivação, conferidos pelo sistema, influenciaram na intensidade da atratividade, da curiosidade, da atenção, do entusiasmo e da relevância do objeto de estudo de um assunto abstruso em Química, como a composição tridimensional de estruturas moleculares.

## 7.1. CONTRIBUIÇÕES DESTA PESQUISA

As principais contribuições desta pesquisa, que se somam à entrega de um sistema *Web*, que contempla o gerenciamento completo de conteúdo, bem como o suporte à tecnologia de Realidade Aumentada, voltado ao ensino de estruturas moleculares tridimensionais à comunidade acadêmica, são sintetizadas e apresentadas na sequência:

- a) levantamento e análise bibliográfica referente aos conceitos fundamentais aplicados como: Ensino e Modelagem Molecular; Visualização Científica; Realidade Virtual e Educação; Realidade Aumentada e Estruturas Moleculares 3D;
- b) disponibilização de um sistema *Web* (com gerenciamento de conteúdo), possuindo suporte à tecnologia de Realidade Aumentada, direcionado ao ensino de estruturas moleculares;
- c) demonstração da integração da linguagem de programação PHP, do SGBD MySQL, do *framework* Bootstrap, da linguagem de marcação HTML5, da linguagem de folhas de estilo CSS, da linguagem Javascript e da biblioteca jQuery com o *port* para Realidade Aumentada JSARToolKit;
- d) comprovação dos benefícios em utilizar o formato de arquivo .x3d para descrever modelos moleculares tridimensionais;
- e) demonstração da aplicação da metodologia Interad, utilizada para a modelagem e o desenvolvimento do sistema desta pesquisa, projetada para a elaboração de interfaces para materiais educacionais digitais (MEDs);
- f) proposta de configuração de marcador, após análises de diferentes tipos de marcadores, confecção e utilização, comprovando ser um excelente recurso para interagir com os modelos moleculares;
- g) concepção de uma metodologia de avaliação que pode ser aplicada na avaliação de outros sistemas, que considerem aspectos como interatividade, usabilidade e motivação (Apêndice B);
- h) extração de dados pertinentes à área, como a comprovação de que aspectos relacionados à interatividade, à usabilidade e à motivação, proporcionados pelo sistema, influenciaram na acentuação da atratividade, da curiosidade, da atenção, do entusiasmo e da relevância do objeto de estudo, neste caso, estruturas moleculares tridimensionais.

## 7.2. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, em relação ao Sistema MMAR, podem ser propostas modificações e melhorias, como as que estão relacionadas à compatibilidade da interface de Realidade Aumentada com dispositivos menores (como celulares), ou condizentes à uma metodologia de apoio ao professor, indo além da seção “Ajuda”,

disponibilizada pelo próprio sistema, que permitiria o cadastro de moléculas, a criação de aulas, bem como a postagem de materiais educacionais mais adequados à realidade cognitiva dos alunos.

Ainda, em relação aos aspectos técnicos do sistema, condizentes ao projeto e à implementação, é interessante disponibilizar ao usuário do tipo “Administrador”, na seção “Minhas Aulas”, filtros objetivando listar aulas por usuários, por *status*, por título, etc. Outro aspecto relevante está relacionado à funcionalidade de “busca” no sistema (de usuários, de moléculas e de aulas), pois devido ao cumprimento dos prazos de entrega não foi possível implementar.

Igualmente, não foram priorizadas as funcionalidades relacionadas à renderização dos modelos moleculares. No momento em que a interface de Realidade Aumentada é ativada, é oportunizada somente uma forma de modificar o modelo molecular, alterando sua escala. É interessante propiciar ao usuário um conjunto de recursos que lhe permita modificar este modelo para melhor adequá-lo às suas necessidades, como por exemplo, alterar cor, brilho, opacidade, contraste, nitidez, transparência, ângulo de iluminação, etc.

Outro fator a ser considerado é a possibilidade da integração com uma plataforma de aprendizagem a distância baseada em *software* livre, como o MOODLE (*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*), proporcionando um número maior de recursos ao usuário, como a disponibilização, por exemplo, de *chats*, de fóruns, de troca de arquivos, de avaliações, etc.

Em relação aos aspectos avaliados como interatividade, usabilidade e motivação, pode-se sugerir uma maior abrangência, ultrapassando o escopo desta pesquisa, cogitando conceitos como o de acessibilidade (o sistema possui características de acessibilidade? Como compreender quais as habilidades e limitações dos usuários, em suas diferenças?), ou o de inteligibilidade (como melhorar a inteligibilidade de conteúdos complexos?). Igualmente, também é possível buscar quantificar os índices condizentes ao aumento (ou a redução) de aspectos, como por exemplo, de quanto foi o aumento (ou redução) da motivação no estudo de moléculas após o uso do sistema?

Outro ponto que pode ser observado como essencial para a continuidade deste trabalho, é sua aplicação e avaliação para diferentes públicos, abordando diferentes assuntos. Isto pode ser realizado, por exemplo, aplicando o Sistema MMAR aos alunos de cursos superiores ou de pós-graduação, que possuem em suas respectivas

ementas curriculares o estudo de moléculas, possibilitando abordar não somente moléculas simples, mas também moléculas com um nível de complexidade muito maior, como proteínas, vírus e ácidos nucleicos.



## REFERÊNCIAS

ABDUL-WAHID, B. et al. Folding proteins at 500 ns/hour with Work Queue. **8th IEEE International Conference on E-Science (e-Science)**, Chicago, p. 1-8, out. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6404429/>>. Acesso em: 14 maio 2016. DOI: 10.1109/eScience.2012.6404429.

ALBERTS B. et al. **Fundamentos da Biologia Celular**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2016. 864 p.

AREF, H., CHARLES, R. D.; ELVINS, T. T. Scientific Visualization of Fluid Flow. **Frontiers of Scientific Visualization**, New York, p. 7-44, 1994.

AWASTHI, P.; SHARMA, P. Docking Study of Synthesized Juvenile Hormone Analogues as an Insect Growth Regulators. **14th IEEE International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim)**, Cambridge, p. 113-116, mar. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6205437/>>. Acesso em: 17 jun. 2016. DOI: 10.1109/UKSim.2012.109.

AZUMA, R. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n. 6, p. 34-47, nov.-dez. 2001. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/963459/>>. Acesso em: 15 jan. 2016. DOI: 10.1109/38.963459.

BASILI, V. R. Software Modeling and Measurement: The Goal/Question/Metrics Paradigm. **Department of Computer Science**, College Park, MD, USA, University of Maryland, set. 1992. Technical Report CS-TR-2956. Disponível em: <<http://www.cs.umd.edu/~basili/publications/technical/T78.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2016.

BASILI, V. R.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H. D. Goal Question Metric Paradigm. **Encyclopedia of Software Engineering**, v.2, p. 528-532. 1994. Disponível em: <<http://www.cs.umd.edu/~basili/publications/technical/T89.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2016.

BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces**. (Relatório de Pesquisa Nº. 156). INRIA - Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Rocquencourt, França. 1993. Disponível em: <[http://www.cocoaheads.fr/wp-content/uploads/files/Ergonomic\\_Criteria.pdf](http://www.cocoaheads.fr/wp-content/uploads/files/Ergonomic_Criteria.pdf)>. Acesso em: 4 dez. 2016.

BIESTA, G. ICT and Education Beyond Learning: A Framework for Analysis, Development and Critique. In: ELSTAD, Eyvind. **Digital Expectations and Experiences in Education**. Rotterdam: Sense Publishers, 2016. P. 29-43.

BODE, J. Integration of 3D Visualization and Molecular Interactions Using Molecular Modeling within the Context of Drug Development Against Malaria Disease for Learning in Chemistry Education. **International Journal of Science Education (IJSE)**. Utrecht University, 2016. Disponível em: <<https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/338273>>. Acesso em: 8 nov. 2016.

BOKHARI, S. H. et al. Parallelizing a DNA Simulation Code for the Cray MTA-2. **IEEE Computer Society Bioinformatics Conference**, p. 291-302. 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1039351/>>. Acesso em: 7 out. 2016.

BRAGA, M. Realidade Virtual e Educação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra. Paraíba**, v. 1, n. 1. 2001. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50010104>>. Acesso em: 13 maio 2016.

BRINDLEY, J. **Apoio ao Aluno em Educação a Distância Online**: essencial e evoluindo. Livro Educação a Distância Online: construindo uma agenda de pesquisa. Organizadores: Olaf Zawacki-Richter, Terry Anderson, 1 ed. São Paulo: Artesanato Educacional, 2015.

BRONACK, S. C. The role of immersive media in online education. **Journal Continuing Higher Education**, vol. 59, n. 2, p. 113 - 117, 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/232879927\\_The\\_Role\\_of\\_Immersive\\_Media\\_in\\_Online\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/232879927_The_Role_of_Immersive_Media_in_Online_Education)>. Acesso em: 17 jan. 2016.

BROOKSHEAR, J. G. **Ciência da Computação**: Uma visão Abrangente. 11. ed. Porto Alegre: Techbooks, 2013. 573 p.

CADAVIECO, J. F. et al. Melhorar a atratividade da informação através do uso da realidade aumentada. **Perspectivas em Ciência da Informação**, vol. 19, n. 1, p. 37-50, 2014. Disponível em: <<http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/view/1661/1244>>. Acesso em: 21 setembro 2016.

CARLSON, S. **The Net Generation Goes to College**. The Chronicle of Higher Education. Section: Information Technology, v. 52, n. 7, out. 2005. Disponível em: <<http://www.chronicle.com/article/The-Net-Generation-Goes-to/12307>>. Acesso em: 13 maio 2016.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**: a era da informação: economia, sociedade e cultura. São Paulo: Paz e Terra, 1999. 617 p.

CHANG, K. E. et al. Development and Behavioral Pattern Analysis of a Mobile Guide System with Augmented Reality for Painting Appreciation Instruction in an Art Museum. **Journal Computers & Education**, Oxford, v. 71, p. 185 - 197, 2014. Disponível em: <<http://dl.acm.org/>>. Acesso em: 17 jun. 2016. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.09.022.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013. 1168 p.

CHAVENT, M. et al. GPU-accelerated atom and dynamic bond visualization using hyperballs: a unified algorithm for balls, sticks, and hyperboloids. **Journal of Computational Chemistry**, v. 32, n. 13, p. 2924 - 2935, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcc.21861/full>>. Acesso em: 12 set. 2016. DOI: 10.1002/jcc.21861.

DONG, Xisong. An overall solution of Virtual Reality Classroom. **IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)**, p. 119-123, jul. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7551672/>>. Acesso em: 18 set. 2016. DOI: 10.1109/SOLI.2016.7551672.

DREHER M., et al. Interactive molecular dynamics: Scaling up to large systems. **International Conference on Computational Science (ICCS)**, Barcelona, v. 18, p. 18-20, 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/257719588\\_Interactive\\_Molecular\\_Dynamics\\_Scaling\\_up\\_to\\_Large\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/257719588_Interactive_Molecular_Dynamics_Scaling_up_to_Large_Systems)>. Acesso em: 15 jan. 2016. DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.165.

DRESCH, A. et al. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 204 p.

EBERMANN, C. et al. The Impact of Gamification-Induced Emotions on In-Car IS Adoption - The Difference between Digital Natives and Digital Immigrants. **49th IEEE Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)**, Washington, p. 1338-1347, jan. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7427348/>>. Acesso em: 23 ago. 2016. DOI: 10.1109/HICSS.2016.169.

ENCARNAÇÃO, L. M. Scientific Visualization. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 36, n. 3, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7466748/>>. Acesso em: 8 nov. 2016. DOI: 10.1109/MCG.2016.63.

ENGLUND, R.; KOTTRAVEL, S.; ROPINSKI, T. A Crowdsourcing System for Integrated and Reproducible Evaluation in Scientific Visualization. **IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)**, Taipei, abr. 2016. <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7465249/>>. Acesso em: 17 jun. 2016. DOI: 10.1109/PACIFICVIS.2016.7465249.

ESSABBAH, M.; OTMANE S.; MALLEM, M. 3D molecular modeling: from theory to applications. **IEEE Conference on Human System Interactions**, Cracow, p. 350 - 355, maio 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4581462/>>. Acesso em: 26 abr. 2016. DOI: 10.1109/HSI.2008.4581462.

FARIAS, L.; DANTAS, R.; BURLAMAQUI, A. Educ-AR: A tool for assist the creation of augmented reality content for education. **IEEE International Conference on Virtual Environments Human-Computer Interfaces and Measurement Systems (VECIMS)**, Ottawa, p. 1-5, set. 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6053850/>>. Acesso em: 14 maio 2016. DOI: 10.1109/VECIMS.2011.6053850.

FERDINAND, P. et al. The Eduventure - A new approach of digital game based learning combining virtual and mobile augmented reality games episodes. **Pre-Conference Workshop "Game based Learning" of DeLFI 2005 and GMW 2005 Conference**, Rostock, v. 13, set. 2005. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228660154\\_The\\_Eduventure-A\\_new\\_approach\\_of\\_digital\\_game\\_based\\_learning\\_combining\\_virtual\\_and\\_mobile\\_augmented\\_reality\\_games\\_episodes](https://www.researchgate.net/publication/228660154_The_Eduventure-A_new_approach_of_digital_game_based_learning_combining_virtual_and_mobile_augmented_reality_games_episodes)>. Acesso em: 2 fev. 2016.

FERREIRA, L. G. et al. Molecular Docking and Structure-Based Drug Design Strategies. **Molecules**, v. 20, n. 7, p. 13384 - 13421, jul. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/281102169\\_Molecular\\_Docking\\_and\\_Structure-Based\\_Drug\\_Design\\_Strategies](https://www.researchgate.net/publication/281102169_Molecular_Docking_and_Structure-Based_Drug_Design_Strategies)>. Acesso em: 14 maio 2016. DOI: 10.3390/molecules200713384.

FRANK, J., A.; KAPILA, V. Towards Teleoperation-based Interactive Learning of Robot Kinematics using a Mobile Augmented Reality Interface on a Tablet. **IEEE Indian Control Conference (ICC)**, Hyderabad, jan. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7441163/>>. Acesso em: 18 set. 2016. DOI: 10.1109/INDIANCC.2016.7441163.

GARRETT, J. J. **The Elements of User Experience**: User-centered Design for the Web. Berkeley: New Riders, 2003. 189 p.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009. 120 p.

GOBERT, J. D. et al. Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 5, p. 653 - 684, mar. 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09500691003720671?scroll=top&needAccess=true>>. Acesso em: 20 nov. 2016. DOI: 10.1080/09500691003720671.

GRIMLEY, M., ALLAN, M. Towards a pre-teen typology of digital media. **Australasian Journal of Educational Technology**, v.26, n. 5, p. 571 - 584, 2010. Disponível em: <<https://ajet.org.au/index.php/AJET/article/view/1052/312>>. Acesso em: 17 jul. 2016. DOI: 10.14742/ajet.1052.

GRUBERT, J. et al. Towards Pervasive Augmented Reality: Context-Awareness in Augmented Reality. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, n. 99, mar. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7435333/>>. Acesso em: 5 nov. 2016. DOI: 10.1109/TVCG.2016.2543720.

HAGEN, H. et al. Scientific Visualization: Methods and Applications. **19th Spring Conference Computer Graphics**, p. 23-33, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.acm.org/>>. Acesso em: 18 maio 2016. DOI: 10.1145/984952.984957.

HALLER, M. **Emerging Technologies of Augmented Reality**: Interfaces and Design. London: Idea Group Inc (IGI), 2006. 414 p.

HARRISON, K. et al. Electronic visualisation in chemistry: From alchemy to art. **Conference Proceedings, Electronic Workshops in Computing (eWiC), British Computer Society**, London, p. 267 - 274. Jul. 2013. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1307.6360>>. Acesso em: 18 maio 2016.

HUANG, R.; YANG, J. Digital Learners and Digital Teachers: Challenges, Changes, and Competencies. **Competencies in Teaching, Learning and Educational Leadership in the Digital Age**, Germany, p. 47-56, 2016. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-30295-9\\_4/](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-30295-9_4/)>. Acesso em: 18 maio 2016.

IBÁÑEZ, M. B. et al. Support for Augmented Reality Simulation Systems: The Effects of Scaffolding on Learning Outcomes and Behavior Patterns. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 9, nº 1, p. 46 - 56, jun. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7123626>>. Acesso em: 5 nov. 2016. DOI: 10.1109/TLT.2015.2445761.

IWANE, N. et al. Building an experimental system to examine a method for supporting verbal explanation. **13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**, Madrid, p. 347-349, fev. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7444498>>. Acesso em: 7 jul. 2016. DOI: 10.1109/REV.2016.7444498.

JADEJA, A.; MEHTA, R.; SHARMA, D. New Era of Teaching Learning: 3D Marker Based Augmented Reality. **International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST)**, v. 6, n. 1/2, mar. 2016. Disponível em: <<http://aircconline.com/ijist/V6N2/6216ijist09.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2016. ISSN: 2249-1139 (Online).

KAUFMANN, H.; SCHMALSTIEG, D. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. **Computer & Graphics**, v. 27, n. 3, p. 339-345. 2003. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/222521757\\_Schmalstieg\\_D\\_Mathematics\\_and\\_Geometry\\_Education\\_with\\_Collaborative\\_Augmented\\_Reality\\_Computers\\_Graphics\\_273\\_339-345](https://www.researchgate.net/publication/222521757_Schmalstieg_D_Mathematics_and_Geometry_Education_with_Collaborative_Augmented_Reality_Computers_Graphics_273_339-345)>. Acesso em: 7 nov. 2016. DOI: 10.1016/S0097-8493(03)00028-1.

KAUFMANN, H.; PAPP, M. Learning objects for education with augmented reality. **European Distance and ELearning Network**. Vienna, p. 160-165, 2006. Disponível em: <[https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-inf\\_3760.pdf](https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-inf_3760.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2016. ISBN: 9630600633.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. Porto Alegre: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2007.

KEEFE, D. F.; ISENBERG, T. Reimagining the Scientific Visualization Interaction Paradigm. **IEEE Computer**, v. 46, n. 5, p. 51-57, maio 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6515551>>. Acesso em: 11 mar. 2016. DOI: 10.1109/MC.2013.178.

KINDLMANN, G. et al. Diderot: A Domain-Specific Language for Portable Parallel Scientific Visualization and Image Analysis. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 22, n. 1, p. 867-876, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7192663/>>. Acesso em: 14 ago. 2016. DOI: 10.1109/TVCG.2015.2467449.

KINOSHITA, K.; MURAKAMI, Y.; NAKAMURA, H. eF-seek: Prediction of the functional sites of proteins by searching for similar electrostatic potential and molecular surface shape. **Nucleic Acid Research**, vol. 35, p. W398–W402, jun. 2007. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1933152/>>. Acesso em: 17 mar. 2016. DOI: 10.1093/nar/gkm351.

LAHR, P. et al. **Rastreamento em Realidade Aumentada com Artoolkit e Marcadores**. In: Anais do I Workshop Sobre Realidade Aumentada (WRA' 2004), Piracicaba – SP: UNIMEP, v. 01, p. 37-40, jun. 2004. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/download/anais/WRA2004-Anais/WRA2004-37-68.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2016.

LEACH, A. R. **Molecular Modelling: Principles and Applications**. Prentice Hall, 2001. 744 p.

LAU, N.; OXLEY, A.; NAYAN, M.Y. An augmented reality tool to aid understanding of protein loop configuration. **IEEE International Conference on Computer & Information Science (ICCIS)**, Kuala Lumpur, p. 500-505, jun. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6297297/>>. Acesso em: 5 nov. 2016. DOI: 10.1109/ICCISci.2012.6297297.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura: la cultura de la sociedad digital**. Mexico, Universidad Autónoma Metropolitana: ANTHROPOS, 2007. 256 p.

LEE, K. Augmented Reality in Education and Training. **TechTrends: Linking Research and Practice to Improve Learning**, v. 56, n. 2, p. 13-21, 2012. Disponível em: <<https://eric.ed.gov/?id=EJ955646>>. Acesso em: 5 nov. 2016. ISSN: ISSN-8756-3894.

LEE, S. et al. Additive Light Field Displays: Realization of Augmented Reality with Holographic Optical Elements. **ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2016**, v. 35, n. 4, jul. 2016. Disponível em: <<http://delivery.acm.org/>>. Acesso em: 10 jan. 2017. DOI: 10.1145/2897824.2925971

LIBERATI, N. Augmented “Ouch!”. How to create intersubjective augmented objects into which we can bump. **IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Media, Art, Social Science, Humanities and Design (ISMAR-MASH'D)**, p. 21-26, out. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7350730/>>. Acesso em: 18 maio 2016. DOI: 10.1109/ISMAR-MASHD.2015.14.

LIN, Y. C. et al. Valence Bond© - Integrating scientific visualization mechanism in a tower defense game for chemical bond concept learning in high school. **IEEE 4th International Congress on Advanced Applied Informatics**, p. 725-726, jul. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7374008/>>. Acesso em: 18 maio 2016. DOI: 10.1109/IIAI-AAI.2015.210.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of Psychology, v. 140, p. 1-55, 1932.

LIU, D. S. M.; TAN, C. M. Visibility preprocessing suitable for virtual reality sound propagation with a moving receiver and multiple sources. **IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)**, Seattle, p. 1-6, jul. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7574738/>>. Acesso em: 16 jun. 2016. DOI: 10.1109/ICMEW.2016.7574738.

LUU, K.; FREEMAN, J. G. An analysis of the relationship between information and communication technology (ICT) and scientific literacy in Canada and Australia. **Computers & Education**, v. 56, n. 4, p. 1072–1082, 2011. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/An-analysis-of-the-relationship-between-informatio-Luu-Freeman/21c13e1f6033238a4b32c78e900399a10ce36a07>>. Acesso em: 16 jun. 2016. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.11.008.

MAIER, P.; KLINKER, G. Evaluation of an augmented-reality-based 3D user interface to enhance the 3D-understanding of molecular chemistry. **5th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU)**, p. 294-302, 2013a. Disponível em: <<http://campar.in.tum.de/pub/maierp2013csedu/maierp2013csedu.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

MAIER, P.; KLINKER, G. Augmented chemical reactions - An augmented reality tool to support chemistry teaching. **IEEE 2nd Experiment@ International Conference**, Coimbra, p. 164-165, set. 2013b. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6703055/>>. Acesso em: 16 jun. 2016. DOI: 10.1109/ExpAt.2013.6703055.

MAIER, P.; KLINKER, G.; TÖNNIS, M. Augmented Reality for teaching spatial relations. **Conference of the International Journal of Arts & Sciences**, Toronto, maio 2009. Disponível em: <<http://campar.in.tum.de/pub/maierp2009ijas/maierp2009ijas.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

MAITI, A.; KIST, A.; SMITH, M. Key aspects of integrating augmented reality tools into peer-to-peer remote laboratory user interfaces. **IEEE 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**, Madrid, p. 16-23, fev. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7444434/>>. Acesso em: 10 jan. 2017. DOI: 10.1109/REV.2016.7444434.

MARSALEK, L. et al. Real-Time Ray Tracing of Complex Molecular Scenes. **14th International Conference Information Visualisation**. Jul. 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5571280/>>. Acesso em: 18 maio 2016. DOI: 10.1109/IV.2010.43.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**: metodologia, planejamento, execução e análise, 2. ed. São Paulo: Atlas, v.2., 1994.

MENDONÇA, M. de B. **Aplicação de Texturas em Visualização Científica**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional), Universidade de São Paulo, 2001.

MERCURIO, P. J.; ERICKSON, T. Interactive scientific visualization: An assessment of a virtual reality system. **Third International Conference on Human-Computer Interaction**, p. 741-745, 1990. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.39.819&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 18 maio 2016.

MIHELJ, M.; NOVAK, D.; BEGUŠ, S. Virtual Reality Technology and Applications. **Springer Science & Business Media**. 1 ed. Springer Netherlands, 2013. 241 p. ISBN 978-94-007-6910-6.

NICKELS, S. et al. ProteinScanAR - An augmented reality web application for high school education in biomolecular life sciences. **IEEE 16th International Conference on Information Visualisation (IV)**, Montpellier, p. 578-583, jul. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6295874/>>. Acesso em: 14 ago. 2016. DOI: 10.1109/IV.2012.97.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Boston: Academic Press, NY, 1993. 358 p.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Cambridge: Academic Press, 2003.

ORENGO, C. A.; TODD, A. E.; THORNTON, J. M. **From protein structure to function**. **Current Opinion in Structural Biology**, Inglaterra, v. 9, n. 3, p. 374–382, jul. 1999. Disponível em: <<http://mbbsdost.com/Multistranded-DNA-structures-Current-opinion-structural-biology-Gilbert-DE-Feigon-DE--1999-Jun/pubmed/12999936>>. Acesso em: 14 ago. 2016. DOI: 10.1016/S0959-440X(99)80051-7.

PASSOS, P. C. S. J. **Interad: uma metodologia de interface de materiais educacionais digitais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PORTO, M.; RIZOWY, G. M; CEZAR, R. S. **Metodologias Alternativas para o Ensino de Biologia Celular e Molecular Para O Ensino Básico**. Revista Ampliar, v. 2, n. 2, 2016.

PRADO, A. Entendendo o aluno do século XXI e como ensinar a essa nova geração. **Educação & Evolução**. Geekie. E-book. Disponível em: <<http://materiais.geekie.com.br/ppc-entendendo-o-aluno-do-sec-xxi-20151103>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

RAHMAN, M.; HIMANSHI; DEEP, V.; RAHMAN S. **ICT and internet of things for creating smart learning environment for students at education institutes in India**. Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), 2016 6th International Conference (2016), p. 701-704.

REATEGUI, E. **Interfaces para Softwares Educativos**. RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação. v. 5, n. 1, 2007. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/renote/article/view/14134/8071>>. Acesso em: 8 dez. 2016. ISSN 1679-1916.

REZENDE, C. S. **Modelo de Avaliação de Qualidade de Software Educacional para o Ensino de Ciências**. 2013. 131 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2013.



RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 336 p.

RONDON-MELO, S.; ANDRADE, C. R. F. de. Computer-assisted instruction in Speech-Language and Hearing Sciences: impact on motivation for learning about the Orofacial Myofunctional System. **CoDAS**, v.28, n.3, p. 269-277, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27305632>>. Acesso em: 8 dez. 2016. DOI: 10.1590/2317-1782/20162015143.

RHYNE, T. M. et al. Information and Scientific Visualization: Separate but Equal or Happy Together at Last. **14th IEEE Visualization Conference (Vis)**, p. 611-614, out. 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1250428/>>. Acesso em: 17 jun. 2016. DOI: 10.1109/VISUAL.2003.1250428.

SAVI, R. **Avaliação de Jogos para a Disseminação do Conhecimento**. 2011. 236 p. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 2011.

SEBESTA, R. W. **Conceitos de Linguagens de Programação**. Bookman Editora. 2009. 791 p.

SHENGYI, L.; JIA, W. Research on integrated application of Virtual Reality technology based on BIM. **Chinese Control and Decision Conference (CCDC)**, Northeastern University, p. 2865-2868, maio 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7531470/>>. Acesso em: 8 jul. 2016. DOI: 10.1109/CCDC.2016.7531470.

SHNEIDERMAN, B. **Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction**. 3.ed Reading, Addison-Wesley, MA, USA (ISBN: 0-201-69497-2). 1998.

SINGHAL, S. et al. Augmented Chemistry: Interactive Education System. **International Journal of Computer Applications**, v. 49, n. 15, p. 1-5, 2012. Disponível em: <<http://www.ijcaonline.org/archives/volume49/number15/7700-1041>>. Acesso em: 14 ago. 2016. DOI: 10.5120/7700-1041.

SILVA, M. M. O. et al. Towards the Development of Guidelines for Educational Evaluation of Augmented Reality Tools. **IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR)**, vol. 00, no. undefined, p. 17-21, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7563677/>>. Acesso em: 8 jul. 2016. DOI: 10.1109/KELVAR.2016.7563677.

SILVEIRA, M. S.; CARNEIRO M. L. F. Diretrizes para a Avaliação da Usabilidade de Objetos de Aprendizagem. **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**. Anais. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/1713/1474>. Acessado em: 21 jan. 2017.

STONE, J. E. et al. Atomic detail visualization of photoyntetic membranes with GPU-accelerated ray tracing. **Parallel Computing**, v. 55, p. 17-27, jul. 2016a. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27274603>>. Acessado em: 21 jan. 2017.

STONE, J. E.; SHERMAN, W. R.; SCHULTEN, K. Immersive Molecular Visualization with Omnidirectional Stereoscopic Ray Tracing and Remote Rendering. **IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)**, Chicago, USA, p. 1048-1057, maio 2016b. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7529978/>>. Acessado em: 21 jan. 2017. DOI: 10.1109/IPDPSW.2016.121.

STONE, J. E. et al. Immersive molecular visualization and interactive modeling with commodity hardware. **6th International Conference on Advances in Visual Computing - Volume Part II, ISVC'10**, Berlin, Heidelberg, p. 382-393, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/49814152\\_Immersive\\_Molecular\\_Visualization\\_and\\_Interactive\\_Modeling\\_with\\_Commodity\\_Hardware](https://www.researchgate.net/publication/49814152_Immersive_Molecular_Visualization_and_Interactive_Modeling_with_Commodity_Hardware)>. Acessado em: 21 jan. 2017. DOI: 10.1007/978-3-642-17274-8\_38.

STÖTER, J. et al. **Da Porta dos Fundos à Cena Principal**: as características dos aprendizes ao longo da vida. Livro Educação a Distância Online: construindo uma agenda de pesquisa. Organizadores: Olaf Zawacki-Richter, Terry Anderson, 1 ed. São Paulo: Artesanato Educacional, 2015.

TAHRIRI, F.; MOUSAVI, M.; YAP, H. J. Optimizing the Robot Arm Movement Time Using Virtual Reality Robotic Teaching System. **International Journal of Simulation Modelling**, v.14, n. 1, p. 28-38, mar. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/276856713\\_Optimizing\\_the\\_Robot\\_Arm\\_Movement\\_Time\\_Using\\_Virtual\\_Reality\\_Robotic\\_Teaching\\_System](https://www.researchgate.net/publication/276856713_Optimizing_the_Robot_Arm_Movement_Time_Using_Virtual_Reality_Robotic_Teaching_System)>. Acesso em: 08 dez. 2016. DOI: 10.2507/IJSIMM14(1)3.273.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006, 422 p.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987, 176 p.

TSARAMIRSIS, G. et al. Towards simulation of the classroom learning experience: Virtual reality approach. **3rd IEEE International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)**, p. 1343-1346, mar. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7724484/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

UTIYAMA, F.; KIRNER, C. Rastreamento de Trajetórias para Treinamento com Realidade Aumentada. **Workshop de Realidade Aumentada**, Piracicaba. Anais do 1o Workshop de Realidade Aumentada. Piracicaba: Editora UNIMEP, v. 1. p. 9-12, 2004.

VIJAY, V. C. et al. Augmented Reality Environment for Engineering Distance Learners to Acquire Practical Skills. **13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**, p. 215-223, fev. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7444468/>>. Acesso em: 08 dez. 2016. DOI: 10.1109/REV.2016.7444468.

WAKRIME, A. A.; LIMET, S.; ROBERT, S. On the Fly Reconfiguration of Interactive Scientific Visualization Applications. **International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)**, jul. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7237078/>>. Acesso em: 08 dez. 2016. DOI: 10.1109/HPCSim.2015.7237078.

WANG, Q.; MYERS, M. D.; SUNDARAM, D. **Digital Natives and Digital Immigrants**. Business & Information Systems Engineering. Germany: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013.

WU, H. K. et al. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. **Computers & Education**, UK, Oxford, v. 62, p. 41-49, mar. 2013. Disponível em: <<http://dl.acm.org/>>. Acesso em: 08 dez. 2016. DOI: 10.1016/j.comp.edu.2012.10.024.

YAIR, Y.; SCHUR, Y.; MINTZ, R. A “Thinking Journey” to the Planets Using Scientific Visualization Technologies: Implications to Astronomy Education. **Journal of Science Education and Technology**, v. 12, n. 1, p. 43-49, 2003. Disponível em: <[https://www.jstor.org/stable/40186643?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/40186643?seq=1#page_scan_tab_contents)>. Acesso em: 08 dez. 2016.

ZAGORANSKI, S.; DIVJAK, S. Use of augmented reality in education. **The IEEE Region 8 - EUROCON 2003. Computer as a Tool**, Ljubljana, Slovenia, p. 339-342, set. 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1248213/>>. Acesso em: 08 dez. 2016. DOI: 10.1109/EURCON.2003.1248213.

ZEE, E. H. V.; ROBERTS, D. Making science teaching and learning visible through web-based “Snapshots of Practice”. **Journal of Science Teacher Education**, v. 17, n. 4, p. 367-388, 2006. Disponível em: <<https://eric.ed.gov/?id=EJ748800/>>. Acesso em: 08 dez. 2016.

ZHANG, J.; SUNG, Y. T.; CHANG, K. E. Using a Mobile Digital Armillary Sphere (MDAS) in Astronomical Observation for Primary School Students. **World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education**, (pp. 2632-2641), 2011. Disponível em: <<https://www.learntechlib.org/p/39128/>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

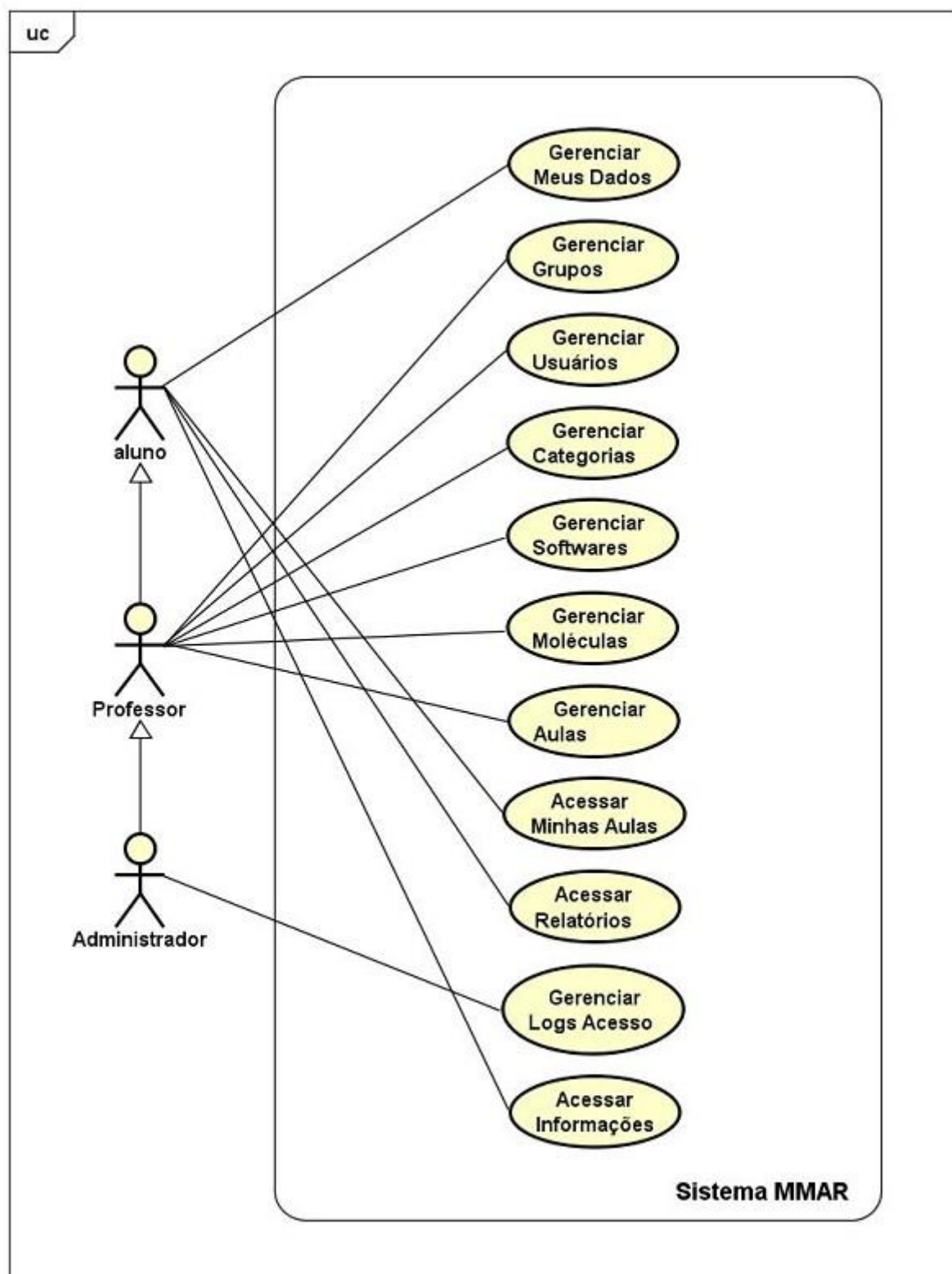
ZHANG, J. et al. Using Augmented Reality to Promote Homogeneity in Learning Achievement. **IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Media, Art, Social Science, Humanities and Design (ISMAR-MASH'D)**, Fukuoka, Japan, p. 1-5, out. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7350726/>>. Acesso em: 10 jan. 2017. DOI 10.1109/ISMAR-MASHD.2015.17.

ZHANG, KAI; LIU, SAI-JUN. The Application of Virtual Reality Technology in Physical Education Teaching and Training. **IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)**, Beijing, China, p. 245-248, jul. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7350726/>>. Acesso em: 10 jan. 2017. DOI 10.1109/SOLI.2016.7551695.

ZIKMUND, W. G. **Business research methods**. 5.ed. Fort Worth, TX: Dryden, 2000. 829 p.



## APÊNDICE A – MODELO DE CASOS DE USO



## APÊNDICE B – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO

### Questionário de avaliação do Sistema MMAR – *System of Molecular Modeling with Augmented Reality*

Gostaríamos que você respondesse as questões abaixo para nos ajudar a melhorar este sistema. Todos os dados são coletados anonimamente e somente serão utilizados no contexto desta pesquisa. Algumas fotografias poderão ser feitas como registro desta atividade, mas não serão publicadas em nenhum local sem autorização.

Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Pesquisador: \_\_\_\_\_

Email: \_\_\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

Disciplina e Turma: \_\_\_\_\_

Por favor, marque um quadro referente ao número de acordo com o quanto você concorda ou discorda de cada afirmação abaixo.

Nº	Questões	Sua Avaliação						
		-2	-1	0	+1	+2		
1	Provê formas de uso/interação fáceis de serem lembradas, não excluindo a necessidade de se ter instruções acessíveis sempre.	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente
2	Utiliza resolução e formato de imagens e vídeos compatíveis com disponibilização via <i>Web</i> .	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente
3	Cuida para não ter efeitos visuais que atrapalhem a interação do usuário, tirando o foco do mesmo do que importa (o aprendizado a partir da interatividade).	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente
4	Utiliza opções de menu, botões e <i>links</i> para navegação claramente padronizados e, consistentes, com os demais recursos de interface utilizados no sistema.	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente
5	Mantém sempre uma padronização de layout (uso de cores, fontes, imagens, etc.) do sistema.	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente
6	Oferece facilidade para que o usuário aprenda a explorar e utilizar os diferentes módulos e atividades incluídos.	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente
7	Possui a capacidade de tornar a sua utilização fácil para os usuários.	Discordo Fortemente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concordo Fortemente

8	As características (padronização de telas, navegação, <i>design</i> , etc.) facilitam ao usuário a memorização dos caminhos e procedimentos de interação para uso adequado do sistema.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
9	A informação contida no espaço de conhecimento incorporado no sistema (por exemplo, informações referentes às aulas e moléculas) é apresentada de maneira entendível.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
10	A interação com a aplicação é agradável e atrativa, sente-se satisfeito com o sistema.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
11	O <i>design</i> (interface gráfica) do sistema é atraente.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
12	A variação (de forma, conteúdo ou de atividades) ajudou a me manter atento ao sistema.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
13	O conteúdo do sistema é relevante para os meus interesses.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
14	O conteúdo do sistema está conectado com outros conhecimentos que eu já possuía.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente
15	Foi fácil entender o sistema e começar a utilizá-lo como material de estudo.	Discordo Fortemente	-2	-1	0	+1	+2	Concordo Fortemente

- Quais seriam os pontos fortes do sistema? \_\_\_\_\_

---



---



---



---

- Quais seriam as sugestões de melhoria do sistema? \_\_\_\_\_

---



---



---



---