



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÂNICA E INORGÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

JOSÉ MARIANO DE SOUSA OLIVEIRA

**FORÇAS INTERMOLECULARES: ABORDAGEM NOS LIVROS DE QUÍMICA
ORGÂNICA E DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM JOGO
EDUCACIONAL PARA A REVISÃO DO TEMA**

FORTALEZA

2022

JOSÉ MARIANO DE SOUSA OLIVEIRA

FORÇAS INTERMOLECULARES: ABORDAGEM NOS LIVROS DE QUÍMICA
ORGÂNICA E DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM JOGO EDUCACIONAL
PARA A REVISÃO DO TEMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título Mestre em Química. Área de concentração: Educação

Orientador: Prof. Dr. José Nunes da Silva Júnior.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O47 Oliveira, José Mariano de Sousa.
Forças intermoleculares: Abordagem nos livros de Química orgânica e desenvolvimento e avaliação de um jogo educacional para revisão do tema / José Mariano de Sousa Oliveira. – 2022.
136 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Química, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. José Nunes da Silva Júnior .
Coorientação: Prof. Dr. Francisco Serra Oliveira Alexandre .

1. Forças intermoleculares. 2. Química orgânica. 3. Jogo educacional. I. Título.

CDD 540

JOSÉ MARIANO DE SOUSA OLIVEIRA

FORÇAS INTERMOLECULARES: ABORDAGEM NOS LIVROS DE QUÍMICA
ORGÂNICA E DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM JOGO EDUCACIONAL
PARA A REVISÃO DO TEMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título Mestre em Química. Área de concentração: Educação.

Aprovada em: 22/03/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Nunes da Silva Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Serra Oliveira Alexandre (Coorientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Antônio José Melo Leite Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Carlos de Mattos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por Sua eterna compreensão e tolerância, por Seu infinito amor, pela Sua voz “invisível” que não me permitiu desistir e principalmente por ter me dado uma família tão especial, enfim, obrigado por tudo.

À toda minha família, em especial à minha esposa, Auricélia e aos meus filhos, Rennan, Alexandre e Gustavo, por terem me dado todo o apoio e condições para que eu realizasse esse sonho e não desistisse de alcançar o objetivo traçado.

À Universidade Federal do Ceará, ao programa de Pós-Graduação em Química pela grandiosidade institucional, pelos ensinamentos e aprendizados.

Ao Laboratório de Design de Softwares Educacionais – LDSE que desde o começo me acolheu, incentivou e desafiou, proporcionando-me reflexões, ensinamentos e aprendizado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Nunes da Silva Júnior, ao coorientador, Prof. Dr. Francisco Serra Oliveira Alexandre e ao Prof. Dr. Antônio José Melo Leite Júnior, pela dedicação, competência, apoio e todo conhecimento compartilhado.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

As forças intermoleculares (FIMs) são forças atrativas fracas usadas para explicar a interação entre as partículas da matéria. Infelizmente, diversos estudos relatam as dificuldades de estudantes em compreender esse conceito. A partir desta realidade, analisamos quinze livros didáticos de química orgânica que são normalmente usados em universidades brasileiras para examinar como estão sendo abordados os conteúdos e exercícios sobre as FIMs. A análise dos livros evidenciou que todos fazem menção às FIMs, mas o fazem de forma fragmentada em vários capítulos, não trazendo informações suficientes para criar uma imagem clara do fenômeno na mente do aluno. Essa abordagem deficiente das FIMs nos livros pode levar à falta de interesse dos professores em abordar o assunto, deixando de ensinar este tópico vital da química orgânica. Além disso, diante da falta de um jogo que abordasse especificamente o tema FIM, desenvolvemos e aplicamos o *Interactions 500*, um jogo híbrido no formato de perguntas e respostas, disponível em quatro idiomas (português, inglês, espanhol e francês). Embora o jogo tenha sido desenvolvido para ser implementado presencialmente, o advento da pandemia de Covid-19 nos fez desenvolver uma estratégia para utilização remota do jogo. Alunos dos cursos de Farmácia e Química da Universidade Federal do Ceará jogaram remotamente o *Interactions 500*, e o avaliaram. As opiniões dos alunos foram muito positivas em relação ao design, conteúdo, jogabilidade, usabilidade e utilidade. Por fim, a avaliação da aprendizagem revelou que o jogo promove o conhecimento tão bem como uma aula comum de resolução de exercícios e, portanto, pode ser usado como uma ferramenta educacional complementar.

Palavras-chave: forças intermoleculares; Química orgânica; jogo educacional.

ABSTRACT

Intermolecular forces (IMFs) are weak attractive forces used to explain the interaction between matter particles. Unfortunately, several studies report the difficulties of students in understanding this concept. Based on this reality, we analyzed fifteen organic chemistry textbooks usually used in Brazilian universities to examine how the contents and exercises on IMFs are being addressed. The analysis of the books showed that all mention the IMFs. Still, They do so in a fragmented way into several chapters, not bringing enough information to create a clear image of the phenomenon in the student's mind. This poor approach to IMFs in textbooks can lead to teachers' lack of interest in approaching the subject, failing to teach this vital organic chemistry topic. In addition, given the lack of a game that specifically addressed the IMF theme, we developed and applied Interactions 500, a hybrid game in question and answer format, available in four languages (Portuguese, English, Spanish and French). Although the game was developed to be implemented in person, the advent of the Covid-19 pandemic made us develop a strategy for the remote use of the game. Students from the Pharmacy and Chemistry courses at the Federal University of Ceará played the Interactions 500 remotely and evaluated it. Student opinions were very positive regarding the design, content, gameplay, usability, and usefulness. Finally, the learning assessment revealed that the game promotes knowledge as well as a traditional problem solving class and, therefore, can be used as a complementary educational tool.

Keywords: intermolecular forces; organic Chemistry; educational game.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Formas alotrópicas do carbono	25
Figura 2 –	Viscosidade da gasolina e da glicerina.....	26
Figura 3 –	Tensão superficial da água	27
Figura 4 –	Força de adesão e repulsão.....	27
Figura 5 –	Capilaridade	28
Figura 6 –	Gráfico da variação de um sistema isotérmico para um gás ideal	29
Figura 7 –	Estados físicos relacionados com as forças intermoleculares	32
Figura 8 –	Hidratação de compostos iônicos.....	33
Figura 9 –	Forças dipolo-dipolo na acetona.	35
Figura 10 –	Formação das forças de dispersão de London em átomos de Hélio	37
Figura 11 –	Interações entre as moléculas de água e o gás oxigênio.	39
Figura 12 –	Forças de London: pentano × octano.	39
Figura 13 –	Quantitativo de ligações de hidrogênio entre moléculas de água	40
Figura 14 –	P.e. de hidretos das famílias 15, 16 e 17.	41
Figura 15 –	Ligações de hidrogênio em moléculas de água.....	43
Figura 16 –	Estrutura das moléculas de água no estado sólido.	43
Figura 17 –	Interação íon-dipolo induzido.	45
Figura 18 –	Interações entre cadeias laterais de aminoácidos.	47
Figura 19 –	Interações no enovelamento de proteínas.	47
Figura 20 –	Emparelhamento das bases nitrogenadas.	48
Figura 21 –	Reação de saponificação.	50
Figura 22 –	Etapas do processo de interações.	51
Figura 23 –	Etapas do processo de construção das interações entre sabão, tecido, óleo e água.....	52
Figura 24 –	Tipos de tensoativos.....	53
Figura 25 –	Tabuleiro do jogo.	58
Figura 26 –	Telas do app.	59
Figura 27 –	Respostas do jogo.....	60
Figura 28 –	Imagem dos alunos jogando o <i>Interactions 500</i> em aula remota.....	61
Figura 29 –	A metodologia utilizada para avaliar o papel instrutivo do jogo.	64
Figura 30 –	Opiniões dos estudantes de graduação em Farmácia (N = 44) – distribuição de Categorias Likert.....	81

Figura 31 –	Tabuleiro do jogo modificado a partir das sugestões dos alunos.....	83
Figura 32 –	Imagem dos alunos jogando com o tabuleiro modificado.	84
Equação 1 –	Equação de Van der Waals	30
Equação 2 –	Energia potencial da força de atração eletrostática.....	31
Equação 3 –	Energia potencial entre interações íon-dipolo I	34
Equação 4 –	Energia potencial entre interações íon-dipolo II.....	36
Equação 5 –	Energia potencial entre interações íon-dipolo III.....	36
Equação 6 –	Energia potencial entre interações íon-dipolo IV	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Análise de jogos em reação ao conteúdo	13
Quadro 2 –	Valores das constantes de Van der Waals	31
Quadro 3 –	Comparação dos p.e. (°C) de alcanos, éteres, álcoois e aminas.....	44
Quadro 4 –	Polaridade e geometria das moléculas de CO_2 e CCl_4	45
Quadro 5 –	Livros de química orgânica analisados neste trabalho	57
Quadro 6 –	Questionário com afirmações SUS para o <i>Interactions 500</i>	63
Quadro 7 –	Avaliações de professores brasileiros e franceses sobre o conteúdo de forças intermoleculares em livros didáticos de química orgânica	66
Quadro 8 –	Livros de química orgânica pesquisados com seus respectivos autores, editora, edição, total de páginas, total de problemas, páginas como o tema FIMs, capítulos cobrindo qualquer tópico relacionado as FIMs e exercícios relacionados aos FIMs	67
Quadro 9 –	Distribuição de temas de forças intermoleculares	69
Quadro 10 –	Distribuição percentual de cobertura sobre tipos de forças intermoleculares em livros didáticos	72
Quadro 11 –	Distribuição percentual de cobertura sobre propriedades físicas nos livros didáticos.....	73
Quadro 12 –	Distribuição percentual de cobertura em biomoléculas nos livros didáticos.....	74
Quadro 13 –	Distribuição percentual de cobertura sobre técnicas analíticas nos livros didáticos.....	75
Quadro 14 –	Distribuição percentual de outros tópicos relacionados a FIMs em livros Didáticos.....	76
Quadro 15 –	Número de exercícios relacionados as FIMs nos livros de química Orgânica	77
Quadro 16 –	Número de exercícios por categoria de FIMs em livros didáticos de química orgânica pesquisados	79
Quadro 17 –	Comparação do desempenho do aluno em relação ao uso do aplicativo.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Considerações iniciais.....	11
1.2	Justificativa da pesquisa.....	22
2	Objetivos.....	23
2.1	Objetivos gerais.....	23
2.2	Objetivos específicos.....	23
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
3.1	Forças intermoleculares e iônicas.....	33
3.1.1	<i>Forças íon-dipolo.....</i>	33
3.1.2	<i>Interação dipolo-dipolo.....</i>	34
3.1.3	<i>Interação de dispersão de London ou dipolo induzido-dipolo instantâneo... ..</i>	37
3.1.4	<i>Interação dipolo-dipolo induzido.....</i>	38
3.1.5	<i>Ligações de hidrogênio.....</i>	39
3.1.6	<i>Interações íon-dipolo induzido.....</i>	44
3.2	Interações em estruturas específicas.....	46
3.2.1	<i>Interações entre aminoácidos e proteínas.....</i>	46
3.2.2	<i>Interações entre fármacos e receptores.....</i>	47
3.2.3	<i>Interações entre filamentos de ácidos nucleicos.....</i>	48
3.2.4	<i>Interações entre sabão, detergente e água: formação de micelas.....</i>	50
3.3	O ensino das forças intermoleculares.....	53
3.3.1	<i>O jogo como recurso pedagógico.....</i>	54
4	METODOLOGIA.....	56
4.1	Opinião dos professores acerca da abordagem das FIMs nos livros didáticos.....	56
4.2	Análise dos livros de química orgânica.....	56
4.3	O design do jogo <i>Interactions 500</i>	57
4.3.1	<i>O jogo.....</i>	57
4.3.2	<i>Jogando o jogo.....</i>	58
4.3.3	<i>Implementação do jogo remotamente.....</i>	61
4.4	Avaliação do jogo.....	62
4.4.1	<i>Avaliação do jogo.....</i>	62
4.4.2	<i>Usabilidade do sistema.....</i>	63

4.4.3	<i>Papel Instrutivo do jogo</i>	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	Opinião dos professores	66
5.2	Exame dos livros de química orgânica	66
5.2.1	<i>Tipos de forças intermoleculares</i>	71
5.2.2	<i>Propriedades físicas</i>	72
5.2.3	<i>Biomoléculas</i>	74
5.2.4	<i>Técnicas analíticas</i>	74
5.2.5	<i>Outros tópicos relacionados às forças intermoleculares</i>	75
5.3	Cobertura dos exercícios relacionados com as forças intermoleculares	77
5.4	Opinião dos alunos sobre o <i>Interactions 500</i>	80
5.5	Aplicação do jogo após as sugestões dos alunos	82
5.6	Usabilidade do jogo <i>Interactions 500</i>	84
5.7	Análise estatística – O papel instrucional do jogo	85
6	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A – PRÉ-TESTE	96
	APÊNDICE B – PÓS-TESTE	107
	ANEXO A – ARTIGOS PUBLICADOS	124

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Os primeiros relatos que descrevem a matéria e os fenômenos naturais desconectados de qualquer divindade ou religião se deu a partir dos filósofos gregos no século V a.C. Eles relataram que poderia haver forças ou influências desconhecidas entre certos tipos de materiais, e a busca pelo entendimento da natureza da matéria inspirou numerosas linhas de pensamentos filosóficos, explicações metafísicas e, mais tarde, teorias científicas. O debate iniciado na Grécia antiga dizia respeito não apenas à composição e à estrutura da matéria, mas também à origem das interações (ISRAELACHVILI; RUTHS, 2013).

Por que a educação química desempenha um papel tão importante? Acreditamos que a essência da dificuldade de aprender química é a combinação da abstração percebida de seus conceitos e o fato de que (ao contrário de tantas vezes na física) existe uma tensão entre as possíveis explicações e o julgamento que é necessário para chegar à explicação verdadeira. A abstração, é claro, é percebida e não real. Todos nós, químicos profissionais, sabemos que átomos e moléculas são reais, e estamos confiantes sobre nosso raciocínio sobre energia e entropia; no entanto, o educando não tem tal confiança e precisa se adequar à realidade da infraestrutura de nossas explicações. Buscamos neste trabalho a exploração de como transmitir conceitos de FIMs de forma acessível, em parte plantando, mas também dissipando equívocos, talvez usando essa poderosa entrada no cérebro, a visualização.

Pozo e Crespo (2009) defendem que a ideia da natureza da matéria como um sistema de interação entre partículas é parte essencial da química, e que deve ser aplicado desde a educação básica. Nas disciplinas introdutórias do curso de química, é apresentado para os alunos o modelo de que a matéria é formada por partículas que são mantidas juntas por interações fracas que existem entre elas (SCHMIDT; KAUFMANN; TREAGUST, 2009). Tais interações são chamadas de forças intermoleculares (FIMs), as quais são forças atrativas fracas usadas para explicar a interação entre as partículas da matéria. Este é um assunto que nos permite, por exemplo, compreender e interpretar uma série de transformações físicas dos materiais como solubilidade, volatilidade, viscosidade, adsorção (cromatografia), ponto de fusão, ponto de ebulição, entre muitas outras características físicas das substâncias. Consequência disso, o tema é essencial no plano de ensino da química orgânica, e tal conhecimento é fundamental na formação de estudantes de diferentes cursos, seja para a atuação como professor da educação básica ou superior, em indústrias ou na atuação em pesquisas

(JUNQUEIRA, 2017).

Pesquisas têm mostrado que o ensino de química geralmente vem sendo estruturado em torno de atividades que levam à memorização de informações, fórmulas e conhecimentos que acabam trazendo dificuldades para os alunos (AYYILDIZ; TARHAN, 2018; QUÍLEZ, 2019). Isso contribui na desmotivação deles em aprender e estudar química, não sendo observadas as limitações na forma como os conteúdos estão sendo compreendidos pelos estudantes (AZEVEDO, 2020). Essas limitações estão relacionadas com as dificuldades associadas à abstração de conceitos; elaboração e compreensão de modelos científicos; e o surgimento de concepções alternativas (SANTOS *et al.*, 2013).

A abordagem das forças intermoleculares se encontra nas diversas áreas da química com variadas aplicações, todavia constatamos que a inserção e a abordagem no ensino de modo fragmentado, sem relação entre as diferentes disciplinas e sem um momento de consolidação do conhecimento, o qual poderia auxiliar sua aprendizagem. A fragmentação do conteúdo ao longo do ensino, onde não há uma ligação entre o que é abordado nas várias disciplinas, possivelmente dificulte o entendimento de seus significados e, mais ainda, contribua para que o aluno não tome consciência da centralidade do tema para o conhecimento químico.

Os alunos normalmente têm dificuldade em descrever por que uma grande molécula com apenas forças de dispersão de London pode ter um ponto de ebulição mais alto do que uma pequena molécula que tem interação dipolo-dipolo. Enquanto atividades de investigação podem ser uma maneira poderosa de desenvolver habilidades nesta área, tais atividades podem ser absurdamente caras e difícil de fazer em grandes salas de aula ou quando poucos recursos estão disponíveis.

Olhando na perspectiva do estudante, é inegável destacar que a química é difícil na visão dos estudantes (AKRAM; IJAZ; IKRAM, 2017). Nesse panorama, se faz necessário utilizar de ideias educacionais pré-estabelecidas com ideias educacionais inovadoras. Isso converge diante de práticas pedagógicas que levam em conta variáveis importantes no processo de aprendizagem do aluno, como por exemplo sua situação cotidiana. Por isso é condizente a busca de novas metodologias educacionais que considerem a realidade social dos alunos. Fazer uso de diferentes métodos proporciona aos estudantes recursos viáveis e relevantes para o seu estudo, melhorando sua experiência de aprendizagem em sala de aula (SRISAWASDI; PANJABUREE, 2019). Integrar as tecnologias de informação e comunicação (TIC) aos métodos tradicionais de ensino tem sido considerada uma importante inovação no processo educacional (BELLOU; PAPACHRISTOS; MIKROPOULOS, 2018), pois essas tecnologias atraem os jovens e são uma das principais impulsionadoras da nossa sociedade atual.

Nesse contexto, podemos destacar o uso de jogos no âmbito escolar, pois são ferramentas de aprendizagem (CLAPSON; GILBERT; MUSGROVE, 2020) que provocam discussões significativas entre os alunos (ZHANG *et al.*, 2021), por agruparem as funções lúdica e didática (OLIVEIRA; SOARES, 2005). Vale à pena salientar que, no ensino de química orgânica, nos recentes anos, várias atividades lúdicas e jogos didáticos e educativos têm sido aplicados como recurso pedagógico.

Quadro 1 – Análise de jogos em relação ao conteúdo

Ano	Área	Sub-área	Gênero
1925	Química Geral	Atomística/Tabela Periódica/Ligações Químicas	quebra-cabeça
1930	Química Geral	Gases	mesa
1935	Química Geral	Nomenclatura	cassino
1944	Bioquímica	Macromoléculas	mesa
1948	Físico Química	Soluções	mesa
1948	Química Geral	Teoria de valência	mesa
1955	Química Geral	História da Química	quebra-cabeça
1971	Química Orgânica	Propriedades dos compostos orgânicos	quebra-cabeça
1972	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
1973	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
1973	Química Analítica	Cristalografia	mesa
1974	Química Geral	Química ambiental	simulação
1974	Química Geral	Método científico	mesa
1976	Química Geral	Fórmulas químicas	mesa
1977	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
1978	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
1978	Química Geral	Orbitais	estilo de arte
1979	Físico Química	Equilíbrio Químico	quebra-cabeça
1980	Química Geral	Nomenclatura	mesa
1981	Química Orgânica	Espectroscopia	simulação
1982	Química Orgânica	Estrutura molecular	simulação
1984	Química Orgânica	Polímeros	simulação
1986	Química Geral	Elementos químicos	quebra-cabeça
1989	Bioquímica	Macromoléculas	quebra-cabeça
1990	Química Geral	Estrutura molecular	tema
1990	Físico Química/Química Geral	Cinética Química/Equilíbrio Químico/Atomística	quebra-cabeça
1992	Química Orgânica	Funções orgânicas	quebra-cabeça

1993	Química Orgânica/Química Geral	Reações orgânicas/Tabela Periódica	quebra-cabeça
1993	Química Orgânica	Reações orgânicas	quebra-cabeça
1994	Química Orgânica	Nomenclatura	quebra-cabeça
1994	Química Geral	Reações Químicas/aparelhos de Laboratório	quebra-cabeça
1995	Química Geral	Tabela Periódica	cassino
1996	Química Geral	Radioatividade	quebra-cabeça
1996	Química Orgânica	Nomenclatura	quebra-cabeça
1996	Química Orgânica	Nomenclatura	quebra-cabeça
1997	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
1998	Química Geral	Elementos químicos	quebra-cabeça
1999	Química Geral	Reações Químicas	mesa
1999	Química Geral	Segurança no laboratório	mesa
1999	Química Orgânica	Nomenclatura/Fórmulas químicas	estilo de arte
1999	Físico Química	Soluções/Cinética Química	vídeo-game
1999	Química Geral	Radioatividade	mesa
2000	Química Geral	Nomenclatura	cassino
2000	Química Geral	Nomenclatura	estilo de arte
2002	Química Geral	nomenclatura/propriedades dos compostos químicos	quebra-cabeça
2002	Físico Química	Cinética Química	mesa
2003	Química Geral	Estrutura de Lewis e VSEPR	tema
2003	Química Orgânica	Espectroscopia	quebra-cabeça
2003	Química Orgânica	Funções orgânicas	mesa
2003	Físico Química	Equilíbrio Químico	mesa
2003	Química Geral	Laboratório	mesa
2003	Química Geral	Elementos químicos	quebra-cabeça
2003	Química Geral	Elementos químicos	mesa
2004	Química Orgânica	Cromatografia	mesa
2004	Química Geral	Estequiometria	simulação
2004	Química Geral	Estequiometria	simulação
2005	Química Geral	Equipamentos de laboratório	mesa
2006	Química Geral	Funções inorgânicas	quebra-cabeça
2006	Físico Química	Termodinâmica	tema
2006	Físico Química/Química Geral	Equilíbrio Químico / estequiometria	tema
2006	Química Geral	Elementos químicos	quebra-cabeça
2006	Química Geral	Elementos químicos	quebra-cabeça

2007	Química Geral	Ligações Químicas	mesa
2007	Química Orgânica	Funções orgânicas	estilo de arte
2007	Química Orgânica	Funções orgânicas	estilo de arte
2007	Química Orgânica	Funções orgânicas	estilo de arte
2007	Química Orgânica	Isomeria	mesa
2008	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2008	Química Orgânica	Cromatografia	mesa
2008	Bioquímica	Ciclos biogeoquímicos	mesa
2008	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2008	Química Geral	Estrutura de Lewis e VSEPR	quebra-cabeça
2008	Química Geral	Elementos químicos/ Vidrarias de Laboratório	quebra-cabeça
2008	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2009	Bioquímica	Metabolismo energético	quebra-cabeça
2009	Físico Química	Termodinâmica	mesa
2009	Química Orgânica	Cromatografia	mesa
2009	Química Geral	Atomística/Tabela Periódica/Ligações Químicas	simulação
2009	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2009	Química Geral	Fórmula dos compostos	quebra-cabeça
2010	Química Orgânica	Nomenclatura	mesa
2010	Química Geral	Indicadores ácido-base	simulação
2010	Química Medicinal	Agentes anti-úlceras	quebra-cabeça
2010	Química Orgânica	Estrutura das moléculas	mesa
2010	Bioquímica	Proteínas	quebra-cabeça
2010	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2011	Química Geral	Nomenclatura	mesa
2011	Bioquímica	Macromoléculas	quebra-cabeça
2011	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2011	Bioquímica	Ciclos biogeoquímicos	mesa
2011	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2011	Bioquímica	Proteínas	quebra-cabeça
2011	Química Inorgânica	Química descritiva: elementos químicos: propriedades fontes e uso, definições	quebra-cabeça
2011	Bioquímica	Aminoácidos	quebra-cabeça
2011	Química Geral	Tabela Periódica	simulação
2011	Química Geral	Atomística	simulação
2011	Química Geral	Tabela Periódica	vídeo-game
2011	Química Geral	História da Química	RPG
2012	Química Geral	Ligações Químicas	quebra-cabeça
2012	Físico Química	Reações Químicas	mesa
2012	Química Orgânica	Isomeria	quebra-cabeça
2012	Química Geral	Nomenclatura	mesa
2012	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça

2012	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2012	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2012	Química Geral	Nomenclatura	mesa
2012	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2012	Química Geral	Geometria molecular e VSEPR	mesa
2012	Química Geral	Separação de misturas	mesa
2012	Físico Química	Equilíbrio Químico	cassino
2012	Química Geral	Modelos atômicos	vídeo-game
2012	Química Orgânica	Hidrocarbonetos	quebra-cabeça
2012	Química Geral	Misturas/processos de separação de misturas	simulação
2012	Química Orgânica	Nomenclatura	mesa
2013	Química Geral	Tabela Periódica	simulação
2013	Química Orgânica	Nomenclatura	quebra-cabeça
2013	Química Geral	Funções inorgânicas	mesa
2013	Química Geral	Funções inorgânicas	mesa
2013	Química Orgânica	Estereoquímica	quebra-cabeça
2013	Química Geral	Tabela Periódica	cassino
2013	Química Orgânica	Estrutura dos compostos	mesa
2014	Físico Química	Química quântica	quebra-cabeça
2014	Físico Química	Química quântica/computacional	quebra-cabeça
2014	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2014	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2014	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2014	Bioquímica	Metabolismo energético	mesa
2014	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2014	Química Analítica	Eletroquímica	mesa
2014	Bioquímica	Aminoácidos	mesa
2014	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2014	Química Geral	Tabela Periódica	tema
2015	Bioquímica	Metabolismo energético	quebra-cabeça
2015	Química Orgânica	Reações orgânicas/ Funções orgânicas	mesa
2015	Físico Química	Termodinâmica	quebra-cabeça
2015	Química Geral	Atomística	simulação
2015	Química Inorgânica	Nomenclatura	mesa
2015	Química Orgânica	Funções orgânicas	mesa
2015	Química Orgânica/Química Geral	Fórmulas químicas/ Estrutura dos compostos	quebra-cabeça
2015	Química Geral	Atomística/Tabela Periódica/Configuração eletrônica/Estequiometria	quebra-cabeça
2015	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2015	Química Geral	Nomenclatura	simulação
2015	Química Geral	Diagrama de Lewis	quebra-cabeça
2015	Química Geral	Elementos químicos/ Tabela periódica/ pH	simulação

2015	Química Geral	Elementos químicos/ Tabela periódica	mesa
2016	Química Orgânica	Funções orgânicas	quebra-cabeça
2016	Química Orgânica	Estereoquímica	simulação
2016	Química Orgânica	Estereoquímica	simulação
2016	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2016	Química Orgânica	Nomenclatura	mesa
2016	Química Orgânica	Estereoquímica	simulação
2016	Química Geral	Equipamentos de laboratório	mesa
2016	Química Analítica	Técnicas de Laboratório	quebra-cabeça
2016	Química Geral	Orbitais	quebra-cabeça
2016	Química Geral	Transformações Químicas	simulação
2016	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2016	Química Geral	Atomística	tema
2016	Físico Química	Soluções	mesa
2016	Química Geral	Atomística	quebra-cabeça
2016	Química Geral	Ligações Químicas	tema
2016	Química Geral	Tabela Periódica	tema
2016	Química Geral	Nomenclatura	mesa
2017	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2017	Química Orgânica	Simetria molecular	mesa
2017	Química Geral	Orbitais	quebra-cabeça
2017	Química Geral	Funções inorgânicas	mesa
2017	Química Analítica	Conceitos gerais	quebra-cabeça
2017	Química Orgânica	Nomenclatura	tema
2017	Química Orgânica	Funções orgânicas	mesa
2017	Química Orgânica	Estereoquímica	quebra-cabeça
2017	Química Analítica	Eletroquímica	mesa
2017	Química Orgânica	Hidrocarboneto: alcanos	mesa
2017	Química Geral	Fórmula dos compostos	mesa
2017	Química Geral	Segurança no laboratório/Práticas de laboratório	simulação
2017	Química Geral	Reações Químicas	simulação
2017	Química Orgânica	Reações orgânicas/Polímeros	simulação
2017	Química Geral	História da Química	mesa
2017	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2017	Química Orgânica	Isomeria	mesa
2017	Química Orgânica	Funções orgânicas	quebra-cabeça
2017	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2018	Química Orgânica	Geometria molecular e VSEPR	mesa
2018	Química Orgânica	Nomenclatura	mesa
2018	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2018	Química Geral	Reações Químicas/atomística	simulação
2018	Química Geral	Atomística	simulação
2018	Química Geral	Práticas de laboratório	simulação

2018	Química Geral	Atomística	simulação
2018	Química Inorgânica/Química Orgânica	Simetria molecular	mesa
2018	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2018	Química Geral	Colóides	mesa
2018	Química Geral	Colóides	mesa
2018	Química Geral	Reações Químicas	quebra-cabeça
2018	Química Geral	Ligações Químicas	mesa
2018	Química Orgânica	Nomenclatura de compostos orgânicos	mesa
2018	Química Orgânica	Estereoquímica	simulação
2018	Química Geral	Reações Químicas/atomística	mesa
2018	Química Analítica	Técnicas de Laboratório	quebra-cabeça
2018	Físico Química	Equilíbrio Químico	simulação
2018	Química Orgânica	Isomeria/Estereoquímica/Forças intermoleculares/Nomenclatura	simulação
2018	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2018	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2018	Química Geral	Sais inorgânicos	mesa
2018	Química Orgânica	ção à Química Orgânica/Funções orgânicas/Nomenclatura	simulação
2018	Química Geral	Reações Químicas	simulação
2018	Química Geral	Atomística	simulação
2018	Química Geral	Química Verde	simulação
2018	Química Geral	Caracterização de substâncias	quebra-cabeça
2018	Química Geral	Ligações Químicas	simulação
2018	Química Inorgânica	Reações organometálicas	mesa
2018	Química Inorgânica	Nomenclatura	mesa
2019	Química Orgânica	Estrutura de Lewis e VSEPR	simulação
2019	Físico Química	Cinética Química/Química quântica	mesa
2019	Química Orgânica	Espectroscopia	quebra-cabeça
2019	Química Geral	Reações Química	mesa
2019	Físico Química	Cinética Química	mesa
2019	Bioquímica	Macromoléculas	simulação
2019	Química Orgânica	Nomenclatura	quebra-cabeça
2019	Química Geral	Segurança no laboratório/Práticas de laboratório	mesa
2019	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2019	Química Orgânica	Estereoquímica	mesa
2019	Química Geral	Atomística	mesa
2019	Química Orgânica	Reações orgânicas	simulação
2019	Química Geral	Nomenclatura	mesa
2019	Química Orgânica	História da Química Orgânica/Funções Orgânicas	mesa
2019	Química Geral	Nomenclatura	mesa
2019	Química Geral	Tabela Periódica	mesa

2019	Química Geral	Atomística	simulação
2019	Química Geral	Radioatividade	mesa
2019	Físico Química	Cinética Química	simulação
2019	Físico Química	Cinética Química	simulação
2019	Química Geral	Vidraria de laboratório/Práticas de laboratório	simulação
2019	Bioquímica	Análise de componentes bioquímicos	simulação
2019	Química Orgânica	Hidrocarbonetos	quebra-cabeça
2019	Química Orgânica	Hidrocarbonetos	simulação
2019	Química Inorgânica	Elementos químicos	quebra-cabeça
2019	Química Inorgânica	Nomenclatura de compostos inorgânicos	simulação
2019	Química Geral	Práticas de laboratório	quebra-cabeça
2019	Química Geral	Reação Química	simulação
2019	Química Geral	Introdução ao estudo da Química	simulação
2020	Química Orgânica	Estrutura e reatividade dos compostos orgânicos	quebra-cabeça
2020	Química Orgânica	Carboidratos	mesa
2020	Química Geral	Reações Química e Nomenclatura de compostos	mesa
2020	Química Geral	Funções inorgânicas	mesa
2020	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2020	Química Geral	Fórmulas químicas e Tabela Periódica	mesa
2020	Química Orgânica	Espectroscopia	mesa
2020	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2020	Química Orgânica	Espectroscopia	simulação
2020	Química Orgânica	Ácidos e Bases orgânicos	mesa
2020	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2020	Química Geral	Elementos químicos	mesa
2020	Química Geral	Atomística	mesa
2020	Química Orgânica	Funções orgânicas/ Nomenclatura	mesa
2020	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2020	Química Orgânica	Biocombustíveis	mesa
2020	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2020	Química Orgânica	Teoria estrutural dos compostos orgânicos	quebra-cabeça
2020	Química Orgânica	Polímeros	mesa
2020	Química Geral	Funções inorgânicas e soluções	simulação
2020	Química Geral	Química Verde	mesa
2020	Química Geral	Química Verde	simulação
2020	Química Geral	Ligações Químicas/Tabela Periódica/Estoquiometria/Reações redox	simulação
2020	Química Orgânica	Compostos aromáticos	quebra-cabeça
2020	Físico Química	Propriedades coligativas	mesa
2020	Química Orgânica	Forças intermoleculares	mesa
2020	Química Geral	Nomenclatura	estilo de arte
2020	Química Orgânica	Nomenclatura	vídeo-game

2020	Química Geral	Ligações Químicas	quebra-cabeça/mesa
2020	Química Analítica	Técnicas de Laboratório	mesa
2020	Química Analítica	Eletroquímica	simulação
2020	Química Geral	Reações Químicas	mesa
2020	Físico Química	Cinética Química	simulação
2020	Química Geral/Bioquímica	Ligações Químicas/Reações metabólicas	quebra-cabeça
2021	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2021	Química Orgânica	compostos orgânicos e grupos funcionais	mesa
2021	Química Orgânica	Reações orgânicas	quebra-cabeça
2021	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2021	Química Orgânica	Síntese orgânica	tema
2021	Química Medicinal	Estrutura das moléculas	simulação
2021	Química Orgânica	Hidrocarboneto: alcanos	estilo de arte
2021	Química Geral	Elementos químicos	mesa
2021	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2021	Química Orgânica	Fórmula dos compostos orgânicos/Isomeria/Reações Químicas	simulação
2021	Química Geral	Segurança no laboratório	quebra-cabeça
2021	Química Geral	Química Verde	mesa
2021	Química Geral	Elementos químicos/pH/Solubilidade	quebra-cabeça/simulação
2021	Química Geral	hidraria de laboratório/Ligações químicas/pH/Ácidos e bases	quebra-cabeça
2021	Química Geral	Ligações químicas	simulação
2021	Química Geral	Química Verde/Tabela periódica	quebra-cabeça/mesa
2021	Química Geral	Tabela Periódica	mesa
2021	Química Geral	Reações químicas	mesa
2021	Química Geral	Ligações químicas	mesa
2021	Química Geral	Tabela Periódica	quebra-cabeça
2021	Química Geral	Gases	simulação
2021	Química Orgânica	Estereoquímica	mesa
2022	Química Geral	Ligações químicas	mesa
2022	Química Orgânica	Hibridização	simulação
2022	Química Inorgânica	Orbital atômico	mesa
2022	Química Orgânica	Reações orgânicas	quebra-cabeça
2022	Físico Química	Equilíbrio Químico	mesa/simulação
2022	Química Orgânica	Nomenclatura	mesa
2022	Química Inorgânica	Nomenclatura	mesa
2022	Química Orgânica	Orbital atômico	mesa
2022	Química Orgânica	Acidez e basicidade orgânica	mesa
2022	Química Orgânica	Nomenclatura	mesa
2022	Química Geral	Tabela Periódica	cassino

2022	Química Geral	Fórmulas químicas	mesa
2022	Química Orgânica	Reações orgânicas	mesa
2022	Química Orgânica	Síntese orgânica	mesa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os jogos são usados para ensinar química há bastante tempo, com uma série de objetivos diferentes para o jogo e para o aluno. Analisando esses objetivos, alguns jogos podem ser complexos e requerem preparação significativa, ou tecnologia específica. No entanto, interesses jogos, muitos fazem uso de cartas e tabuleiro simples, como medida para transmitir e ensinar conceitos químicos aos alunos. Esses jogos cobrem uma ampla gama de tópicos, incluindo nomenclatura oficial (IUPAC) e convencional (usual), formações de ligações, sínteses orgânicas, construção de estruturas de Lewis, cinética química, equilíbrio químico, reações orgânicas e inorgânicas, dentre outros.

Nesse panorama, observa-se uma carência em se tratando de jogos que abordem exclusivamente tópicos relacionados as FIMs com os compostos orgânicos. A partir disso, surge a ideia do desenvolvimento do *Interactions 500*, que é um jogo híbrido, no formato de perguntas e respostas, em quatro idiomas (português, inglês, espanhol e francês), que pode ser usado tanto em sala de aula presencial como também em aula remota.

O jogo funcionaria como uma ferramenta auxiliar para a revisão e reforço desses conteúdos, porém, de uma forma desafiadora e divertida. Um outro aspecto que sem dúvida tem grande influência no processo de ensino- aprendizagem é o uso do livro didático. Ele é a principal ferramenta utilizada por professores para planejarem e ministrarem suas aulas. Santos (2006) relata que quando o professor faz opção pelo uso do livro didático, ele pode se deparar com algumas questões:

- a) Como avaliar e escolher o livro que melhor se enquadra na proposta do curso universitário?
- b) Que critérios devem ser considerados para escolha do livro que auxilie o professor na busca de uma aprendizagem mais significativa?

O livro didático não se caracteriza só apenas como única fonte de conhecimento (VERCEZE; SILVINO, 2008), mas serve de base para orientação e prática pedagógica do professor (VASSÃO, 2018), como também abrange a maior parte do currículo acadêmico.

Embora os “recursos auxiliares”, como guias de estudo, manuais de soluções, sítios da internet e aplicativos sejam cada vez mais usados na preparação das aulas, os livros didáticos ainda desempenham um papel vital na determinação dos currículos dos cursos, tanto no

conteúdo específico quanto nas abordagens pedagógicas. Cursos com uma enorme carga horária como o de química, repleto de conteúdo, fazem a maioria dos professores derivar seu material de pesquisa diretamente de livros didáticos, que são escolhidos considerando a cobertura dos conceitos contidos neles e como eles são apresentados no livro (SMITH; JACOBS, 2003). A melhor escolha do livro didático será aquela que motiva os alunos a passarem o maior tempo interagindo com ele.

1.2 Justificativa da pesquisa

O domínio das FIMs é crucial para estudantes de química porque elas desempenham um papel central em prever e explicar como os sistemas de nível molecular se comportam em sistemas químicos e biológicos. Portanto, a importância e a diversidade das FIMs os tornam um componente valioso dos currículos de química, bioquímica e biologia.

A partir desta realidade, nos motivamos a avaliar como as forças intermoleculares são introduzidas nos livros didáticos de química orgânica afim de determinar padrões comuns dentro dos temas relacionados com os conteúdos de química orgânica. Além disso, as informações deste trabalho podem auxiliar os professores de química orgânica a decidirem sobre a adoção de um livro-texto de química orgânica para o conteúdo de FIMs.

Diante da falta de um jogo que abordasse especificamente os conteúdos relacionados às FIMs, decidimos criar e aplicar em sala de aula ou remotamente um novo jogo de tabuleiro-híbrido para plataformas móveis chamado *Interactions 500* que pudesse aproximar os alunos, levando-os a discutir de forma lúdica os conteúdos relacionados de forças intermoleculares dentro da disciplina de Química Orgânica.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar como os conteúdos de forças intermoleculares estão abordados nos livros didáticos de química orgânica.

Desenvolver, implementar e avaliar um jogo educacional e aplicar em aula um aplicativo para plataformas móveis (smartphones e tablets), no formato híbrido para auxiliar os estudantes na revisão dos conteúdos relacionados às forças intermoleculares dentro da disciplina de Química Orgânica I.

2.2 Específicos

- a) Fazer uma sondagem com professores a respeito do tema de forças intermoleculares dentro da química orgânica;
- b) analisar os conteúdos e exercícios de FIMs examinando 15 livros de química orgânica utilizados em universidades brasileiras;
- c) Desenvolver e construir um jogo educacional híbrido constituído de um tabuleiro físico e um aplicativo para smartphones e tablets;
- d) Criar um banco de questões, disponível em quatro idiomas (português, inglês, francês e espanhol);
- e) Testar o jogo *Interactions 500* como uma ferramenta de aprendizagem com turmas de estudantes de graduação na disciplina de Química Orgânica I;
- f) Avaliar o jogo desenvolvido a partir das opiniões dos professores e estudantes;
- g) Avaliar o papel instrucional do jogo a partir da comparação do desempenho dos estudantes de turmas que utilizaram (grupos experimentais) e os que não utilizaram o jogo (grupos controle) em seus estudos;
- h) Incentivar, por meio da disponibilização da ferramenta desenvolvida, a utilização das TICs no contexto de ensino da área da química orgânica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Entre átomos, íons e moléculas podem ocorrer dois tipos de fenômenos: interações e/ou reações. As reações se originam por meio de processos energéticos de transformação dos reagentes por meio de ligações químicas, enquanto as interações são regidas forças atrativas e repulsivas que ocorrem entre espécies sem a promoção de novos produtos (MIRANDA, 2018). Essas forças que atuam sobre todos os grupos químicos podem ser chamadas de interações de van der Waals, homenageando Johanes Diderik van der Waals, e envolvem os momentos de dipolo elétrico, permanente ou induzido, com energia bem inferior que a das ligações covalentes (NELSON; COX, 2006; COSTA, MENEZES, 2015).

Existem três interações distintas que abrangem o conjunto denominado de Força de van der Waals.

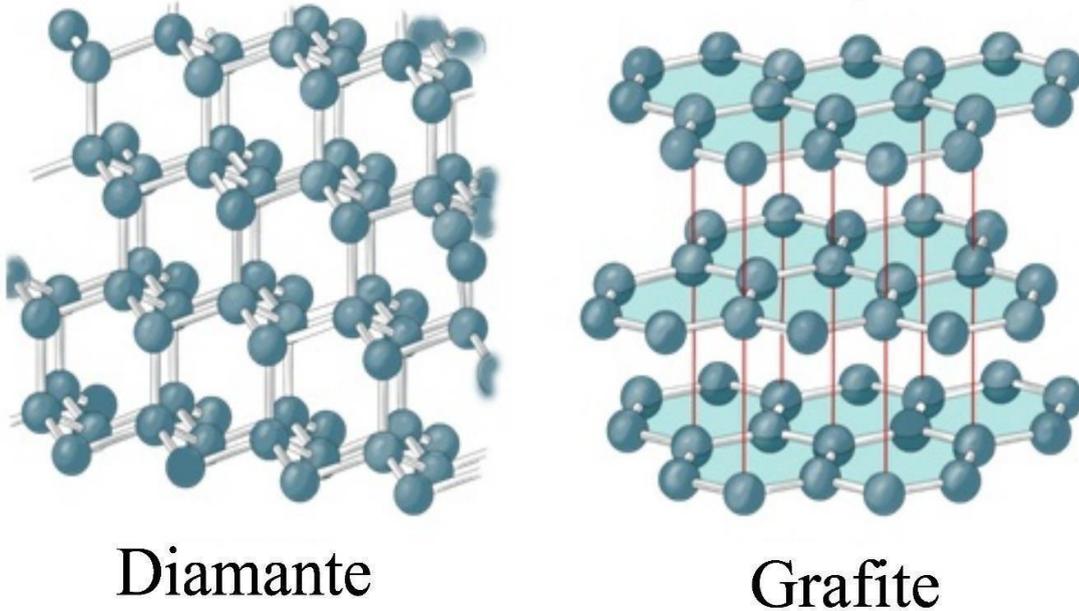
- a) Força de Keesom: força entre dois dipolos permanentes.
- b) Força de Debye: força entre um dipolo permanente e um polo induzido.
- c) Força de dispersão de London: força entre dois dipolos instantaneamente induzidos.

A energia envolvida na formação das FIMs não é forte o bastante em comparação as ligações iônicas e covalentes (BROWN *et al.*, 2005). Essas forças auxiliam no processo de compreensão do porquê de algumas substâncias se encontrarem na forma sólida, líquida ou gasosa, além de subsidiar suas propriedades físicas. De forma geral, essas forças atuam de forma mais notável em sólidos e líquidos (ATKINS; JONES, 2012).

As propriedades físicas das substâncias podem ser entendidas em termos de teoria cinética molecular. Por exemplo, um sólido é uma fase condensada da matéria na qual átomos, íons ou moléculas não podem escapar da influência uns dos outros. Nesses casos a interação é tão forte que a posição relativa dessas entidades é fixa.

Os sólidos podem ser cristalinos ou amorfos (não-cristalinos). Em um sólido cristalino os átomos, íons ou moléculas estão ordenados em arranjos bem-definidos. Esses sólidos geralmente têm superfícies planas ou faces que fazem ângulos definidos entre si. As pilhas regulares de partículas que produzem essas faces também fazem com que os sólidos tenham formas altamente regulares. Grafite e diamante são sólidos cristalinos, conforme observado a figura 1.

Figura 1 – Formas alotrópicas do carbono



Fonte: <https://www.lifeder.com/alotropos-del-carbono> - acessado em 21/12/2022

Um líquido é uma fase condensada da matéria na qual átomos, íons ou moléculas podem se mover uns em relação aos outros, mas não podem escapar da influência mútua. Aqui as interações são mais fracas do que no sólido.

Alguns líquidos, como melão e óleo de motor, fluem muito lentamente; outros, como água e gasolina, fluem facilmente. A resistência de um líquido para fluir é chamada viscosidade. Quanto maior a viscosidade de um líquido, mais lentamente ele flui (ATKINS; JONES, 2012). A viscosidade, portanto, está relacionada com a facilidade de moléculas individuais de líquidos poderem mover-se em relação às outras. Logo ela depende das forças atrativas entre as moléculas e do fato de existirem ou não características estruturais que façam as moléculas tornarem-se emaranhadas. A viscosidade da gasolina é menor do que da glicerina, conforme observado na figura 2.

Figura 2 – Viscosidade da gasolina e da glicerina



Fonte: <https://www.anton-paar.com/simplicidade-nas-medicoes-de-viscosidade-conceitos-basicos> - acessado em 23/12/2022

A água, no estado líquido, é responsável pela solubilização, em maior ou menor escala, de quase todos os compostos químicos, especialmente os sais minerais nutrientes. Ao deslocar-se na superfície, transporta os compostos solubilizados, na superfície do solo, entre os poros do solo e nos cursos d'água, promovendo o funcionamento, pelo menos em parte, dos ciclos dos nutrientes. Essa atividade exercida pela água é resultado das diversas interações que ocorrem entre as moléculas de água e as espécies químicas solubilizadas.

Água, no estado líquido, ao ser colocada em uma superfície encerada, ela 'se espalha em bolhas', formando esferas distorcidas, resultante da tensão superficial. É possível observar que as moléculas no interior são atraídas igualmente em todas as direções, enquanto as da superfície sofrem uma força líquida para o interior. Essa força para o interior atrai as moléculas da superfície para dentro, reduzindo a área superficial (as esferas têm menor área superficial em relação a seu volume). Essa força para o interior também ocasiona o empacotamento das moléculas de forma mais densa, fazendo com que o líquido se comporte quase como se ele tivesse uma pele. Esse efeito permite que uma agulha colocada com muito cuidado na superfície da água flutue e alguns insetos "caminhem" na água (e), mesmo se suas densidades forem maiores que a da água (ATKINS; JONES, 2012).

Figura 3 – Tensão superficial da água



Fonte: <https://sites.google.com/site/fisicaitiwm/home/fisica-8o/liquidos>. (e) - acessado 20/11/22

Quando um líquido está em contato com um objeto de uma substância diferente (f), as partículas do líquido atraem as moléculas do objeto, gerando uma força atrativa chamada “força de adesão”.

Figura 4 – Força de adesão e repulsão



Fonte: <https://sites.google.com/site/fisicaitiwms>. (f) - acessado em 20/11/2022

Graças à força de adesão quando a água está em contato com o interior de um tubo capilar (de diâmetro muito pequeno), ela pode vencer a força da gravidade e subir pelo tubo.

Devido a esse comportamento natural, chamado capilaridade ou ação capilar, a água percorre o solo e as plantas obtêm água e nutrientes dele.

Um exemplo prático da ação da capilaridade, no cotidiano das pessoas, é manter um guardanapo de papel na posição vertical, com uma parte em contato com um líquido como a água: com o passar do tempo, a água passa a ser absorvida pelo guardanapo. Na foto abaixo foi usado corante de alimentos para destacar o líquido e ver com mais precisão a água se movendo.

Figura 5 – Capilaridade



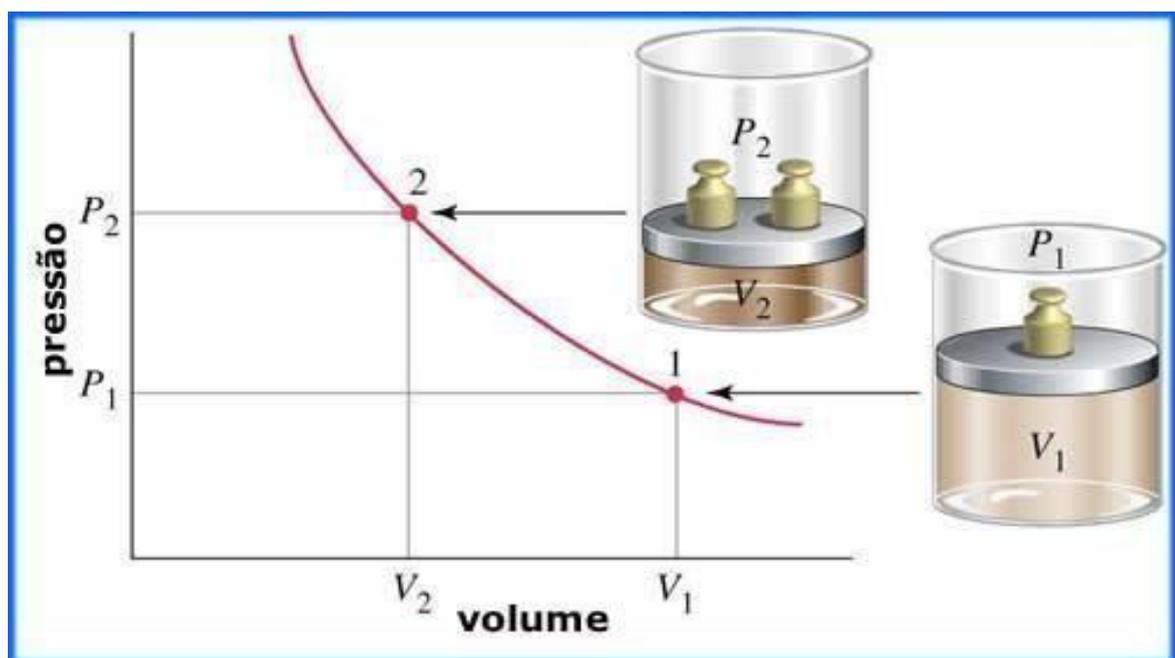
Fonte: Meu Cosmos. 2015. [s. l.]. Disponível em: <https://meu-cosmos.blogspot.com/2015/10/capilaridade.html>. Acessado em: 20/11/2022

Um gás apresenta baixo grau de organização, tem forma e volume variável, portanto as suas moléculas detêm total liberdade de movimento vibracional, translacional e vibracional. Os gases são altamente compressíveis, assumem a forma e o volume do recipiente:

Gás ideal ou gás perfeito: Um gás ideal pode ser caracterizado pelas seguintes propriedades: possui um número muito grande de moléculas, consideradas esferas rígidas de diâmetro d , às quais apresentam movimento aleatório ou desordenado, regido pelas Leis de Newton; as partículas possuem massa m maior que zero e volume individual desprezível, quando comparado ao volume do recipiente que as contêm; as interações intermoleculares, de atração e de repulsão, são desprezíveis, exceto quando ocorrem colisões mútuas e com as

paredes do recipiente; a energia interna encontra-se na forma de energia cinética translacional; as moléculas se propagam em linha reta; e as colisões são perfeitamente elásticas – a energia cinética não é conversível à outra forma de energia - e de curto tempo de duração (KAUZMMAN, 1970). Dessa forma, as propriedades macroscópicas evidentes de um gás ideal são consequências principalmente do movimento independente da molécula (MAHAN; MYERS, 2000).

Figura 6 – Gráfico da variação de um sistema isotérmico para um gás ideal



Fonte: Elaborada pelo autor.

Gás real: Quando as medidas de pressão, volume molar e temperatura não admitem a relação prevista pela Equação de Clayperon, dentro da exatidão das medidas, o gás desvia-se da idealidade, ou seja, apresenta um comportamento não ideal. Esses desvios, em valores absolutos, são pequenos e são observados em gases puros e em misturas gasosas não reagentes. À temperatura ambiente e baixa pressão praticamente não ocorre desvios da idealidade, porém, à medida que a pressão aumenta o comportamento desses gases divergem (CASTELLAN, 1978). Um gás real existe sob a maioria das condições de temperatura e pressão e é constituído por partículas materiais dotadas de movimento caótico, sujeitas às forças de atração à longa distância e forças de repulsão à curta distância (KAUZMANN, 1970).

Portanto, o gás real é formado por partículas que possuem massa $m > 0$, volume $V > 0$ e força de interação entre partículas $f \neq 0$. De acordo com (CASTELLAN, 1978), a partir

do fator de compressibilidade (Z), há a possibilidade de ser averiguada as forças intermoleculares presentes em determinado gás real. Podem ocorrer dois casos gerais:

$$z = \frac{\text{volume molar do gás real}}{\text{volume molar do gás ideal}}$$

a) Caso 1: Forças predominantemente de atração ($Z < 1$)

Se predominarem em um gás forças de atração, é plausível que o volume molar do gás real seja menor que o correspondente volume de um gás ideal, nas mesmas condições de temperatura e pressão.

b) Caso 2: Forças predominantemente de repulsão ($Z > 1$)

Fazendo uma analogia com o caso anterior, é possível perceber que se as forças intermoleculares predominantes em um gás real forem forças de repulsão, o volume molar do gás será maior que o do gás ideal, nas mesmas condições de temperatura e pressão.

Os desvios da idealidade, muitos foram os cientistas que tentaram descrever uma nova equação de estado para gases reais. A mais elegante e famosa delas, sem dúvida, é a Equação de Estado dos Gases Reais de van der Waals.

Equação 1 – Equação de Van der Waals

$$\left(P + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \right) \times (V - nb) = nRT$$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Johannes D. van der Waals propôs uma modificação da lei geral dos gases, levando em conta o tamanho das partículas e as interações intermoleculares. Esta equação foi proposta em sua tese de doutorado, em 1873. Basicamente, apenas duas correções foram feitas: o termo (a) corrige a diminuição da pressão devido a forças atrativas, enquanto o termo (b) corrige o volume devido ao tamanho das moléculas do gás real.

Os termos (a) e (b) são chamados coeficientes de van der Waals, e são determinados experimentalmente pelo ajuste de isotermas de van der Waals com dados experimentais. O quadro 2 abaixo apresenta os valores dos coeficientes de van der Waals para alguns gases.

Quadro 2 – Valores das constantes de Van der Waals

Coeficientes de Van der Waals		
Gás	a (litro ² ·atm/mol ²)	b (litro/mol)
He	0,03412	0,02370
N ₂	1,390	0,03913
H ₂	0,2444	0,02661
CO ₂	3,592	0,04267
H ₂ O	5,464	0,03049
H ₂	0,2444	0,02661
O ₂	1,360	0,03183
NO	1,340	0,02789

Fonte: Cengel, 2002.

O coeficiente (a) está associado às forças intermoleculares presentes no gás real (CENGEL, 2002). Dentre as informações trazidas no quadro 1, apresentado anteriormente, compare os valores de a dos gases He e H₂O. O coeficiente a da água é mais de 100 vezes maior do que o do hélio. Isto indica uma interação intermolecular muito mais forte nas moléculas de H₂O do que nos átomos de He. De forma análoga, quando compararmos o coeficiente (b) dos gases CO₂ e H₂, veremos que o (b) é maior para o gás carbônico, sendo aproximadamente o dobro do valor numérico. Esse fato evidencia o que já era presumido, que a molécula de dióxido de carbono é bem mais volumosa do que a molécula de gás hidrogênio.

Assim, quando analisamos o estado físico da matéria e as forças intermoleculares, certificamos que a natureza das interações é fraca (quando comparada com as ligações entre átomos); são interações de natureza eletrostática, portanto, tem relação com a energia potencial e decresce com a distância.

Equação 2 – Energia potencial da força de atração eletrostática

$$E_p = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d}$$

Fonte: Elaborada pelo autor.

A matéria pode ser encontrada em três estados de agregação, também conhecidos

como estados físicos, são eles: sólido, líquido e gasoso. Eles são definidos de acordo com a energia e a força de coesão entre as moléculas.

Existem diversas discussões acerca da quantidade real de estados físicos da matéria, porém as versões mais difundidas na atualidade são de que a matéria somente tem três estados: sólido, líquido e gasoso. Mas há também outros que, ou são intermediários ou pouco conhecidos pela maioria dos estudantes.

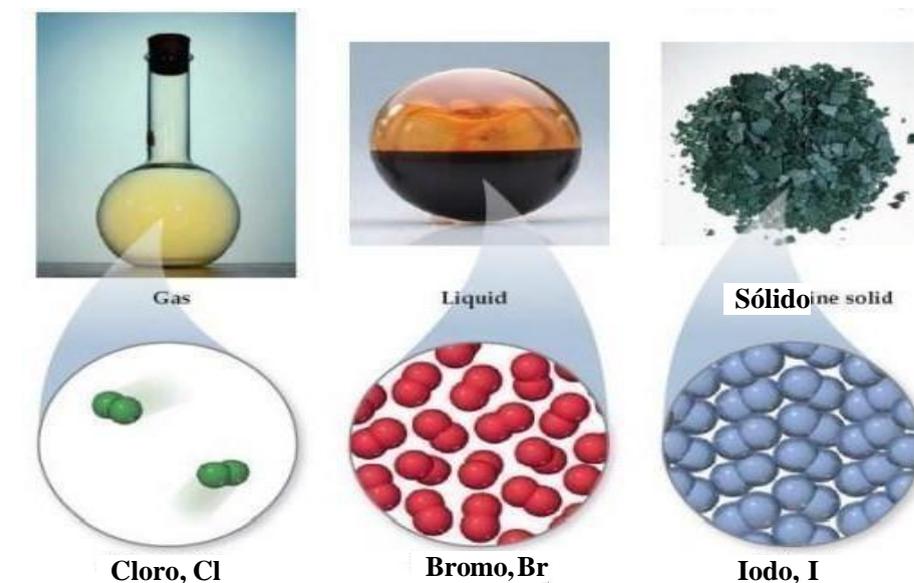
Durante as mudanças de fase, ocorre variação da entropia do sistema, de forma que se um corpo passa do estado sólido para o líquido ou do líquido para o gasoso, a entropia aumenta; e se a mudança ocorre do estado gasoso para o líquido ou do líquido para o sólido, a entropia diminui.

Entropia é um conceito da termodinâmica que mede o grau de desordem das partículas de um sistema físico. É uma grandeza que mede o grau de liberdade molecular de um sistema, associado ao número de configurações possíveis com as partículas que ele possui (RUSSEL, 1994)

Em geral, um composto é considerado volátil em razão das suas fracas interações intermoleculares, neste caso as moléculas se afastam levando o líquido ao estado gasoso, resultando em maior grau de desordem do sistema.

A imagem abaixo, figura 7, ilustra como é o comportamento das partículas nos diferentes estados de agregação da matéria, relacionando com as forças intermoleculares.

Figura 7 – Estados físicos relacionados com as forças intermoleculares



Fonte: Pearson Education, 2012 (adaptada).

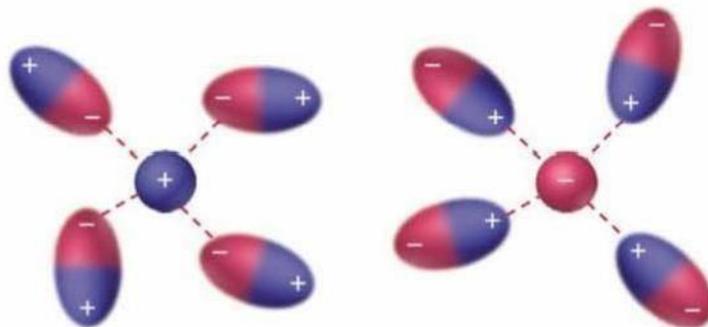
3.1 Forças intermoleculares e iônicas

3.1.1 Forças íon-dipolo

As moléculas polares são dipolos, ou seja, apresentam carga parcial positiva (δ^+) e negativa (δ^-), sendo atraídas por íons. Denomina-se essa interação como forças íon-dipolo (BROWN *et al.*, 2005). O exemplo clássico da aplicabilidade dessas interações é a hidratação de sais. Estudos sobre a hidratação dos compostos iônicos LiCl e NaCl indicam que os cátions são atraídos pelo dipolo elétrico negativos, (δ^-), representado pelos oxigênios das moléculas de água (H₂O), enquanto os ânions são atraídos pelo dipolo elétrico positivo, (δ^+), representado pelos hidrogênios (ATKINS; JONES, 2012).

A natureza dessa interação permite que os íons (cátions e ânions), numa solução iônica, estejam distribuídos uniformemente e ligados as moléculas do solvente polar. A intensidade da interação íon-dipolo é a mais forte de todas as forças intermoleculares, contudo é mais fraca do que as forças atrativas entre os átomos na construção das moléculas, as ligações covalentes. Também é mais fraca do que a força eletrostática entre os íons, as ligações iônicas. A figura 8 representa a força em questão, caracterizada pela atração entre os íons e os momentos de dipolo elétrico de moléculas polares.

Figura 8 – Hidratação de compostos iônicos



Fonte: Brown *et al.*, 2005 (adaptado).

Em uma primeira análise, acerca da energia potencial (E_p) envolvida na interação íon-dipolo, a equação 1 revela que esta sofre decréscimo à medida que ocorre a interação com as moléculas polares, representada por $|z|$ (carga do íon) e μ (momento dipolar permanente),

justificado pelo sinal negativo (–) da equação. O denominador r^2 indica uma alta dependência da energia potencial (E_p) em detrimento da distância entre as espécies mencionadas, em outras palavras, estas precisam estar relativamente próximas para a efetivação da interação íon-dipolo.

Equação 3 – Energia potencial entre interações íon-dipolo I

$$E_p \propto \frac{|z|\mu}{r^2}$$

Fonte: Atkins; Jones, 2012 (adaptada).

Pela mesma razão, se torna evidente que também pode-se estabelecer uma relação com a hidratação dos compostos. É bem estabelecido que a hidratação é mais acentuada em íons pequenos e de alta carga (z). Em concordância com o que fora mencionado, é visto ainda que cátions, como o íon bário (Ba^{2+}), podem ser encontrados sob a forma de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$, e são bem mais solúveis que cátions, como íon potássio (K^+), KCl anidro, mesmo apresentando raios iônicos muito próximos, respectivamente 135 pm e 138 pm (ATKINS; JONES, 2012). Contudo, os mesmos autores acrescentam ainda que La^{3+} (122 pm), cátion de elemento de mesmo período dos anteriormente citados, pode ser encontrado sob a forma de $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ e $La_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$.

3.1.2 Interação dipolo-dipolo

Entre as moléculas polares existe tanto orientação atrativa quanto orientação repulsiva. Dipolos elétricos de cargas iguais se repelem, bem como os dipolos opostos se atraem (BROWN *et al.*, 2005). Essas interações são chamadas de forças dipolo-dipolo ou interações de Keeson (NETZ, ORTEGA, 2014). As forças dessa interação, como quaisquer outras, diminuem com o aumento da distância entre as moléculas. Dessa forma, líquidos e gases, em detrimento da rotação molecular, apresentam uma diminuição da força intermolecular (ATKINS; JONES, 2012).

Fisicamente, o momento do dipolo elétrico é a medida da polaridade de um sistema de cargas elétricas. O vetor momento dipolar para uma distribuição discreta de cargas pontuais pode ser calculado a partir da soma vetorial dos produtos das cargas pela posição vetorial de cada carga.

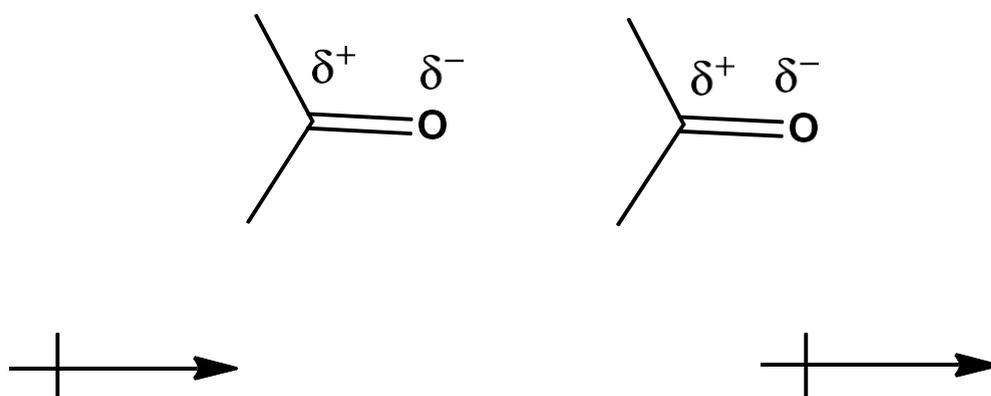
A resultante do momento dipolar é normalmente utilizada em sistemas que possuem

carga total neutra. Por exemplo, um par de cargas opostas, ou um condutor neutro em um campo elétrico uniforme. Para tais sistemas, o valor do momento do dipolo elétrico é independente da origem do sistema de eixos (CRAMER, 2005).

Um dipolo molecular surge quando uma molécula tem uma separação de carga através de sua estrutura. Quando observamos uma carbonila (C = O) de cetona ou de aldeído, localizamos as cargas parciais, positiva no carbono (C; δ^+) e o polo negativo no oxigênio (O; δ^-).

Na figura 9, pode-se observar a representação de moléculas de acetona e a atração entre seus dipolos elétricos de cargas opostas (δ^- , δ^+).

Figura 9 – Forças dipolo-dipolo na acetona



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em concordância, quando se compara os pontos de ebulição (p.e.) de éteres e alcanos, de pesos moleculares semelhantes, se observa valores maiores nos primeiros do que no segundo grupo. A justificativa para tal observância é o fato de que para éteres ebulirem é necessário a superação das forças de van der Waals, comum à todas as espécies, acrescida das forças dipolo-dipolo, enquanto nos alcanos, que são hidrocarbonetos apolares, a força intermolecular é do tipo dipolo induzido-dipolo induzido. (BRUICE, 2006). Dessa forma, é possível atestar que a intensidade dipolo induzido-dipolo induzido é menor do que a do dipolo-dipolo.

É notado, ainda, que as moléculas de baixa massa molar que apresentam essa interação, normalmente, são encontradas sob a forma de gases de liquefação facilitada, como o ácido clorídrico (HCl), ácido bromídrico (HBr) e ácido iodídrico (HI). Seguindo o mesmo raciocínio, espécies químicas com tal interação e com pesos moleculares maiores podem ser observados sob a forma de líquidos (BrCl, CH₃Cl) ou, com o aumento da massa, sob a forma

de sólidos, como ICl; ICl₃ (MENDES, 2006).

Outro fator de relevância na intensidade das forças intermoleculares é a distribuição dos átomos na formação das estruturas moleculares. O pentanal (C₅H₁₀O) é um aldeído de cadeia linear, ou não ramificada, que apresenta ponto de ebulição de 103°C. Por outro lado, o seu isômero de cadeia ramificada, o 3-metilbutanal, tem ponto de ebulição de 92 °C. Essa diferença pode ser justificada pela maior distância entre as moléculas, pois as ramificações

afastam mais as moléculas uma das outras, diminuindo a intensidade das FIMs. Esse afastamento também tem interferência na densidade. Esses dois aldeídos, de mesma fórmula molecular, que são líquidos nas condições ambientais, apresentam as seguintes densidades: pentanal (d= 0,810 g/mL, a 20 °C) e 3-metilbutanal (d= 0,785 g/mL, a 20°C) (LEWIS, 2007. P.719).

Em uma primeira análise, a equação 4 nos indica que a energia potencial (E_p) das interações dipolo-dipolo cresce à medida que os valores dos dipolos aumentam (μ_1 e μ_2). Em contrapartida, apresenta uma maior dependência da distância das moléculas, quando comparada à interação íon-dipolo. A E_p sofre alterações com a distância das moléculas elevada ao cubo (ATKINS; JONES, 2012).

Equação 4 – Energia potencial entre interações íon-dipolo II

$$E_p \propto - \frac{\mu_1 \mu_2}{r^3}$$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ademais, há a incidência de um alcance baixíssimo (r^6) de interação em moléculas que se encontram em rotação, conforme representado na equação 5. Fica evidente que a interação intermolecular entre moléculas polares e em rotação são exclusivamente importantes quando estão em alta proximidade (ATKINS; JONES, 2012). Consequentemente, sob essas condições, são fraquíssimas.

Equação 5 – Energia potencial entre interações íon-dipolo III

$$E_p \propto - \frac{\mu_1 \mu_2}{r^6}$$

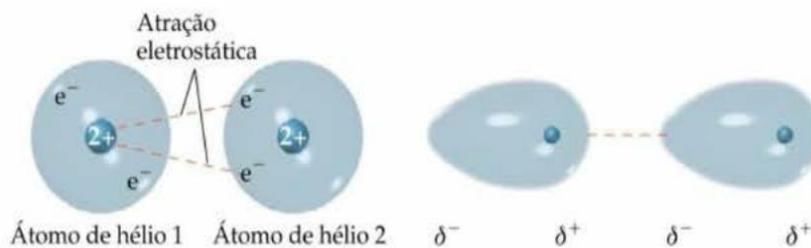
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.3 Interação de Dispersão de London ou dipolo induzido – dipolo induzido

Entre as moléculas apolares não existem dipolo elétrico permanente (COSTA; MENEZES, 2015), mas algum tipo de interação/atração deve existir, já que é possível ocorrer a liquefação de gases apolares. Essa observação foi estudada em 1930 por Fritz London, o qual identificou que os elétrons podem se concentrar em um ponto da molécula não polar, expondo o núcleo, o que forma momentos de dipolos instantâneos (BROWN *et al.*, 2005). Em homenagem ao estudioso mencionado, essa interação intermolecular foi denominada dispersão de London, também podendo ser denominada como interação dipolo induzido-dipolo induzido simplesmente, interações de van der Waals (MENDES, 2006).

Dessa forma, um termo apreciável na interação entre moléculas apolares é o de polarizabilidade (α), ou seja, a capacidade que a nuvem eletrônica tem de sofrer deformações (BRUCE, 2006). O momento de dipolo instantâneo, diretamente influenciado pela polarizabilidade de uma molécula, induz o momento de dipolo em outra. Esses dipolos induzidos formam momentos de atrações permanentes em que os momentos δ^- e δ^+ se anexam (ATKINS; JONES, 2012). A formação das forças de dispersão pode ser observada tomando como exemplo os átomos do gás nobre He (Hélio), conforme representado na figura 10.

Figura 10 – Formação das forças de dispersão de London em átomos de Hélio



Fonte: BROWN *et al.*, 2005 (adaptado).

Em relação à sua força, tal interação é notoriamente fraca (MENDES, 2006). Sobretudo, é importante ressaltar que as forças de dispersão atuam em todas as moléculas, sejam polares ou apolares. A estimativa é que 80% das forças atrativas entre as espécies seja atribuída a essa interação (BROWN *et al.*, 2005).

Em relação a sua energia potencial (E_p), em uma primeira análise, pode-se observar uma semelhança com a E_p da interação dipolo-dipolo em moléculas polares em rotação (denominador r^6), conforme representado na equação 6. Em uma segunda análise, essa energia aumenta com a elevação da polarizabilidade das espécies (α_1 e α_2). É observado que moléculas

maiores, por possuírem mais elétrons, apresentam uma polarizabilidade elevada, consequentemente, forças de dispersão de London mais fortes (ATKINS; JONES, 2012).

Equação 6 – Energia potencial entre interações íon-dipolo IV

$$E_p \propto \frac{\alpha_1 \alpha_2}{r^6}$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

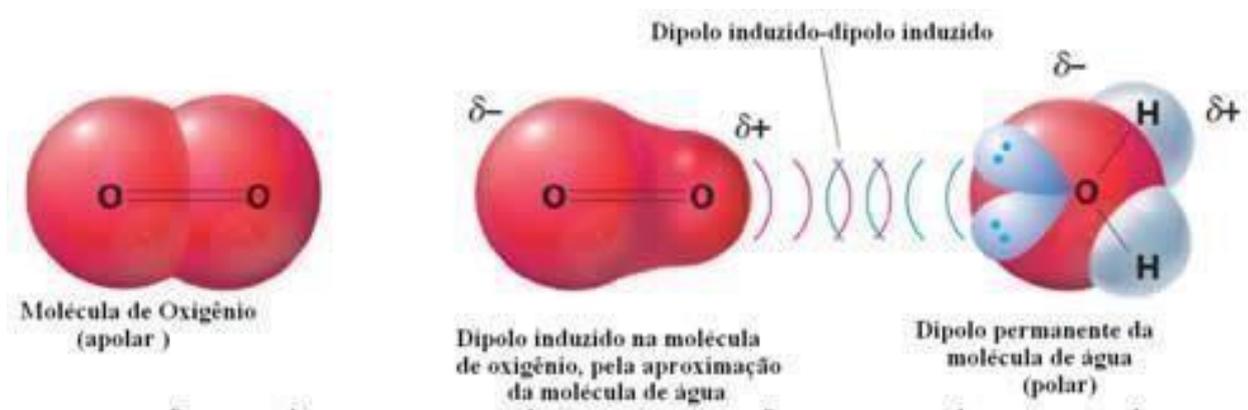
Como por exemplo, os hidrocarbonetos são compostos com propriedades apolares, podendo ser encontrados no estado sólido, líquido ou gasoso. Essas propriedades estão associadas a intensidade das forças de London que há entre suas moléculas. A quantidade e natureza dessas forças dependem do tamanho da cadeia carbônica (massa), isto é, o fato da cadeia carbônica ser cíclica ou acíclica, normal ou ramificada e saturada ou insaturada.

3.1.4 Interação dipolo-dipolo induzido

Entre as moléculas polares e apolares também pode existir uma interação na qual o momento de dipolo elétrico permanente de uma molécula polar primeira provoca momentos de dipolo elétrico induzidos na molécula apolar. Essa interação é conhecida como de forças dipolo-dipolo-induzido. Também podem ser chamadas de efeito de indução ou interação de Debye (NETZ; ORTEGA, 2014).

Em continuidade, de acordo com a equação 6, a E_p da interação de Debye varia em uma proporção inversa à sexta potência da distância/separação das espécies (NETZ; ORTEGA, 2014). Por fim, um exemplo prático dessa força é a dissolução de oxigênio, molécula apolar, em água, molécula com dipolos permanentes (ATKINS; JONES, 2012). Nesta dissolução, a molécula de H_2O induz momentos de dipolo elétrico induzidos no oxigênio molecular, conforme apresentado na figura 11 a seguir.

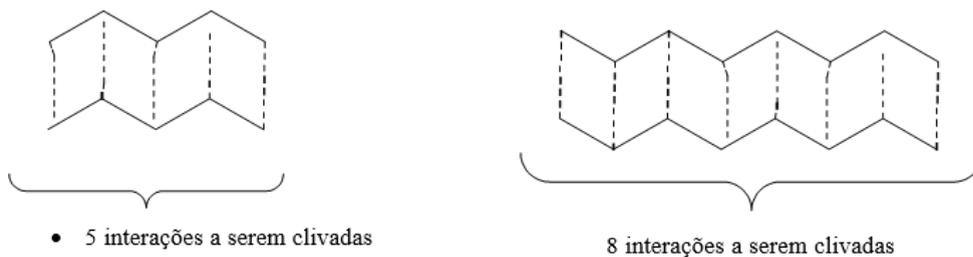
Figura 11 – Interações entre as moléculas de água e o gás oxigênio



Fonte: Brown *et al.*, 2005 (adaptado).

O pentano tem ponto de fusão (p.f = $-129,8\text{ }^\circ\text{C}$) e ponto de ebulição (p.e = $36,07\text{ }^\circ\text{C}$) inferiores ao octano (p.f = $-57\text{ }^\circ\text{C}$) e (p.e = $125,5\text{ }^\circ\text{C}$) devido a quantidade de forças intermoleculares entre as moléculas de octano serem maiores do que nas moléculas de pentano (CRC *handbook of chemistry and physics*, 2009).

Figura 12 – Forças de London: pentano \times octano



Fonte: Elaborado pelo autor.

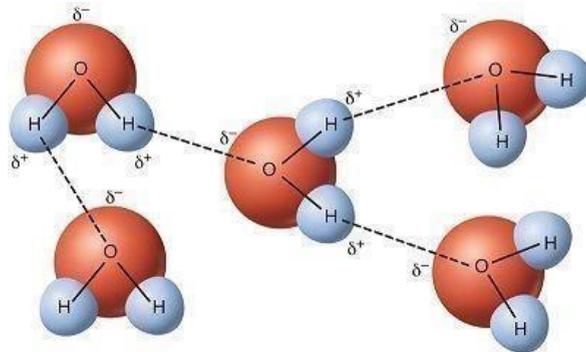
3.1.5 Ligações de hidrogênio

Ao analisar a molécula de água, notam-se comportamentos diferentes frente a outras moléculas de massas moleculares semelhantes. Dentre eles, podemos destacar os elevados pontos de ebulição e fusão (BROWN *et al.*, 2005). A água é um exemplo ideal de ligação de hidrogênio. Observe, na figura 13, que cada molécula de água pode potencialmente formar quatro ligações de hidrogênio com as moléculas de água circundantes: duas com os átomos de hidrogênio e duas com os átomos de oxigênio. Existem exatamente os números certos de pares

de elétrons isolados para cada um deles estar envolvido em ligações de hidrogênio (polo positivo).

Cada molécula de água pode participar de até 4 ligações de hidrogênio, no estado sólido e até 3 no estado líquido, pois há em sua estrutura dois átomos de hidrogênio (polo positivo) que pode receber um par de elétrons dos átomos de oxigênio de moléculas vizinhas. Ao mesmo tempo o oxigênio (polo negativo) da referida molécula de água contém dois pares de elétrons não ligantes, podendo então receber dois átomos de hidrogênio de moléculas vizinhas. Dessa forma cada molécula de água pode fazer duas ligações de hidrogênio como receptora de elétrons e duas como doadoras de elétrons.

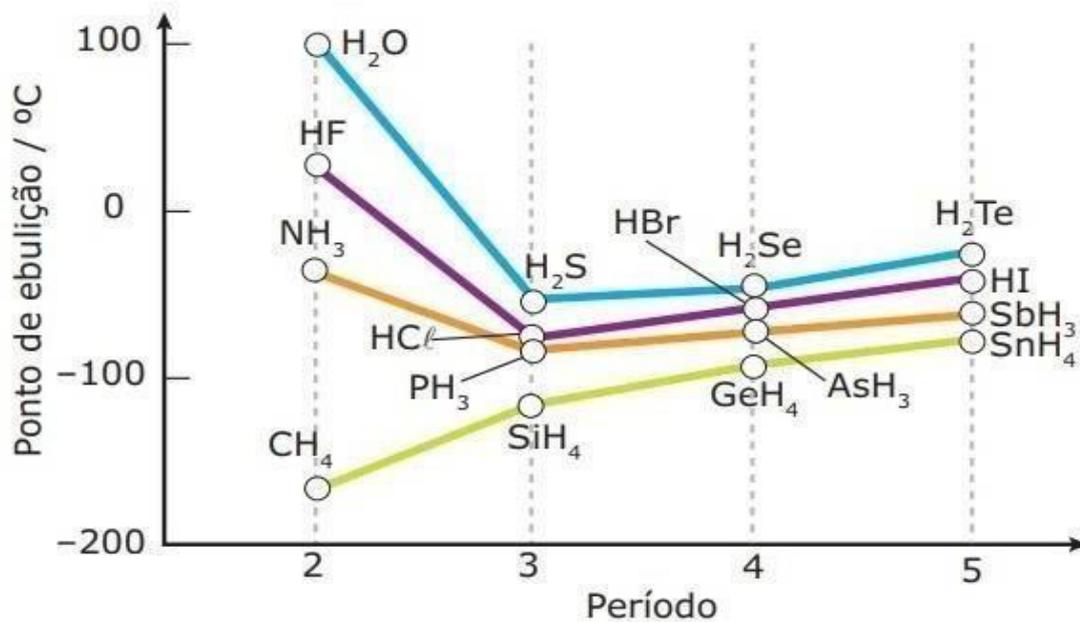
Figura 13 – Quantitativo de ligações de hidrogênio entre moléculas de água



Fonte: Libretexts Chemistry. Disponível em:
https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry.
 Acesso em: 15/12/2022

Na figura 14, pode-se destacar o ponto de ebulição (p.e.) da água, fugindo do esperado, sendo bastante superior ao de outros. A geometria de equilíbrio para uma molécula isolada possui dimensões de 0,0958 nanômetros nas ligações O-H, e um ângulo H-O-H de $104^{\circ}27'$ (FRANKS, 2000, p. 9-11)

Figura 14 – P.e. de hidretos das famílias 15, 16 e 17



Fonte: Libre chemistry. Disponível em:

https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry. Acesso em: 13/12/2022

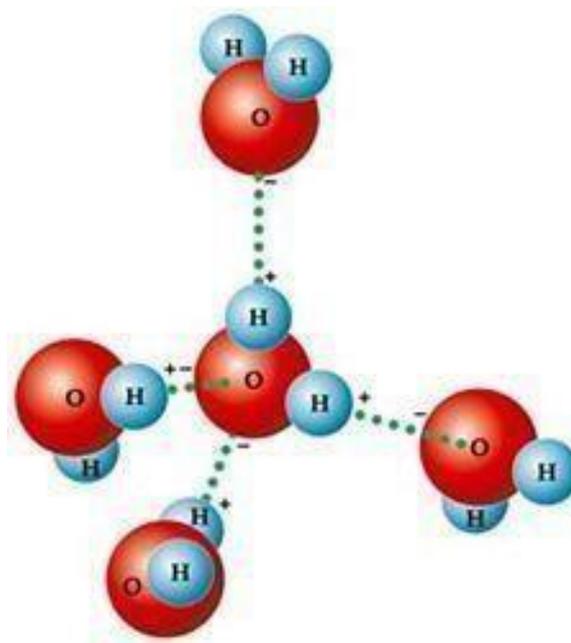
Em síntese, as propriedades físicas incomuns da água se devem ao fato de realizar ligações de hidrogênio, também reconhecidas como ligações de hidrogênio, (NELSON; COX, 2014). Em conformidade, para a ocorrência das ligações de hidrogênio é necessário que em uma primeira molécula o hidrogênio esteja diretamente ligado a um átomo pequeno e bastante eletronegativo, como flúor (H-F), oxigênio (H-O) ou nitrogênio (H-N), e que na segunda molécula se tenha átomos eletronegativos com pares de elétrons não ligados (F, O ou N) (ATKINS; JONES, 2012).

Além disso, os hidrogênios envolvidos nessa interação intermolecular podem ser chamados de grupos doadores e os pares de elétrons não ligados dos átomos de F, O e N, por sua vez, podem ser chamados de grupos aceptores das ligações de hidrogênio (DAMODARAN; PARKIN, 2010).

A figura 15 apresenta as ligações de hidrogênio entre as moléculas de água (H₂O). Por possuírem a mesma quantidade de grupos doadores e aceptores, é notado que as moléculas de H₂O apresentam elevada força de atração quando comparada com moléculas com diferença entre o número de aceptores e doadores.

Dessa forma a molécula de H_2O apresenta ligação de hidrogênio superior à da amônia (NH_3), com 3 sítios doadores e 1 sítio aceptor, e do ácido fluorídrico, HF , contabilizando 1 sítio doador e 3 sítios aceptores (DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Figura 15 – Ligações de hidrogênio em moléculas de água

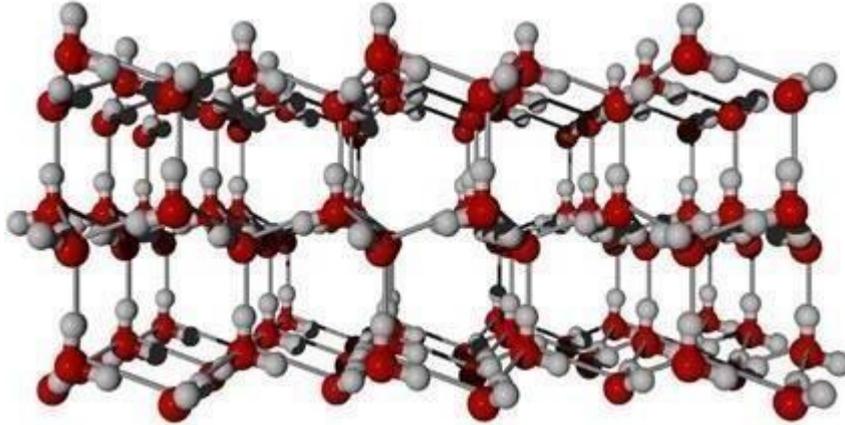


Fonte: Costa; Menezes, 2015 (adaptada).

É por isso que o ponto de ebulição da água é maior que o da amônia ou do fluoreto de hidrogênio. No caso da amônia, a quantidade de ligações de hidrogênio é limitada pelo fato de que cada nitrogênio possui apenas um par de elétrons isolado. Em um grupo de moléculas de amônia, não há pares isolados suficientes para satisfazer todos os hidrogênios. No fluoreto de hidrogênio, o problema é a escassez de hidrogênios.

Outra particularidade da molécula de água é a sua rede cristalina de conformação extremamente regular ao se encontrar no estado sólido. Figura 16, mostra a estrutura das moléculas no gelo é aberta com baixa densidade (DAMODARAN; PARKIN, 2010). Diferentemente do estado líquido, que apresenta em média 3,4 moléculas associadas por pontes de hidrogênio, já a água no estado sólido se apresenta de forma fixa no espaço, sempre com 4 moléculas envolvidas na formação desta FIM (NELSON; COX, 2014).

Figura 16 – Estrutura das moléculas de água no estado sólido



Fonte: Brasil Escola. Disponível em:
<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/ligacoes-hidrogenio.htm>. Acesso em:
16/12/2022

Conseqüentemente, a estrutura cristalina do gelo amparada nas pontes de hidrogênio é de extrema importância, já que, por essa fase apresentar conformação que confere uma menor densidade que a água no estado líquido, em baixas temperaturas a camada sólida flutua, conseqüentemente, isolando a água mais densa abaixo (BROWN *et al.*, 2005). Desta forma, caso ocorresse o contrário, a vida aquática seria extremamente prejudicada.

De forma análoga, álcoois e aminas apresentam (p.e.) bem superiores aos de hidrocarbonetos e éteres de massas aproximadas, conforme representado no quadro 3.

Tal observação se deve ao fato de além da interação de Van der Waals, comum a todas as espécies, possuem forças dipolo-dipolo e o tipo especial de ligação dipolo-dipolo, ligações de hidrogênio (BRUICE, 2006).

Quadro 3 – Comparação dos p.e. (°C) de alcanos, éteres, álcoois e aminas

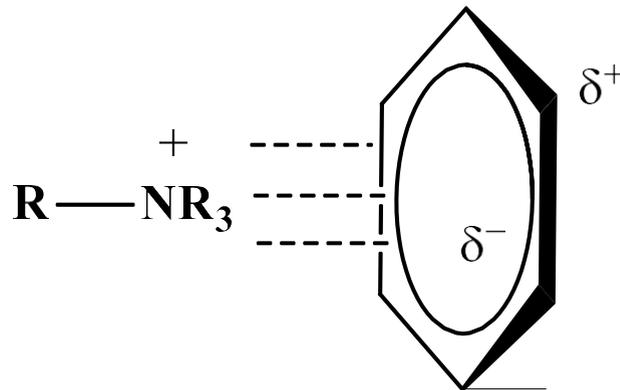
COMPOSTO	p.e (°C)
Propano	-42,1
Butano	-0,5
Metoximetano	-23,7
Metoxietano	10,8
Etanol	78,0
Propanol	97,4
Etilamina	16,6
Propanamina	47,8

Fonte: Bruice, 2006 (adaptado).

3.1.6 Interações íon-dipolo induzido

Na estrutura de uma molécula apolar, no instante em que a sua nuvem eletrônica estiver mais deslocada para um dos polos da molécula, pode dizer-se que se formou um dipolo instantâneo ou temporário que gera uma pequena interação intermolecular. Assim definido porque os dois polos aparecem e permanecem por um pequeno período na molécula. Quando o polo positivo dessa molécula se aproximar de um ânion ou o polo negativo dessa mesma molécula se aproximar de um cátion ocorrerá uma atração eletrostática entre as espécies química de cargas opostos. Essa interação é definida como íon-dipolo induzido ou íon-dipolo instantâneo. Na figura 17 observamos a interação íon-dipolo induzido entre um cátion de amônio (R_4N^+) e o benzeno uma molécula apolar.

Figura 17 – Interação íon-dipolo induzido



Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma molécula é definida como apolar quando o vetor momento de dipolo resultante for igual a zero ($\mu=0$). Esse evento ocorre quando as ligações covalentes entre os átomos com eletronegatividades iguais, como nas moléculas de N_2 , Cl_2 , H_2 dentre outras. Também é possível a ocorrência de molécula apolar formada por ligações covalentes polares, como dióxido de carbono (CO_2) e tetracloreto de carbono (CCl_4) dentre outras. No quadro 4, apresentamos uma descrição sucinta dessas moléculas, como geometria da molécula, direção vetorial das ligações covalentes e polaridade dessas moléculas.

Quadro 4 – Polaridade e geometria das moléculas de CO_2 e CCl_4

Fórmula molecular	Geometria	Vetores com mesmos direção e sentidos opostos	Vetor resultante momento dipolar ($\mu=0$)	Polaridade
CO_2	$\delta^- \delta^+ \delta^+ \delta^-$ $O=C=O$	 $=C=O$	$\vec{\mu}_r=0$	apolar
CCl_4			$\vec{\mu}_r=0$	apolar

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Interações em estruturas específicas

A partir da representação estrutural é possível estabelecer uma relação entre as forças intermoleculares que cada estrutura pode fazer, tanto entre si como com as moléculas vizinhas. Dentre desse contexto, podemos destacar inúmeras situações vividas no cotidiano, principalmente envolvendo estruturas com propriedades anfífilas ou anfipáticas.

É relevante destacar que as interações participam ativamente nos processos reacionais, contudo é crucial compreender cada situação, pois no processo reacional há formação de novas estruturas ao final do processo, enquanto as interações podem sofrer modificações de sua natureza, porém não são responsáveis diretamente pela modificação estrutural.

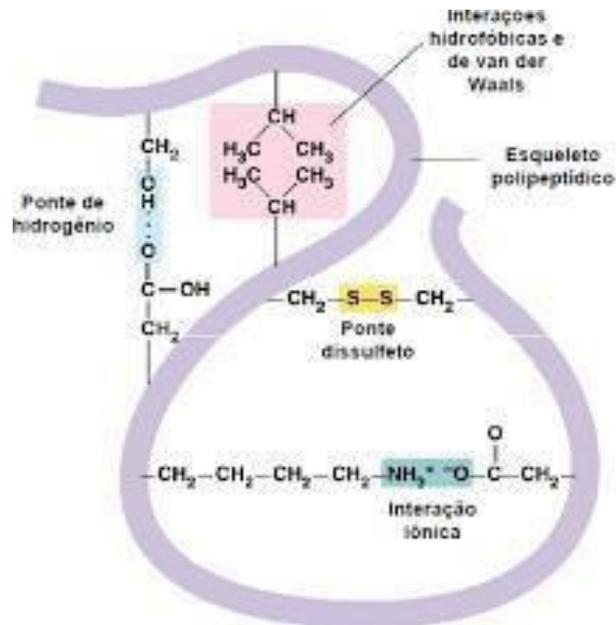
Existe uma variedade muito grande de moléculas, às vezes complexas que, pela natureza de suas estruturas, apresentam uma rede diversificada de forças intermoleculares. Podemos destacar nesse grupo as biomoléculas como aminoácidos, proteínas, lipídios, carboidratos, nucleotídeos de RNA e DNA. Além dessas, há também: fármacos, sabão, detergente, xampu e saponáceo dentre outros.

3.2.1 Interações entre aminoácidos e proteínas

As figuras 18 e 19, evidenciam algumas interações presentes entre as cadeias laterais de aminoácidos e no enovelamento de polipeptídeo que é o processo de complexação das proteínas, isto é, transição estrutural da proteína primária, para secundária, passando pela estrutura terciária até ser finalizado, por algumas estruturas, na forma quaternária.

Como é possível observar nas figuras 17 e 18, além das interações por forças intermoleculares há também formação de ligações covalentes entre as estruturas de aminoácidos nas diferentes formas de proteínas.

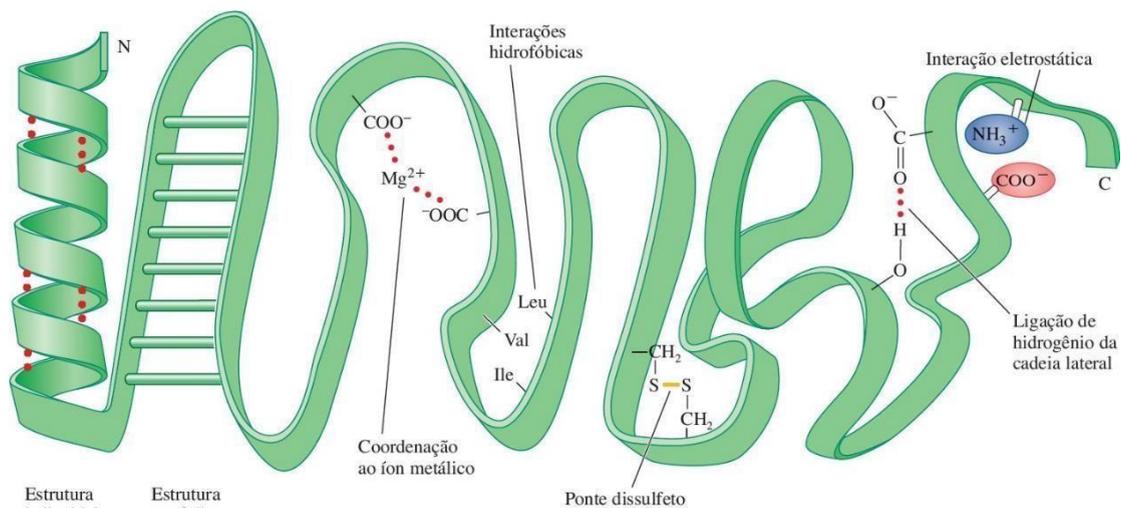
Figura 18 – Interações entre cadeias laterais de aminoácidos



Fonte:

<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/tecnologia/luciamariacararetoalves/aula-3---estrutura-das-proteinas.pdf>. Acessado em 16/12/2022

Figura 19 – Interações no enovelamento de proteínas



Fonte: https://jsoma/Downloads/11_For%20C3%A7as%20Intermoleculares_Parte3_2019.pdf.

Acessado em 14/11/2022

3.2.2 Interações entre fármacos e receptores

As forças intermoleculares de um fármaco e o seu sítio de ação no sistema biológico ocorrem durante a chamada fase farmacodinâmica, e são determinadas por interações do tipo força de London, dipolo-dipolo, atrações eletrostáticas, íon-dipolo e ligações de hidrogênio. Admitindo as diversas maneiras de interação entre os fármacos e a biofase, podemos classificá-los de maneira genérica em dois grandes grupos; estruturalmente inespecíficos e estruturalmente específicos.

Aqueles que são classificados como fármacos inespecíficos dependem única e exclusivamente de suas propriedades físico-químicas, (coeficiente de partição, pKa) para promoverem o efeito biológico. Por outro lado, os fármacos estruturalmente específicos exercem seu efeito biológico pela interação seletiva com uma determinada biomacromolécula alvo, que apresenta na maior parte dos casos propriedades de enzima, proteína sinalizadora (receptor), canal iônico ou ácido nucléico. O reconhecimento do fármaco (micromolécula) pela macromolécula biológica depende do arranjo espacial dos grupamentos funcionais e das propriedades (FOYE; WILLIAMS, 1995).

3.2.3 Interações entre filamentos de ácidos nucleicos

As bases nitrogenadas estão emparelhadas nas estruturas dos ácidos nucleicos, formando entre si ligações de hidrogênio como interações intermoleculares. No DNA o emparelhamento é da seguinte forma: o A é ligado ao T (A-T) e o C ligado ao G (C-G) ou vice-versa (T-A e G-C). A adenina e a timina são unidas por duas ligações de hidrogênio, já a guanina e a citosina estão unidas por três ligações. No RNA a timina é substituída por uracila, conforme a representação do DNA na figura 20.

Figura 20 – Emparelhamento das bases nitrogenadas



Fonte: Wikipedia. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Base_nitrogenada.
Acessado em: 19/11/2022

Rosalind Franklin e Maurice Wilkins no começo dos anos 50, analisaram o DNA utilizando experimentos de difração de raios X. Desses experimentos eles concluíram que a molécula era helicoidal com duas periodicidades, uma primária de 3,4 Å e uma secundária de 34 Å. Finalmente no modelo proposto, as bases empilhadas no interior da hélice estão separadas por 3,4 Å uma da outra (LEHNINGER, 2014). As forças intermoleculares nos polinucleotídeos são resultantes de atrações diversas em função da orientação espacial de suas estruturas.

- a) As propriedades hidrofóbicas das bases são responsáveis por forçar os polinucleotídeos a adotarem a conformação em hélice.
- b) As bordas dos anéis contêm grupos polares (amino e OH) que interagem com outros grupos polares (ligações de hidrogênio).
- c) As faces dos anéis são incapazes de participar de tais interações e tendem a evitar qualquer contato com a água. Interagem um com o outro produzindo uma conformação empilhada.

Dentro desta análise estrutural, podemos afirmar que as forças que estabilizam as estruturas dos ácidos nucleicos, são:

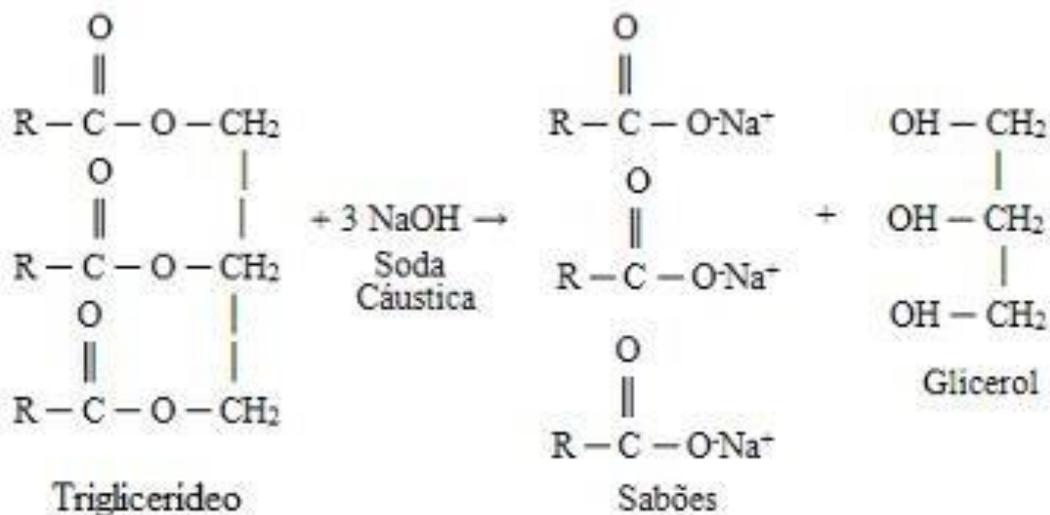
- a) Íon-dipolo: a estrutura do grupo fosfato (hidrofílico) apresenta forte tendência a solvatação.
- b) Interações de London ou dipolo induzido: as bases(hidrofóbicas) ficam removidas do ambiente aquoso. Quando dois átomos se aproximam, as nuvens eletrônicas sofrem influências podendo criar um dipolo induzido.
- c) Ligações de hidrogênio: quando as bases nitrogenadas se emparelham há uma forte interação entre elas.

3.2.4 Interações entre sabão, detergente e água: formação de micelas

O sabão comum é um sal de ácido graxo obtido por meio de uma hidrólise alcalina de triglicerídeo presente em óleo e/ou gordura tanto de origem animal como vegetal.

Na reação de saponificação, figura 21, há formação de uma mistura de sais alcalinos (geralmente sódio) de ácidos graxos, o sabão. Nessa reação há também a formação de um subproduto de grande importância comercial, a glicerina ou glicerol (propano-1,2,3-triol, de acordo com a IUPAC).

Figura 21 – Reação de saponificação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os detergentes, por sua vez, são produtos sintéticos, os mais comuns são os sais de ácido sulfônico (sulfonatos) e sais de amônio. Tanto o sabão como os detergentes são produtos que apresentam estruturas anfifílica ou anfipática, portanto são espécies químicas que atuam como tensoativos em sistemas hídricos, isto é, são moléculas que apresentam parte da sua estrutura com característica apolar ligada a uma outra parte com característica polar.

Dessa forma, esse tipo de molécula é polar e apolar ao mesmo tempo. A parte apolar de um tensoativo normalmente tem origem em uma cadeia carbônica (linear, ramificada ou com partes cíclicas), pois os carbonos dessa cadeia, apesar de serem mais eletronegativos que os átomos de hidrogênio, não formam polos de concentração de carga eletrostática. A parte polar deve ser formada por alguns átomos que apresentem concentração de carga, com formação de

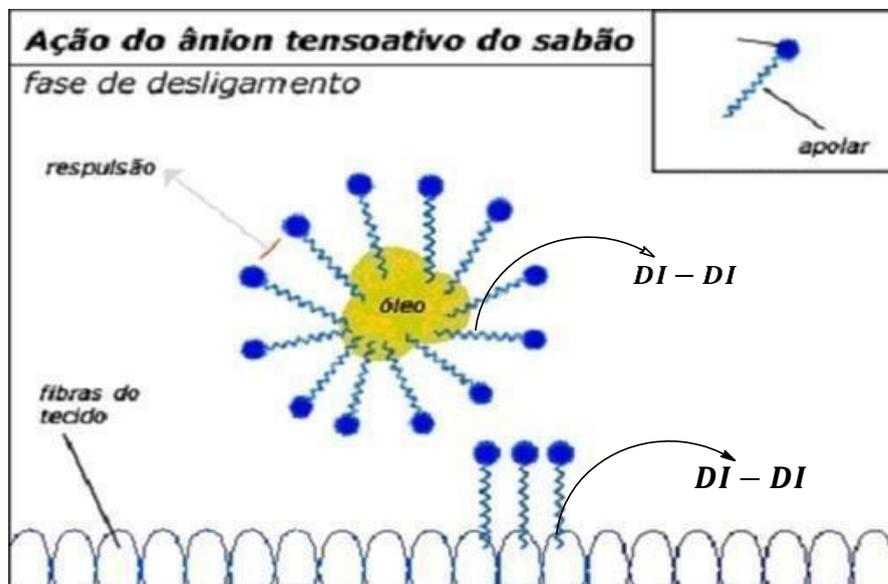
um polo negativo ou positivo (DALTIM, 2006).

Segundo DALTIM (2011), os tensoativos são moléculas bastante especiais no mundo da Química. Apresentam afinidade por óleos, gorduras e superfícies das soluções com sólidos, líquidos ou gases, mas também pela água, podendo pertencer aos dois meios. Essas características permitem que os tensoativos sejam utilizados como conciliadores dessas fases imiscíveis, formando emulsões, espumas, suspensões, microemulsões ou propiciando a umectação, formação de filmes líquidos e detergentência de superfícies.

As forças intermoleculares nessas estruturas são tão efetivas que fazem com que os tensoativos sejam utilizados em aplicações tão diversas como detergentes, agroquímicos, cosméticos, tintas, cerâmica, alimentos, tratamento de couros e têxteis, formulações farmacêuticas, óleos lubrificantes.

A figura 22 exibe a imagem de um processo de limpeza utilizando o sabão como agente auxiliar, respectivamente, destacando-se as interações em cada etapa.

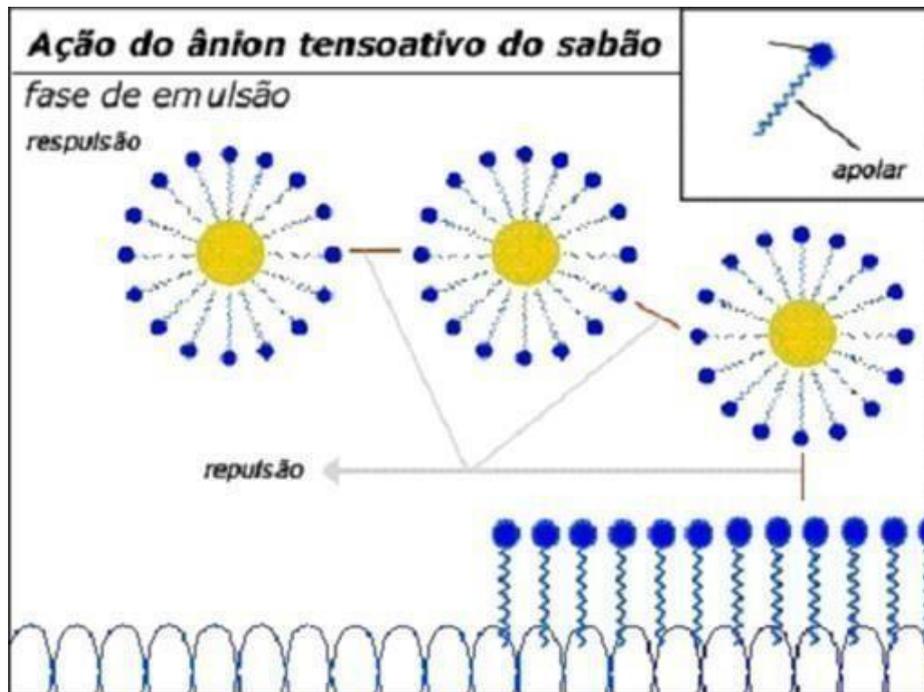
Figura 22 – Etapas do processo de construção das interações entre sabão, tecido, óleo e água (nota: DI = dipolo induzido)



Fonte: Neto, Pinho. [s. l.], [s. d.]. Disponível em:

<https://slideplayer.com.br/slide/364758/>. Acesso em: 20/11/2022

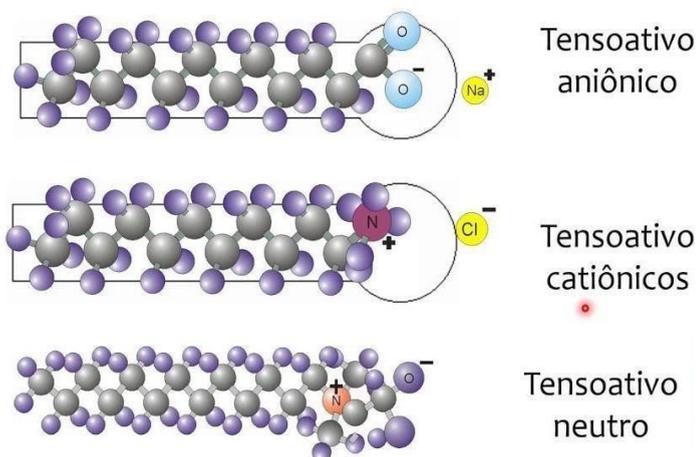
Figura 23 – Etapas do processo de construção das interações entre sabão, tecido, óleo e água



Fonte: Neto; Pinho. [s. l.], [s. d.]. Disponível em:
<https://slideplayer.com.br/slide/364758/>. Acesso em: 21/11/2022

Nesta fase há formação de um agregado fortemente polar de carga negativa, entre o óleo e o sabão. A alta densidade de carga negativa na cabeça do grupo carboxilato gera uma forte repulsão entre esses íons na fase de emulsão. Esse agregado fortemente polar forma com as moléculas de água as estruturas micelares. Os tensoativos neutros apresentam grupos catiônicos e aniônicos, com função ativa sobre a água, na mesma estrutura.

Figura 24 – Tipos de tensoativos



Fonte: AVILA, Simone. Canal The Best Professor – Química. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=C4qNLI2YuAs>. Acesso em: 21/11/2022

3.3 O ensino das forças intermoleculares

Nos cursos de graduação, na disciplina de química geral, logo depois das explicações relativo ao conteúdo de ligações químicas, os discentes iniciam o estudo sobre os principais tipos de interações intermoleculares. Enfatizando as seguintes interações: íon-dipolo, dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido, dipolo induzido-dipolo induzido e ligações de hidrogênio. Contudo, o conteúdo é apresentado, na maioria das vezes, como análise comparativa com base nos diferentes tipos de interações (REIS, 2008).

Na disciplina de química orgânica, as diferentes forças intermoleculares (FIMs), em geral, são utilizadas para correlacionar as estruturas das moléculas orgânicas com as diversas propriedades físicas, tais como pontos de fusão e de ebulição, solubilidade, densidade, polaridade, estados físicos, volatilidade, viscosidade dentre outros.

Com base em experiências vivenciadas, é importante ressaltar que, quase sempre, o conteúdo de FIMs é apresentado aos alunos de forma fragmentada, o que certamente dificulta a compreensão e a fixação dos conceitos. Todavia, há casos em que professores universitários buscam apresentar esse conteúdo de forma densa (sem fragmentação), apesar de enfrentarem certa dificuldade nessa prática pedagógica, pois os livros didáticos, em geral, não trazem esse conteúdo em capítulo(s) específico(s).

Infelizmente, diversos autores relatam as dificuldades dos alunos em compreender os conceitos de matéria particulada e forças intermoleculares (GABEL; SAMUEL; HUNN,

1987; GILBERT *et al.*, 2002; HARRISON; TREAGUST, 2006; JASIEN, 2008; LUXFORD; BRETZ, 2014; NAKHLEH, 1992; OGDEN, 2017; PETERSON; TREAGUST; GARNETT, 1989; RETNO WIDARTI *et al.*, 2019; TARHAN *et al.*, 2008; TORRES *et al.*, 2005; WILLIAMS *et al.*, 2015). Os alunos têm problemas para entender como os átomos e moléculas são mantidos juntos sem ligações químicas entre elas (SCHMIDT; KAUFMANN; TREAGUST, 2009; TORRES *et al.*, 2005), e como as partículas interagem ao passar nos processos de fusão e ebulição (GRIFFITHS; PRESTON, 1992; OSBORNE; COSGROVE, 1983).

Os estudantes também podem interpretar erroneamente os tipos de FIMs (MUSAWWA; WULAN FEBRIANA; NORMALIA ARLIANTY, 2018), os fatores que afetam as FIMs, bem como confundi-las com forças intramoleculares (COOPER; WILLIAMS; UNDERWOOD, 2015; DANCKWARDT-LILLIESTRÖM; ANDRÉE; ENGHAG, 2020).

Por outro lado, a literatura educacional também relata esforços de muitos pesquisadores para desenvolver estratégias e ferramentas educacionais para ajudá-los a superar as dificuldades no processo de ensino-aprendizagem de forças intermoleculares (ANTUNES; PACHECO; GIOVANELA, 2012; AYRES; FERREIRA; ARROIO, 2010; BARBOSA *et al.*, 2015; BROMFIELD LEE; BEGGS, 2021; BURKHOLDER; PURSER; COLE, 2008; DA SILVA JÚNIOR *et al.*, 2020a; GOTTSCHALK; VENKATARAMAN, 2014; KARAKAS, 2012; MARTINS *et al.*, 2020; MOHANAM; HOLTON, 2020; PECKHAM; MCNAUGHT, 2012; SANGER; BADGER, 2001; SCHULTZ, 2005; TARHAN *et al.*, 2008). Ademais, os alunos raramente conseguem representar as interações existentes e explicar os tipos de FIMs atuantes nos diferentes casos (COOPER, WILLIAMS; UNDERWOOD, 2015; WILLIAMS *et al.*, 2015).

As novas estratégias para o ensino dos conteúdos de FIMs vão desde o uso de modelos táteis (BROMFIELD LEE; BEGGS, 2021) até o desenvolvimento de softwares educacionais (BARBOSA *et al.*, 2015). Jogos educacionais (MOHANAM; HOLTON, 2020, ANTUNES, PACHECO E GIOVANELA, 2012), adaptações de jogos famosos (MARTINS *et al.*, 2020), uso de animações (GOTTSCHALK; VENKATARAMAN, 2014), simulação computacional (AYRES; FERREIRA; ARROIO, 2010; BURKHOLDER; PURSER; COLE, 2008), ou seja, ferramentas que visam auxiliar no aprendizado das FIMs têm sido desenvolvidas nos últimos anos.

3.3.1 O jogo como recurso pedagógico

A utilização de jogos como um recurso pedagógico tem o objetivo de abordar um determinado assunto ou conceito de forma lúdica e motivacional (MACEDO, 2020; RIBEIRO; DE LIMA SANTOS; MUELLER, 2020), sendo possível aprender determinados conteúdos de forma prazerosa e dinâmica. A presença de desafios motiva o estudante, permitindo boas aplicabilidades educacionais dos mesmos, principalmente se forem integrados com outras atividades (KAIMARA; DELIYANNIS, 2018; YU; GAO; WANG, 2020). Os jogos são muito eficazes para atingir o público jovem estudantil e, conseqüentemente, promovem uma melhoria dos resultados acadêmicos (MOHD NIZAM; LAW, 2021).

Brougère (1998) descreve que a palavra jogo possui mais de um significado, ou seja, pode ser empregada em circunstâncias distintas. De acordo com o autor, os níveis de significação são:

- a) O jogo como atividade lúdica, tanto do ponto de vista do sentimento de quem participa desse tipo de atividade, como pelo seu reconhecimento objetivo;
- b) O jogo como uma estrutura ou sistema de regras (existe e subsiste de modo abstrato independente dos jogadores).
- c) O jogo como material ou objeto (tal como jogo de xadrez e outros), podendo ser associado também ao termo “brinquedo” (BUGÉRE, 1998, p. 26)

Com relação à atividade lúdica, para Soares (2004), esta pode ser definida como uma ação que motiva o divertimento em qualquer contexto linguístico. Se houver a possibilidade de conter regras, transfigura-se um jogo. Desta maneira, o objeto em questão se refere a qualquer atividade lúdica baseada em normas competitivas, ou não, e que, de alguma forma, propicie a prática de brincar, produzindo assim, um divertimento. Além disso, os jogos contribuem para a criação de um cenário ficcional que oferece novas formas de entender e agir sobre o real, podendo ser reconhecidos como facilitadores da aprendizagem de assuntos complexos e por estimular o desenvolvimento de importantes habilidades cognitivas, como a resolução de problemas, a percepção, a criatividade e o raciocínio rápido (DUNCAN, 2020; SANTOS; SILVA LEITE, 2019).

Vale a pena salientar que, no ensino de química orgânica, no último século várias atividades lúdicas e jogos educativos têm sido aplicados como recurso pedagógico, (se houver) é mostrado no quadro 1. A maior parte desses trabalhos expõe artifícios educativos que, por intermédio deles, consegue-se articular a comunicação e o convívio em sala de aula.

4 METODOLOGIA

4.1 Opinião dos professores acerca da abordagem das FIMs nos livros didáticos

Convidamos por e-mail professores brasileiros e franceses para responder a um formulário eletrônico com perguntas sobre o tema forças intermoleculares. Cento e onze brasileiros de 25 universidades (UNIVERSIDADES BRASILEIRAS, 2020) e vinte professores franceses de seis universidades francesas (UNIVERSIDADES FRANCESAS, 2020) responderam ao formulário eletrônico.

Fizemos aos professores duas perguntas principais:

- a) Você considera as forças intermoleculares um tema essencial na química orgânica?
- b) Como você avalia a maneira como as forças intermoleculares são apresentadas nos livros didáticos?

4.2 Análise dos livros de química orgânica

Analisamos quinze livros de química orgânica atualmente utilizados por professores brasileiros para preparar suas aulas. Eles são os mais recomendados e utilizados pelos docentes das principais universidades federais do Brasil. Analisou-se o número total de páginas, exercícios, capítulos e tópicos relacionados com as FIMs, assim como, foi observada a distribuição desses conteúdos e a quantidade de exercícios. O quadro 5 lista os livros utilizados neste trabalho.

Quadro 5 – Livros de química orgânica analisados neste trabalho

Autores	Edição	Editora
(BROWN <i>et al.</i> , 2012)	6 ^a	Cengage
(BRUICE, 2014)	7 ^a	Pearson
(CAREY <i>et al.</i> , 2008)	7 ^a	McGraw-Hill
(CLAYDEN; GREEVES; WARREN, 2001)	1 ^a	Oxford
(HOFFMAN, 2004)	2 ^a	Wiley
(JONES; FLEMING, 2010)	4 ^a	W. W. Norton
(KLEIN, 2016)	1 ^a	Wiley
(LOUDON; PARISE, 2016)	6 ^a	W. H. Freeman
(MCMURRY, 2012)	8 ^a	Cengage
(MCMURRY, 2011)	2 ^a	Cengage
(SMITH, 2008)	3 ^a	McGraw-Hill
(SOLOMONS; FRYHLE; SNYDER, 2011)	10 ^a	Wiley
(FABIRKIEWICZ; STOWELL, 2016)	3 ^a	Wiley
(VOLLHARDT, 2011)	6 ^a	W. H. Freeman
(WADE; SIMEK, 2006)	6 ^o	Pearson

Fonte: Elaborado pelo autor.

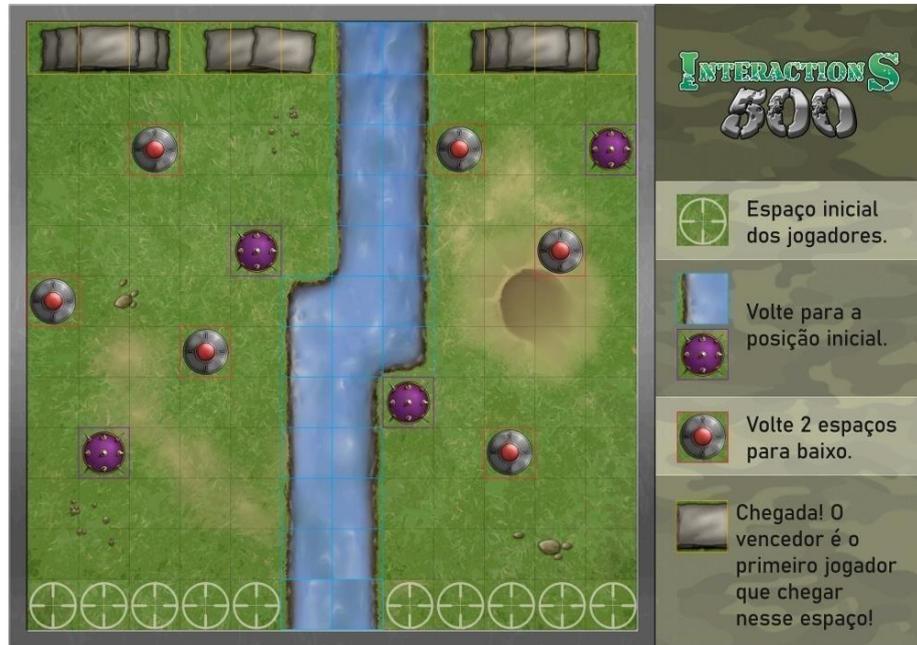
4.3 O design do jogo *Interactions 500*

4.3.1 O jogo

Interactions 500 é um jogo híbrido composto por um tabuleiro físico e um aplicativo desenvolvido pelo Laboratório de Design de Softwares Educacionais (LDSE) usando a plataforma Unity (UNITY, 2020) disponível para Android (GOOGLE PLAY, 2021) e IOS (APP STORE, 2021). O jogo foi projetado para a participação de dois a seis participantes simultaneamente, tornando-o mais dinâmico.

O design inicial do tabuleiro ilustrado na figura 25, em que ele simula um campo minado que era cortado por um rio. Era composto por 144 casas (12 × 12) livres para movimentação das peças (jogadores). E estava disponível para impressão no aplicativo. O jogo foi pensado para trazer ao jogador a capacidade de vencer desafios e ao mesmo tempo aprimorar o aprendizado dos conceitos de forças intermoleculares.

Figura 25 – Tabuleiro inicial do jogo

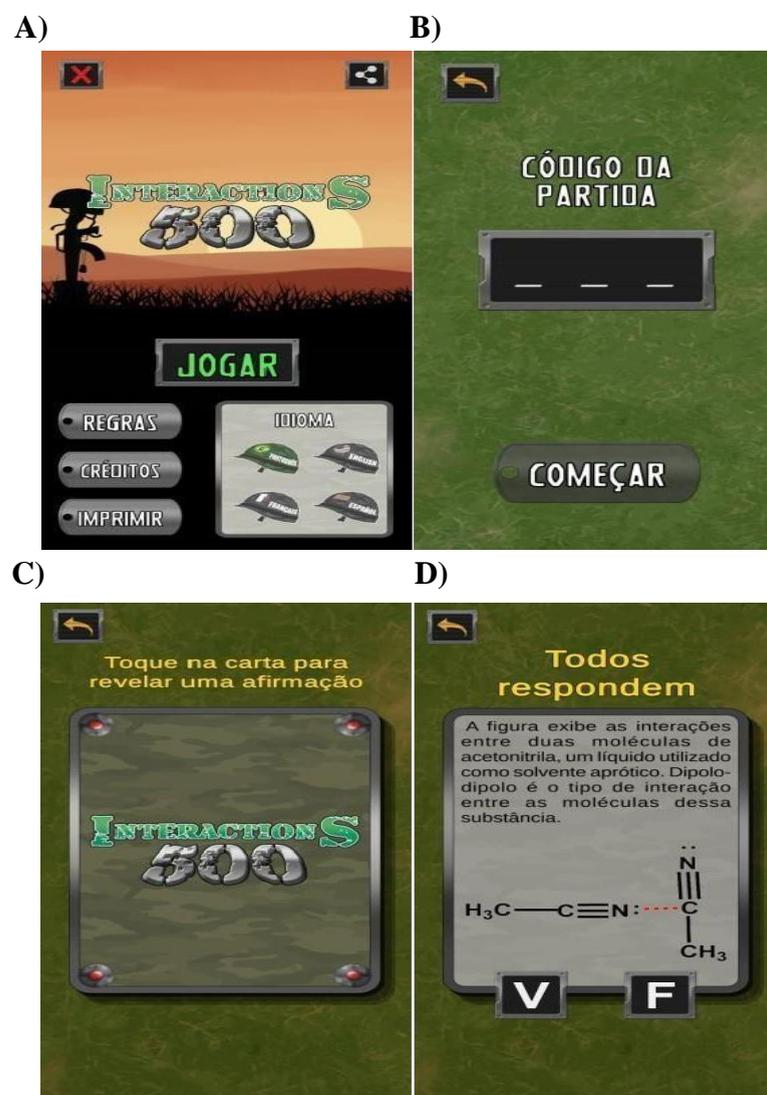


Fonte: Da Silva Júnior *et al.*, 2020a.

4.3.2 Jogando o jogo

Inicialmente, os jogadores devem posicionar suas peças de jogo na posição inicial, ou seja, em qualquer uma das casas da linha inferior do tabuleiro (figura 26), eles podem definir por sorteio qual casa iniciar, bem como a ordem de movimento das peças a seguir. A seguir todos os jogadores devem abrir o aplicativo e clicar no botão "Jogar" (figura 26A). Com esta ação, o aplicativo abre uma tela (figura 26B), onde todos os jogadores devem inserir o mesmo código (qualquer número de 3 dígitos), o qual definirá uma sequência randômica de questões que aparecerão durante o jogo. Depois, os jogadores devem clicar no botão "Começar" (figura 26B). Esta ação mostrará uma carta voltada para baixo. Quando o jogador clica no verso da carta, ela se vira e revela uma afirmação (figura 26C), a qual deverá ser classificada pelos alunos como verdadeira ou falsa clicando-se nos botões (V) ou (F), respectivamente tela (figura 26D). As questões sorteadas são obtidas de um banco de dados com 500 questões. Essas questões versam sobre o estudo das forças intermoleculares.

Figura 26 – Telas do app – A) Tela principal; B) Inserindo o código de partida; C) Verso da carta; D) Carta/Afirmação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Depois de ter selecionado sua resposta, o jogador deve clicar no botão "Resposta" (figura 27A) para revelar se a resposta selecionada pelo jogador foi a correta ou não. Quando o jogador responde incorretamente, ele/ela não moverá sua peça. Por outro lado, quando o jogador responde corretamente, o aplicativo mostra um botão com várias setas (figura 27B) que, quando clicado, indicará aleatoriamente uma das cinco direções possíveis que o jogador deverá mover sua peça uma posição no tabuleiro (figura 27C).

Figura 27 – Respostas do jogo: A) Escolhendo a resposta; B) Verificando a resposta correta; C) Caminho que o jogador moverá sua peça



O movimento das peças no tabuleiro (figura 26) segue algumas regras:

- Se a peça parar em uma casa onde houver uma bomba (dependendo do tipo de bomba): ela volta para a posição inicial ou volta duas casas verticalmente.
- Se a peça parar no rio: ela volta para posição inicial.
- Se a peça ultrapassar os limites laterais do tabuleiro: a peça deverá entrar na mesma linha pelo lado oposto do tabuleiro.
- Se a peça parar em um espaço ocupado pela peça de um oponente: a peça do oponente deve se mover uma casa para a direita, observando-se as penalizações se cair no rio ou sobre uma bomba.

O jogo segue esse padrão e termina quando um jogador atinge a última linha (trincheira) no topo do tabuleiro e se torna o vencedor.

4.3.3 Implementação do jogo remotamente

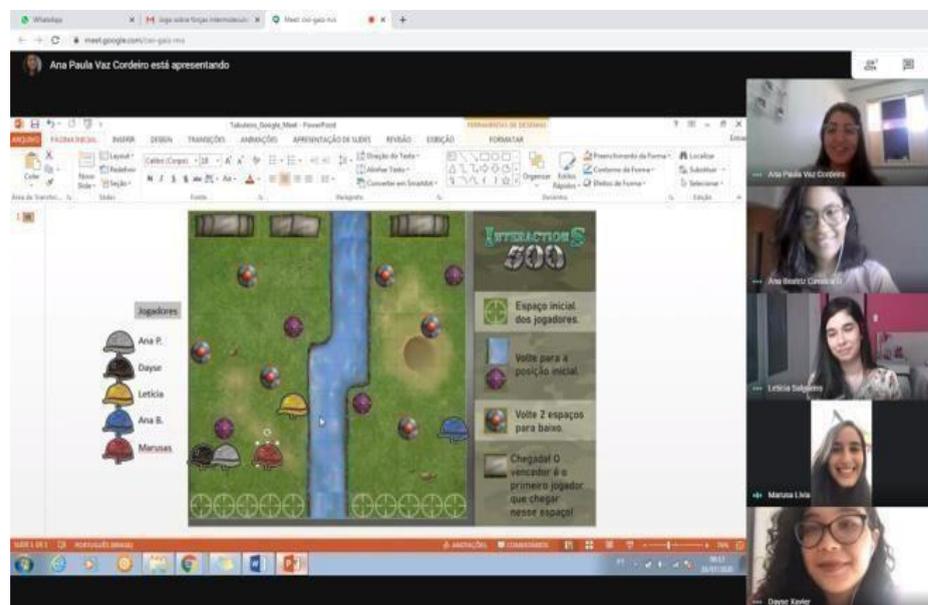
Inicialmente, desenvolvemos o jogo para ser usado pelos alunos em sala de aula presencial. No entanto, a interrupção das aulas presenciais em nossa universidade devido à pandemia de Covid-19 nos forçou a mudar nossa estratégia educacional.

Fizemos um arquivo de apresentação (.ppt) inserindo o tabuleiro no slide mestre. Pedimos aos alunos que formassem grupos de 4 a 5 jogadores e escolhessem um deles para ser o líder do grupo, o qual seria responsável pela dinâmica do jogo online. Em seguida, enviamos o arquivo de apresentação aos líderes e realizamos uma rápida reunião online com eles, via Google Meet, para apresentar o jogo e explicar as regras e o papel do líder durante o jogo.

Após a reunião, os líderes foram responsáveis pela criação de uma sala de reunião, onde apresentariam a dinâmica do jogo a partir de sua tela de computador para outros membros do grupo. Eles também foram responsáveis por coordenar as ações durante o jogo, pedindo aos seus colegas que abrissem o aplicativo para digitar o mesmo código, e seguir a dinâmica/regras do jogo. Por fim, os líderes foram responsáveis por mover as peças de todos os jogadores e motivar seus colegas a discutir cada resposta dada pelos jogadores para esclarecer quaisquer dúvidas.

No primeiro semestre de 2020, Quarenta e quatro estudantes (11 grupos) jogaram o jogo remotamente (figura 28) por três horas em média. O tempo gasto em cada partida variou de 16 até 90 minutos (42 minutos em média).

Figura 28 – Imagem dos alunos jogando o *Interactions 500* em aula remota



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Avaliação do jogo

4.4.1 Avaliação do jogo

Quarenta e quatro estudantes do curso de Farmácia do semestre 2020.1 da Universidade Federal do Ceará jogaram o Interactions 500 remotamente. Posteriormente eles responderam a uma pesquisa de satisfação através de um formulário eletrônico (Google Form), contendo 15 afirmações. Adotando a escala tipo Likert (LIKERT, 1932) com opções de concordância (concordo plenamente, concordo, talvez, discordo e discordo plenamente) para quatro áreas de interesse: design, conteúdo, jogabilidade e utilidade.

Os jogadores deveriam escolher uma das opções de concordância para cada uma das 15 afirmações abaixo:

- a) A interface do jogo é atraente e prende a atenção do jogador.
- b) Os elementos gráficos (textos, imagens e botões) do aplicativo têm boa qualidade gráfica.
- c) O posicionamento dos elementos gráficos é consistente e facilita o entendimento e uso do aplicativo.
- d) As declarações apresentadas no jogo cobrem satisfatoriamente o conteúdo das forças intermoleculares vistas na videoaula.
- e) As afirmações apresentadas no jogo são claras e bem elaboradas.
- f) O jogo é dinâmico e divertido.
- g) A possibilidade de optar por jogar em vários idiomas é um diferencial do jogo.
- h) A variedade de conteúdo envolvendo interações intermoleculares incentiva o jogador a jogar com mais frequência.
- i) A possibilidade de jogar em grupos através do Google Meet, permite a interação entre os alunos.
- j) O jogo ajuda os alunos a revisar os conceitos e propriedades relacionadas às interações intermoleculares.
- k) Afirmações falsas tornam o jogo mais dinâmico e permitem que os alunos discutam o conteúdo cooperativamente.
- l) O aplicativo é uma excelente ferramenta educacional que pode complementar materiais tradicionais, como livros, na revisão do assunto.
- m) O jogo pode ser usado como uma ferramenta educacional para estudo em grupo remoto usando a plataforma Google Meet.

- n) Os alunos gostariam de ter jogado pessoalmente na sala de aula.
- o) O jogo complementa as aulas tradicionais de resolução de exercícios de uma forma mais divertida.

4.4.2 Usabilidade do sistema

A usabilidade é um atributo de qualidade que avalia como as interfaces de usuário são fáceis de usar, permitindo que os usuários alcancem metas de forma eficaz, eficiente e com satisfação, levando em conta o contexto de uso. Considerando que os jogadores são um tipo particular de usuário, adotamos o SUS (System Usability Scale) para avaliar a usabilidade do jogo. Essa escala permite avaliar produtos e serviços, incluindo hardware, software, dispositivos móveis, sites e aplicativos (BROOKE, 1996, 2013; NIELSEN, 1994).

Consiste em um questionário com afirmações de 10 itens (quadro 6) com cinco opções de resposta, de "Concordo plenamente"(valor 5) a "Discordo fortemente"(valor 1). As pontuações do participante para cada pergunta são convertidas em um número (de 1 a 5), somadas, e multiplicadas por 2,5 para converter as pontuações originais de 0-40 para 0-100.

Quadro 6 – Questionário com afirmações SUS para o *Interactions 500*

Número	Itens
1	Acho que gostaria de utilizar este jogo com frequência.
2	Considereei o jogo mais complexo do que o necessário.
3	Achei o jogo fácil de utilizar.
4	Acho que necessitaria de ajuda de um suporte técnico para conseguir utilizar este jogo.
5	Considereei que as diversas funcionalidades deste jogo estavam bem integradas.
6	Achei que este jogo tinha muitas inconsistências.
7	Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este jogo.
8	Considereei o jogo muito complicado de utilizar.
9	Eu me senti muito confiante ao utilizar este jogo.
10	Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este jogo.

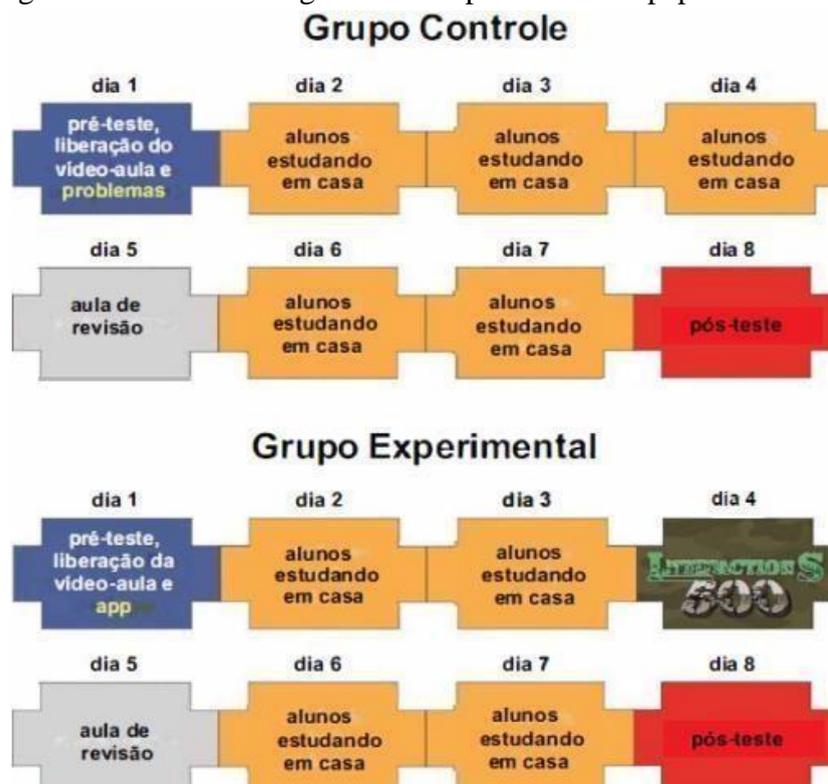
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.3 Papel instrutivo do jogo

Para avaliar se o jogo é uma ferramenta educacional complementar que pode auxiliar os alunos a aprender, realizamos um estudo experimental utilizando pré e pós-teste composto de 30 perguntas objetiva (apêndice). Escolhemos aleatoriamente estudantes de graduação em Farmácia e Odontologia matriculados em disciplinas de Química Orgânica I da Universidade Federal do Ceará para compor um grupo experimental (GE, N=44) e um grupo controle (GC, N=40), respectivamente.

Comparamos a evolução das pontuações médias dos alunos, entre os pré e os pós-testes do grupo que usou o jogo para rever o conteúdo (GE) com o grupo que tinha uma classe de resolução de problemas para revisar o conteúdo relacionado às forças intermoleculares (GC). A figura 29 resume a metodologia utilizada para avaliar o papel instrucional do jogo.

Figura 29 – A metodologia utilizada para avaliar o papel instrutivo do jogo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Antes de qualquer aula sobre a teoria da força intermolecular, administramos um pré-teste aos dois grupos no "dia 1" para verificar o conhecimento dos alunos sobre o assunto. Imediatamente após o pré-teste, lançamos uma videoaula sobre as forças intermoleculares.

Além disso, fornecemos o aplicativo para o grupo experimental (GE), enquanto o grupo controle (GC) receberam uma lista composta por trinta problemas para ajudá-los em seus estudos.

Depois, todos os alunos de ambos os grupos tiveram seis dias para estudar em casa. No entanto, houve uma diferença significativa: os alunos do grupo experimental formaram pequenos grupos (4-5 alunos) e jogaram o jogo remotamente no "dia 4". Em contrapartida, os membros do grupo controle estudaram sozinhos em casa, resolvendo a lista de problemas recebidos. Ambos os grupos também tiveram uma aula de revisão online por 90 minutos no "dia 5", quando o professor esclareceu as dúvidas dos alunos.

No "dia 8", todos os alunos de ambos os grupos participaram de um pós-teste cujo nível era semelhante ao pré-teste. Os alunos responderam a 30 perguntas sobre os temas abordados na videoaula. Os alunos tiveram 90 minutos para completar o pré-teste e o pós-teste.

O pós-teste teve como objetivo verificar se havia uma diferença significativa entre o aprendizado dos alunos sobre as forças intermoleculares, usando o jogo como um método alternativo para revisar os conteúdos ensinados na videoaula em comparação com a aprendizagem dos alunos que haviam estudado o conteúdo resolvendo uma lista tradicional de problemas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Opinião dos professores

Consideramos que o tema forças intermoleculares é insatisfatoriamente apresentado nos livros didáticos de química orgânica, uma vez que o tema é apresentado de formas superficial e diluída entre os capítulos, deixando uma lacuna no processo de ensino e aprendizagem desse importante conteúdo. Para investigar se isso era uma inquietação pessoal ou se outros colegas também compartilhavam dessa insatisfação, convidamos outros docentes para trazerem suas opiniões sobre o tema. Os resultados, das opiniões de professores de diversas universidades brasileiras e também professores de universidades francesas, estão resumidos na quadro 7.

Quadro 7 – Avaliações de professores brasileiros e franceses sobre o conteúdo de forças intermoleculares em livros didáticos de química orgânica

Classificação	Brasileiro (%) (Nº 111)	Francês (%) (Nº 20)
Excelente	1,80	0,00
Bom	31,53	20,00
Média	51,35	50,00
Ruim	13,51	25,00
Péssimo	1,81	5,00

Fonte: elaborada pelo autor.

Todos os professores consideraram as FIMs um assunto essencial na química orgânica. No entanto, 66,67% dos professores brasileiros e 75,00% dos professores franceses classificaram como médio/ruim/péssimo a forma como as forças intermoleculares são apresentadas nos livros de química orgânica. Os resultados da pesquisa nos motivaram a investigar profundamente esse tema em livros didáticos de química orgânica amplamente adotados no Brasil.

5.2 Exame dos livros de química orgânica

Os resultados da análise dos 15 livros de química orgânica estão no quadro 8. A análise revelou que todos os livros fazem menção às FIMs, O livro que destinou uma quantidade

maior de páginas contendo as FIMs foi Loudon (2016) com 28 no total. Smith (2008) apresentou maiores quantidades de tópicos e problemas relacionados com as FIMs, 14 e 51 respectivamente. O livro Brown (2012) e Carey (2008), ambos tiveram os maiores números de capítulos cobrindo qualquer tópico relacionado as FIMs, 12 no total.

Quadro 8 – Livros de química orgânica pesquisados com seus respectivos autores, editora, edição, total de páginas, total de problemas, páginas como o tema FIMs, capítulos cobrindo qualquer tópico relacionado as FIMs e exercícios relacionados aos FIMs

Autor	Editora	Edição	Total de Páginas	Total dos Problemas	FIMs Páginas	FIMs Tópicos	FIMs Capítulos (c)	FIMs Exercícios (d)
BROWN <i>et al.</i> , 2012	Cengage	6 ^a	1194	1463	14	9	1 2	4 4
BRUCE, 2014	Pearson	7 ^a	1293	1918	14	11	6	2 1
CAREY <i>et al.</i> , 2008	McGraw-Hill	7 ^a	1229	1435	17	7	1 2	0 9
CLAYDEN; GREEVES; WARREN, 2001	Oxford	1 ^a	1512	585	7	5	5	0 0
HOFFMAN, 2004	Wiley	2 ^a	476	94	1	1	1	0 0
JONES; FLEMING, 2010	W. W. Norton	4 ^a	1220	1467	3	3	1	0 4
KLEIN, 2016	Wiley	1 ^a	1295	1895	11	6	2	1 1
LOUDON; PARISE, 2016	W. H. Freeman	6 ^a	1485	1837	28	5	2	3 2
MCMURRY, 2012	Cengage	8 ^a	1262	1842	5	4	3	0 3
MCMURRY, 2011	Cengage	2 ^a	1044	1384	5	6	3	0 3
SMITH, 2008	McGraw - Hill	3 ^a	1178	2149	25	14	8	5 1
SOLOMONSFR YHLE; SNYDER, 2011	Wiley	1 0 ^a	1164	1266	9	9	1	1 2
(FABIRKIEWI CZ;STOWELL , 2016)	Wiley	3 ^a	335	230	1	1	1	0 1

VOLLHARD T, 2011	W. H. Freeman	6 ^a	1270	1702	14	8	9	0 6
WADE; SIMEK, 2006	Pearson	6 ^o	1262	1417	14	4	6	1 5
Notação: (a) Total de páginas sobre FIMs; (b) Número de assuntos relacionados às FIMs; (c) Número de capítulos que abrangem qualquer tópico relacionado aos FIMs; e (d) Número de exercícios relacionados aos FIMs								

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por mais que os conteúdos de FIMs estejam presentes em todos os livros, em alguns deles, o tema foi apresentado de forma fragmentada em vários capítulos, não trazendo informações suficientes para criar uma imagem clara do fenômeno na mente dos estudantes. Além disso, os tópicos relacionados às FIMs estão espalhados por vários capítulos em todos os livros, sem nenhum capítulo específico para abordar o tema. Essa abordagem deficiente das FIMs nos livros pode levar à falta de interesse dos professores em ensinar de forma mais abrangente o assunto, deixando de aprofundar um tema que é vital na química orgânica.

Analisamos o conteúdo de FIMs examinamos 34 tópicos dos livros de química orgânica dividindo em cinco categorias: i) tipos; ii) propriedades físicas; iii) biomoléculas; iv) técnicas analíticas; e (v) outros. O quadro 9 traz essa análise:

	Capilaridade	0	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Viscosidade	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	B	
Biomoléculas	Celulose e amido	A	A	A	A	0	B	A	A	0	A	A	A	0	A	A
	Carboidratos	A	A	A	A	0	B	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Ácidos graxos-Sabões-Micelas	A	A	A	A	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Membranas celulares	A	A	A	A	0	B	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	DNA	A	A	A	A	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Enzimas	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Proteínas	A	A	A	B	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Polímeros	A	A	A	A	0	A	A	B	B	B	A	B	0	A	A
	Drogas-receptores	A	A	A	A	0	A	A	B	B	B	A	A	0	A	A
Técnicas Analíticas	Infravermelho	A	A	A	A	B	0	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	RMN	A	A	A	0	0	A	0	A	0	0	A	A	0	A	A
	Cromatografia de papel	0	A	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0	0
	Cromatografia - CCD	0	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cromatografia - Coluna	A	A	A	A	B	A	C	A	A	A	0	A	B	B	A
	Eletroforese	A	A	A	0	0	A	A	0	A	A	0	A	0	A	A
Outros	Grafite	B	B	B	B	0	B	A	B	0	0	A	A	0	B	A
	Formato de gotas e menisco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
	Corantes e tingimento	B	0	0	B	0	0	0	B	0	0	A	A	0	B	B
	Efeito salting-out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Éter coroa	A	A	A	A	0	A	A	A	A	0	A	A	0	A	A
<p>Notação: A: O tópico é explicado e os exemplos são fornecidos; B: O tópico não é explicado, mas fornece exemplos; C: O tópico é explicado, mas exemplos não são fornecidos; 0: O tópico não é abordado.</p>																

Fonte: Elaborado pelo autor.

De um aspecto geral, a maioria dos livros avaliados trazem os conteúdos de FIMs com explicação acompanhada de exemplos. O oposto ocorre nos livros dos autores Fabirkiewicz (2016) e Hoffman (2004), onde a abordagem deste tópico ocorre através de exemplos. A cobertura dos tópicos relacionados às FIMs é citada nos itens a seguir: i) tipos de forças intermoleculares; ii) propriedades físicas; iii) biomoléculas; iv) técnicas e analíticas.

5.2.1 Tipos de forças intermoleculares

Entre átomos, íons e moléculas podem ocorrer dois tipos de fenômenos: interações e/ou reações. As reações se originam por meio de processos energéticos de transformação dos reagentes por meio de ligações químicas, enquanto as interações são regidas forças atrativas e repulsivas que ocorrem entre espécies sem a promoção de novos produtos (MIRANDA, 2018). Essas forças que atuam sobre todos os grupos químicos podem ser chamadas de interações de van der Waals, homenageando Johan van Diderik van der Waals, e envolvem os momentos de dipolo elétrico, permanente ou induzido, com energia bem inferior que a das ligações covalentes (NELSON; COX, 2006; COSTA, MENEZES, 2015).

A energia envolvida na formação das FIMs não é forte o bastante em comparação as ligações iônicas e covalentes (BROWN *et al.*, 2005). Essas forças auxiliam no processo de compreensão do porquê de algumas substâncias se encontrarem na forma sólida, líquida ou gasosa, além de subsidiar suas propriedades físicas. De forma geral, essas forças atuam de forma mais notável em sólidos e líquidos (ATKINS; JONES, 2012).

As FIMs e Inter iônicas podem ser divididas em: íon-dipolo, íon-dipolo induzido, dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido, dipolo induzido-dipolo induzido ou força de London e ligação de hidrogênio. Em relação à fase de agregação, as espécies no estado gasoso são as que possuem as atrações mais fracas devido ao distanciamento das moléculas, seguidas dos líquidos e sólidos respectivamente (BROWN *et al.*, 2005).

A análise dos livros de química também revelou que os diferentes tipos de FIMs são apresentados (ou não) de formas heterogênea (quadro 10).

Quadro 10 – Distribuição percentual de cobertura sobre tipos de forças intermoleculares em livros didáticos

Tipo de Interações	Tipos de Cobertura			
	%A	%B	%C	%0
Ligações de Hidrogênio	86,7	13,3	0,0	0,0
Forças de London	80,0	0,0	0,0	20,0
Dipolo-dipolo	73,3	6,7	0,0	20,0
Íon-dipolo	40,0	53,3	0,0	6,7
Dipolo-dipolo induzido	6,7	6,7	0,0	86,6
Íon-dipolo induzido	0,0	0,0	0,0	100,0

A: O tópico é explicado e os exemplos são fornecidos; B: O tópico não é explicado, mas fornece exemplos; C: O tópico é explicado, mas exemplos não são fornecidos; 0: O tópico não é abordado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A ligação de hidrogênio está presente em todos os livros, no entanto, em 13,3% dos livros, esse tipo de interação é introduzida usando exemplos, mas não é explicado. Já as forças de London e as interações dipolo-dipolo estão presentes em 80% dos livros. Enquanto 80% dos livros explicam e fornecem exemplos das forças de London, 6,7% dos livros só introduzem as interações dipolo-dipolo a partir de exemplos.

As interações íon-dipolo estão presentes em 93,3% dos livros; no entanto, apenas 40% deles explicam e fornecem exemplos desse tipo de interação, enquanto 53,3% mostram exemplos para introduzir a interação sem fornecer nenhuma explicação adicional.

A interação de dipolo-dipolo induzido está presente em apenas 13,4% dos livros, enquanto a interação do tipo íon-dipolo induzido não está presente em nenhum livro dos quais pesquisados.

5.2.2 Propriedades físicas

As propriedades físicas estão intimamente relacionadas com as características físicas dos compostos orgânicos, contudo, livros de química orgânica apresentam (ou não) este conteúdo de maneiras muito diferentes. Os resultados estão disponíveis na Quadro 11.

Quadro 11 – Distribuição percentual de cobertura sobre propriedades físicas nos livros didáticos

Propriedades Físicas	Tipos de Cobertura			
	%A	%B	%C	%0
Ponto de ebulição	80,0	13,3	0,0	6,7
Ponto de fusão	80,0	13,3	0,0	6,7
Solubilidade	73,3	26,7	0,0	0,0
Densidade	40,0	20,0	0,0	40,0
Pressão de vapor	0,0	20,0	0,0	80,0
Tensão superficial	0,0	13,3	0,0	86,7
Adesão-coesão	0,0	0,0	0,0	100,0
Capilaridade	0,0	6,7	0,0	99,3
Viscosidade	0,0	13,3	0,0	86,7
Notação: A: O tópico é explicado e os exemplos são fornecidos; B: O tópico não é explicado, mas fornece exemplos; C: O tópico é explicado, mas exemplos não são fornecidos; 0: O tópico não é abordado.				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar que o ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade são as propriedades físicas mais apresentadas nos livros, 80%, 80% e 73,3%, respectivamente. Essas propriedades físicas, que são explicadas com exemplos, figuras e gráficos, geralmente são apresentadas nos diversos capítulos que introduzem os grupos funcionais.

A densidade é um tema presente em 60% dos livros. No entanto, ela é explicada fornecendo exemplos em 40% dos livros. Esta propriedade física é mencionada sem definir a relação entre a densidade e as forças intermoleculares em 20% dos livros.

Outras propriedades físicas, como pressão de vapor, tensão superficial, coesão-aderência, capilaridade e viscosidade não são mencionadas em mais de 80,0% dos livros pesquisados. Além disso, em nenhum dos casos, os livros explicam a relação entre essas propriedades e as forças intermoleculares e fornecem exemplos. Alguns destes livros abordam sobre essas propriedades (exceto a adesão-coesão), mas só fornecem alguns exemplos e nenhuma explicação adicional é dada.

5.2.3 Biomoléculas

As biomoléculas também estão intimamente relacionadas às forças intermoleculares responsáveis pelas interações entre as moléculas biológicas e outras estruturas 3D, como DNA e proteínas. Pesquisamos a cobertura de 7 biomoléculas: elas estão presentes em 86,7% em média nos livros didáticos (quadro 12). Interações importantes entre drogas e receptores são explicadas com exemplos em 66,7% dos livros didáticos. Ainda assim, em 20,0% dos livros, as interações não são explicadas, sendo introduzidas apenas através de alguns exemplos.

Quadro 12 – Distribuição percentual de cobertura em biomoléculas nos livros didáticos

Biomoléculas	Tipos de Cobertura			
	%A	%B	%C	%0
DNA	86,7	0,0	0,0	13,3
Sabão-Micelas	86,7	0,0	0,0	13,3
Proteínas/Enzimas	86,7	6,7	0,0	6,6
Carboidratos	80,0	6,7	0,0	13,3
Membranas celulares	80,0	6,7	0,0	13,3
Celulose e Amido	73,3	6,7	0,0	20,0
Drogas-receptores	66,7	20,0	0,0	13,3
Notação: A: O tópico é explicado e os exemplos são fornecidos; B: O tópico não é explicado, mas fornece exemplos; C: O tópico é explicado, mas exemplos não são fornecidos; 0: O tópico não é abordado.				

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.4 Técnicas analíticas

Infravermelho, ressonância magnética nuclear (RMN), cromatografia e eletroforese são técnicas analíticas intimamente relacionadas às forças intermoleculares. Por exemplo, em infravermelho, o alongamento O-H do álcool resulta em bandas largas ($3200-3550\text{ cm}^{-1}$) quando o álcool interage de forma intermolecular a outro através de uma ligação de hidrogênio. A mudança química dos hidrogênios ligados aos átomos de oxigênio varia se o hidrogênio tiver interação intermolecular com o solvente. Todas as técnicas cromatográficas (papel, coluna, CCD, eletroforese, entre outras) promovem a separação de compostos orgânicos com base nos

diferentes tipos de forças de atração entre o composto orgânico (na fase móvel) e a fase estacionária.

O quadro 13 mostra que a influência das forças intermoleculares nos espectros infravermelhos é mencionada em 86,7% dos livros didáticos pesquisados. Em 80,0% deles, o conteúdo é explicado por exemplos. Em comparação, em 6,7% dos livros, o fenômeno da largura de banda é apresentado mostrando exemplos sem nenhuma explicação relacionada à ligação de hidrogênio.

Quadro 13 – Distribuição percentual de cobertura sobre técnicas analíticas nos livros didáticos

Técnicas Analíticas	Tipos de Cobertura			
	%A	%B	%C	%0
Infravermelho	80,0	6,7	0,0	13,3
RMN	60,0	0,0	0,0	40,0
Cromatografia por papel	6,7	6,7	0,0	86,6
Cromatografia em camada delgada	6,7	6,7	0,0	86,6
Cromatografia em coluna	66,7	20,0	6,7	6,7
Eletroforese	66,7	0,0	0,0	33,3

Notação: A: O tópico é explicado e os exemplos são fornecidos; B: O tópico não é explicado, mas fornece exemplos; C: O tópico é explicado, mas exemplos não são fornecidos; 0: O tópico não é abordado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As forças intermoleculares estão presentes em apenas 60% dos livros didáticos no capítulo que introduz a RMN. As forças das atrações são explicadas com o fornecimento de exemplos. 86,6% dos livros pesquisados não mencionam a cromatografia de papel e a CCD ou mencionam qualquer relação entre as cromatografias e as forças intermoleculares. Por outro lado, 66,7% dos livros introduzem cromatografia coluna e a eletroforese como técnicas cromatográficas, explicando a influência das forças intermoleculares no processo, e dando exemplos.

5.2.5 Outros tópicos relacionados às forças intermoleculares

Há outros temas relacionados às forças intermoleculares cujo domínio é essencial para os alunos (quadro 14).

Por exemplo, os corantes e o processo de tingimento de fibras estão diretamente relacionados com as forças intermoleculares. A pesquisa revelou que 53,3% dos livros didáticos não abordam esse tema; 13,3% explicam a ocorrência de forças intermoleculares entre corantes e fibras e dão exemplos, e 33,3% dos livros apenas fornecem exemplos, mas não dão qualquer explicação sobre a influência das forças intermoleculares no processo de tingimento.

Os formatos dos meniscos e das gotas de diferentes líquidos também dependem do equilíbrio entre as forças coesivas e adesivas, estritamente relacionadas com as FIMs. No entanto, 93,3% dos livros didáticos não cobrem esse tema. Apenas 6,7% dos livros pesquisados explicam o formato dos meniscos e das gotas com base nas FIMs fornecendo exemplos ilustrativos.

O salting-out é um efeito baseado na interação eletrólito-não eletrólito, cujo domínio ajudaria os alunos a entender o que acontece quando adicionamos uma solução salina aquosa para quebrar uma emulsão formada no processo de extração líquido-líquido. Infelizmente, nenhum dos 15 livros didáticos pesquisados abrange esse conteúdo.

Finalmente, os polímeros têm propriedades que dependem das forças que agem entre as cadeias. 86,7% dos livros abordam esse tema. 60,0% deles o explicam dando exemplos, enquanto 26,7% só dão os exemplos, não fornecendo qualquer tipo de explicação.

Quadro 14 – Distribuição percentual de outros tópicos relacionados a FIMs em livros didáticos

Tópicos	Tipos de Cobertura			
	%A	%B	%C	%0
Corantes e tingimento	13,3	33,3	0,0	53,3
Menisco e gotas	6,7	0,0	0,0	93,3
Efeito salting-out	0,0	0,0	0,0	100,0
Polímeros	60,0	26,7	0,0	13,3
Notação: A: O tópico é explicado e os exemplos são fornecidos; B: O tópico não é explicado, mas fornece exemplos; C: O tópico é explicado, mas exemplos não são fornecidos; 0: O tópico não é abordado.				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Menisco e formato de gota															
Corantes e tingimento															
Efeito salting-out															
Polímeros															
Total dos problemas de FIMs	49	25	12	05	11	33	03	03	65	12	02	07	17	244	
% dos problemas de FIMs	3,0	1,1	0,6	0,3	0,6	1,7	0,2	0,2	2,4	0,9	0,0	0,4	1,1		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 16 – Número de exercícios por categoria de FIMs em livros didáticos de química orgânica pesquisados

Categorias	Número de problemas	
	Total**	%
Tipo	20	8,2
Propriedades físicas	204	83,6
Biomoléculas	20	8,2
Técnicas Analíticas	00	0,0
Outros*	00	0,0
Total	244	100,0

*Outros: Grafite, éter de coroa, menisco e formato de gota, corantes e tingimentos, efeito salting-out e polímeros.

**Haviam problemas relacionados a mais de um tópico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 15 mostra que apenas 13 dos 15 livros analisados têm pelo menos um exercício sobre forças intermoleculares. Por outro lado, o quadro 16 revela que os problemas abrangem apenas três dos cinco pesquisados. A grande maioria dos problemas (83,6%) estão relacionados com as propriedades físicas dos compostos orgânicos. No entanto, nenhum problema discute a importância das forças intermoleculares sobre algumas propriedades físicas importantes, tais como: pressão de vapor, tensão superficial, adesão-coesão, capilaridade, viscosidade, e estado físico dos compostos orgânicos. Apenas 8,2% dos exercícios estão

relacionados à determinação do tipo de forças intermoleculares que atuam entre as espécies, e 8,2% dizem respeito às biomoléculas como ácidos graxos, sabão e micelas, lipídeos, membranas celulares, DNA, proteínas e enzimas. Nenhum exercício foi encontrado sobre as interações entre drogas e receptores, celulose, amido e carboidratos.

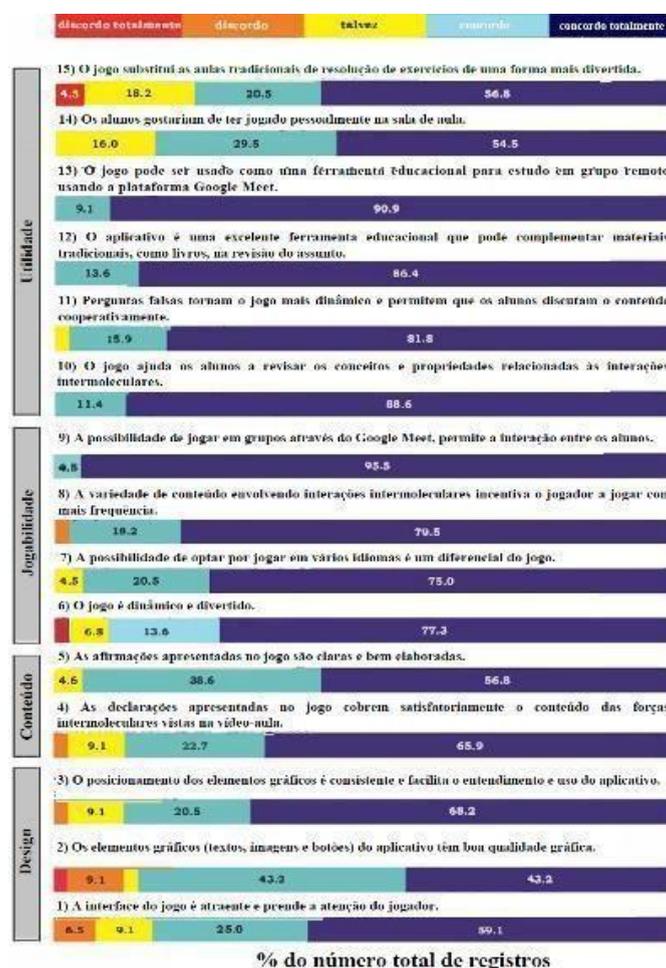
Embora as técnicas analíticas (infravermelho, RMN, cromatografia e eletroforese) e outras moléculas e fenômenos importantes (grafite, éter coroa, tingimento, efeito de salting-out e polímeros) sejam abordados nos livros relacionando-os com as FIMs (quadros 13 e 14), nenhum dos 244 exercícios relaciona-se a essas categorias.

Os quinze livros analisados apresentam 20.684 problemas (1.378,93 em média). No entanto, apenas 244 (1,18%) deles estão relacionadas às forças intermoleculares. Esse percentual expõe a baixa atenção que os livros didáticos de química orgânica dão a esse tema.

5.4 Opinião dos alunos sobre o *Interactions 500*

De forma remota, os alunos do Curso de Farmácia tiveram a experiência de jogar o *Interactions 500* em 2020.2. Em seguida, eles responderam um formulário baseado em 15 afirmações com base em quatro áreas de interesse: design, conteúdo, jogabilidade e utilidade. A figura 30 apresenta todas as respostas. Através de formulários, os estudantes manifestaram suas concordâncias (ou não) com as afirmações apresentadas, selecionando apenas 1 das cinco opções: concordo totalmente, concordo, talvez, discordo e discordo totalmente.

Figura 30 – Opiniões dos estudantes de graduação em Farmácia (N = 44) – distribuição de categorias Likert



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base no alto nível de concordância (concordo totalmente e concordo) dos alunos com as opiniões fornecidas, podemos afirmar, com precisão razoável, que eles avaliaram o jogo de forma muito positiva em termos de seu design, conteúdo, jogabilidade e utilidade como uma ferramenta educacional. Os alunos também comentaram sobre suas experiências de uso remoto do jogo, o que, em geral, foram muito positivas para sua aprendizagem. Reproduzimos abaixo três desses comentários abaixo concordando.

A atividade foi muito boa, pois estimula o aprendizado e o aprofundamento do conhecimento sobre o conteúdo das forças intermoleculares, além de ser bastante divertido, já que brincamos com colegas. Ter a possibilidade de ouvir a explicação dos colegas quando cometemos um erro no jogo também é algo que contribui de forma muito positiva no processo de aprendizagem. Em geral, só tenho que dizer que essa atividade foi muito lucrativa e agradável! (ULISSES TAVARES – ESTUDANTE PARTICIPANTE DA PESQUISA).

O jogo Interações 500 é interessante e muito útil para aprender, revisar e responder perguntas sobre o conteúdo das interações intermoleculares com os amigos de forma descontraída e acessível, especialmente durante o isolamento social. Composto por perguntas V ou F, regras simples, e um excelente banco de perguntas bem elaboradas, o debate em grupo após as rodadas enriquece e adiciona muito conhecimento e amizade dos membros. Além disso, a estratégia de adoção do Google Meet, ou aplicativos similares, é ótima para facilitar a comunicação, a interação e o debate entre os membros da equipe remotamente. (AMANDA BRASIL – ESTUDANTE PARTICIPANTE DA PESQUISA).

"Estudar forças intermoleculares com colegas de classe, usando o aplicativo "interações 500" e com a ajuda da tecnologia, possibilitou um estudo mais divertido e produtivo, pois o jogo nos permite não apenas testar nossos conhecimentos, mas também discutir questões teóricas de forma lúdica e dinâmica, o que torna o tempo voltado para o aprendizado e não para uma competição, na qual o objetivo é apenas vencer o jogo. Por isso, achei fascinante a atividade proposta pelo professor, pois traz um olhar novo e promissor para a educação". (JOÃO PAULO – ESTUDANTE PARTICIPANTE DA PESQUISA).

Embora quase todos os comentários tenham sido positivos, alguns estudantes deixaram sugestões para melhorar o jogo. Alguns desses comentários estão abaixo.

Apesar das vantagens, algumas pequenas melhorias seriam importantes. Por exemplo, incluindo atalhos ou redução da extensão do rio para evitar a desmotivação por parte dos jogadores estudantes, por causa dos muitos obstáculos presentes no campo que dificultam a resolução da partida. De qualquer forma, a atividade foi excelente. (MILENA SAMPAIO – ESTUDANTE PARTICIPANTE DA PESQUISA).

É preciso repensar o tabuleiro e criar pontos que dão vantagens e desvantagens, como a inserção de pontes no rio, túneis, entre outros. (ALEXANDRE SIQUEIRA – ESTUDANTE PARTICIPANTE DA PESQUISA).

Se possível, algumas pequenas mudanças poderiam ser muito bem-vindas, como mudanças no campo de jogo, onde a redução e/ou realocação de obstáculos pode tornar o jogo mais dinâmico. (MARIA LUÍZA – ESTUDANTE PARTICIPANTE DA PESQUISA).

5.5 Aplicação do jogo após as sugestões dos alunos

Com base nos comentários e sugestões dos alunos, projetamos um segundo tabuleiro (figura 31) onde fizemos as seguintes alterações:

- a) Dimensão do número de bombas: para reduzir o tempo da partida e diminuir insatisfação dos alunos que “explodiam” com alta frequência.
- b) Inserção de 4 túneis: possibilitava avanços rápidos no tabuleiro e aumenta a satisfação dos jogadores.
- c) Adição de 3 pontos: permitia a movimentação entre lados do rio e diminuía as chances de queda no rio.

Figura 31 – Tabuleiro do jogo modificado a partir das sugestões dos alunos

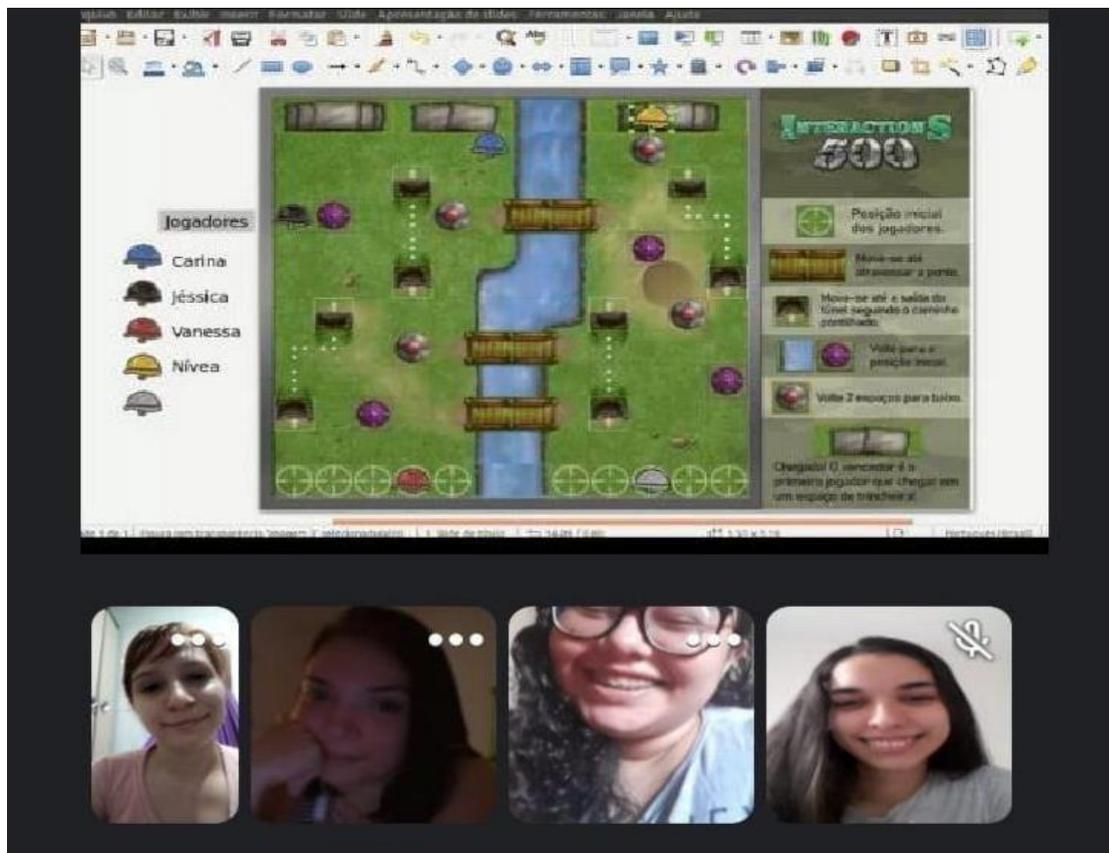


Fonte: Elaborada pelo autor.

No segundo semestre de 2020, implementamos o jogo novamente, aplicou-se o jogo seguindo os mesmos parâmetros de aplicação do item 4.4.1, só que agora utilizando o tabuleiro modificado. Cento e treze alunos do curso de Farmácia (2 turmas) jogaram o Interactions 500 remotamente (figura 32) por noventa minutos em média. O tempo gasto em cada partida variou de 17 até 45 minutos (33 minutos em média). Verificamos, então, redução do tempo máximo das partidas de 80 para 45 minutos, e redução de tempo médio de 42 para 33 minutos.

Tais redução de tempo da partida tornaram o jogo mais dinâmico e agradou mais os jogadores.

Figura 32 – Imagem dos alunos jogando o *Interactions 500* em aula remota com o tabuleiro modificado



Fonte: Elaborada pelo autor

Com base nessas sugestões, projetamos um segundo tabuleiro na qual há menos bombas, tendo o acréscimo de três pontes e quatro túneis. A partir do tabuleiro modificado, realizou-se a aplicação do jogo para estudantes do curso de farmácia. 89% dos alunos avaliaram o jogo positivamente. Todas essas mudanças tornam o jogo ainda mais agradável para os alunos.

5.6 Usabilidade do jogo *Interactions 500*

O SUS (*System Usability Scale*) ou escala de usabilidade do sistema na tradução é um dos métodos mais conhecidos e fáceis de verificação do nível de usabilidade de um sistema. A popularidade desse método se deve, entre outros motivos, o fato de apresentar um bom equilíbrio entre ser cientificamente preciso e ao mesmo tempo não muito extenso para os usuários do sistema bem como para os desenvolvedores do estudo.

Com base em pesquisas históricas, um escore do SUS acima de 68 seria considerado acima da média, e qualquer coisa abaixo de 68 seria abaixo da média. E ainda especificamente,

escore do SUS variando de 0 a 100 que está associado a uma escala de classificação adjetiva de 7 pontos: pior imaginável (12,5), horrível (20,3), ruim (35,7), ok (50,9), bom (71,4), excelente (85,5) ou melhor imaginável (90,9) (BANGOR et al., 2009). O Escore SUS das Interações 500 foi de 92,56, e seu desvio padrão foi de 9,37. Este resultado mostra que o jogo tem "melhor usabilidade imaginável".

5.7 Análise estatística – O papel instrucional do jogo

Um teste t de Student foi realizado para comparar se havia diferenças de pontuação média entre o pré e pós-teste entre os grupos GE (experimental) e GC (controle) para amostras independentes (quadro 17).

Os grupos GE e GC apresentaram médias semelhantes no pré-teste ($p = 0,9805$) e no pós-teste ($p = 0,9011$). Ambos os grupos melhoraram sua pontuação em cerca de 2,8 pontos. Os grupos GE e GC foram semelhantes quanto ao aumento das notas ($p = 0,9340$).

Quadro 17 – Comparação do desempenho do aluno em relação ao uso do aplicativo

Teste	Grupo	N	Média ¹	Desvio Padrão	t	p-valor
Pré-teste	GE	40	5,87	1,394		0,9805
	0,02					
	GC	36	5,86	1,662		
Pós-teste	GE	40	8,70	1,138		0,9011
	0,12					
	GC	36	8,66	1,384		
Diferença	GE	40	2,83	1,393		0,9340
	0,08					
	GC	36	2,80	1,491		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, os resultados sugerem que podemos usar o jogo *Interactions 500* como ferramenta educativa para auxiliar os alunos na revisão de temas relacionados às forças intermoleculares. O jogo promove um aprendizado estudantil semelhante ao visto em aulas

¹ Os resultados têm um intervalo de 0-10.

convencionais de resolução de exercícios massivamente utilizadas nas universidades brasileiras. Por fim, o jogo o incentivava a integração dos alunos em um ambiente agradável de aprendizagem. Dos 40 alunos que jogaram o jogo (EG), todos relataram que preferiam jogar o jogo em vez de participar de uma aula regular de resolução de problemas.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho analisa quinze livros de química orgânica usados em universidades brasileiras para investigar como as forças intermoleculares e os tópicos relacionados a elas abordadas. Descobrimos que todos os livros analisados abordam o tema, mas nenhum tem um capítulo específico sobre FIMs. No que diz respeito aos problemas associados aos FMI, o assunto é geralmente distribuído por vários capítulos, variando de um a doze capítulos. Treze dos quinze livros têm pelo menos um problema com relação às forças intermoleculares. Entretanto, a grande maioria dos problemas (83,6%) está relacionada às propriedades físicas dos compostos orgânicos. 8,2% estão relacionados aos tipos de forças intermoleculares e 8,2% às biomoléculas. Os problemas relativos à influência das FIMs nas técnicas analíticas e outras moléculas e fenômenos importantes não foram abordados nos livros por sua relação com as FIMs. Como os livros didáticos são um meio importante para a transmissão de informações para os estudantes, acreditamos que a cobertura das forças intermoleculares é inadequada e precisa ter uma atenção mais significativa dos autores nas próximas edições dos livros de química orgânica.

Os jogos são excelentes ferramentas educacionais que permitem aos alunos aprenderem conteúdos complexos em atividades divertidas, promovendo a cooperação entre os alunos e a consequente aprendizagem coletiva.

Os alunos aceitaram o jogo *Interactions 500* como uma ferramenta educacional. Ao mesmo tempo, os resultados revelaram que o jogo também promovia a aprendizagem dos alunos como uma aula convencional de resolução de exercícios.

Essas descobertas incentivam o design de uma versão 2.0 do jogo, que será 100% digital, integrando o tabuleiro ao aplicativo e permitindo que os alunos se conectem com seus colegas através do aplicativo.

REFERÊNCIAS

AKRAM, T. M.; IJAZ, A.; IKRAM, H. Exploring the factors responsible for declining students' interest in chemistry. **International Journal of Information and Education Technology**, v. 7, n. 2, p. 88-94, 2017.

ANTUNES, M.; PACHECO, M. A. R.; GIOVANELA, M. Design and implementation of an educational game for teaching chemistry in higher education. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 4, p. 517-521, 2012.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman Editora, 2012.

AYRES, C.; FERREIRA, C.; ARROIO, A. The usage of a simulation to study intermolecular forces: some findings. **Problems of education in the 21st century**, v. 24, n. 2008, p. 19-29, 2010.

AYYILDIZ, Y.; TARHAN, L. Problem-based learning in teaching chemistry: enthalpy changes in systems. **Research in Science and Technological Education**, v. 36, n. 1, p. 35-54, 2018.

AZEVEDO, É. de M. **O conhecimento científico na Química 2**. Ponta Grossa-PR: Atena, 2020.

BANGOR, A. *et al.* Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. **Journal of usability studies**, v. 4, n. 3, p. 114-123, maio, 2009.

BARBOSA, F. G. *et al.* Interactions: design, implementation and evaluation of a computational tool for teaching intermolecular forces in higher education. **Química Nova**, v. 38, n. 10, p. 1351-1356, 2015.

BATTERSBY, G. L. *et al.* Go fischer: an introductory organic chemistry card game. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 8, p. 2226-2230, jul.-ago., 2020.

BELL, P. T.; MARTINEZ-ORTEGA, B. A.; BIRKENFELD, A. Organic chemistry I cassino: a card game for learning functional group transformations for first-semester students. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 6, p. 1625-1628, maio, 2020.

BELLOU, I.; PAPACHRISTOS, N. M.; MIKROPOULOS, T. A. **Digital learning technologies in chemistry education**: a review, n. 8, p. 226-230, 2020.

SAMPSON, D. *et al.* **Digital technologies**: sustainable innovations for improving teaching and learning. Cham: Springer, 2018. p. 57-80.

BROMFIELD LEE, D. C.; BEGGS, G. A. Tactile models for the visualization, conceptualization, and review of intermolecular forces in the college chemistry classroom. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 4, p. 1328-1334, fev., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00460>. Acesso em: 20/10/2022

- BROOKE, J. SUS: a quick and dirty usability scale. In: JORDAN, P. W. *et al.* **Usability Evaluation in Industry**. Londres: Taylor & Francis, 1996. p. 189-194.
- BROOKE, J. SUS: a retrospective. **Journal of Usability Studies**, v. 8, n. 2, p. 29-40, 2013.
- BROUGÈRE, G. **Jogo e educação**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- BROWN, W. H. *et al.* **Organic chemistry**. 6. ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2012.
- BRUICE, P. Y. **Organic chemistry**. 7. ed. Nova York, NY: Pearson, 2014.
- BURKHOLDER, P. R.; PURSER, G. H.; COLE, R. S. Using molecular dynamics simulation to reinforce student understanding of intermolecular forces. **Journal of Chemical Education**, v. 85, n. 8, p. 1071-1077, ago., 2008.
- CAREY, F. A. *et al.* **Organic chemistry**. 11. ed. Nova York, NY: McGraw-Hill, 2008.
- CASTELLAN, G. W. **Físico-Química**. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 1978.
- CENGEL, YUNUS A; BOLES, MICHAEL A. **Thermodynamics: an engineering approach**. Boston: McGraw-Hill. 2022. pp. 91-93.
- CLAPSON, M. L.; GILBERT, B. C. T.; MUSGROVE, A. Race to the reactor and other chemistry games: game-based and experiential learning experiences in materials and polymer chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 12, p. 4391-4399, nov, 2020.
- CLAYDEN, J.; GREEVES, N.; WARREN, S. **Organic chemistry**. Nova York, NY: Oxford, 2001.
- COOPER, M. M.; WILLIAMS, L. C.; UNDERWOOD, S. M. Student understanding of intermolecular forces: a multimodal study. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 8, p. 1288-1298, maio, 2015.
- COSTA, S. M. O.; MENEZES, J. E. S. A. **Química Orgânica I**. 2. ed. Fortaleza, CE: EdUECE, 2015.
- CRAMER, Christopher, J. **Essentials of computational chemistry: theories and models**. [s. l.]: Wiley. julho, 2005
- DALTIN, Décio. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Artmed Editora, 2010.
- DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Stereogame: an interactive computer game that engages students in reviewing stereochemistry concepts. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 2, p. 248-250, dez., 2017.
- DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Nomenclature bets: an innovative computer-based game to

aid students in the study of nomenclature of organic compounds. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 11, p. 2055-2058, 2018a.

DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Interactive computer game that engages students in reviewing organic compound nomenclature. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 5, p. 899-902, 2018b.

DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Stereochemistry game: creating and playing a fun board gameto engage students in reviewing stereochemistry concepts. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 8, p. 1680-1685, 2019.

DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Interactions 500: design, implementation, and evaluation of a hybrid board game for aiding students in the review of intermolecular forces during the COVID-19 Pandemic. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 11, p. 4049-4054, 2020a.

DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Time bomb game: design, implementation, and evaluation of a fun and challenging game reviewing the structural theory of organic compounds. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 2, p. 565-570, 2020b.

DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* A hybrid board game to engage students in reviewing organic acids and bases concepts. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 10, p. 3720-3726, 2020c.

DA SILVA JÚNIOR, J. N. *et al.* Reactions: an innovative and fun hybrid game to engage the students reviewing organic reactions in the classroom. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 3, p. 749-753, 2020d.

DANCKWARDT-LILLIESTRÖM, K.; ANDRÉE, M.; ENGHAG, M. The drama of chemistry – supporting student explorations of electronegativity and chemical bonding through creative drama in upper secondary school. **International Journal of Science Education**, v. 42, n. 11, p. 1862-1894, 2020.

DE OLIVEIRA SANTOS, S. M. **Crerios para avaliaçãode livros didáticos de Química para o Ensino Médio**. 235 f. 2006. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

DUNCAN, K. J. Examining the effects of immersive game-based learning on student engagement and the development of collaboration, communication, creativity and critical thinking. **TechTrends**, v. 64, n. 3, p. 514–524, 2020.

ERNANDES DE MELO SANTOS, C.; SILVA LEITE, B. Construção de um jogo educativo em uma plataforma de desenvolvimento de jogos e aplicativos de baixo grau de complexidade: o caso do Quizmica – Radioatividade. **Renote**, v. 17, n. 1, p. 193-202, jul., 2019.

FABIRKIEWICZ, A. M.; STOWELL, J. C. **Intermediate organic chemistry**. 3. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2016.

FARMER, S. C.; SCHUMAN, M. K. A Simple card game to teach synthesis in organic

chemistry courses. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 4, p. 695-698, jan., 2016.

FONTANA, M. T. Gamification of chemdraw during the COVID-19 pandemic: investigating how a serious, educational-game tournament (molecule madness) impacts student wellness and organic chemistry skills while distance learning. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 9, p. 3358-3368, 2020.

FOYE, W. O.; LEMKE, T. L. e WILLIAMS, D.A. **Principles of medicinal chemistry**. Baltimore: Lea & Febiger, 1995.

GABEL, D. L.; SAMUEL, K. V.; HUNN, D. Understanding the particulate nature of matter. **Journal of Chemical Education**, v. 64, n. 8, p. 695-697, 1987.

GILBERT, J. K. *et al.* **Chemical education: towards research-based practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

GOGAL, K.; HEUETT, W.; JABER, D. CHEMcompete: an organic chemistry card game to differentiate between substitution and elimination reactions of alkyl halides. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 9, p. 1276-1279, 2017.

GOTTSCHALK, E.; VENKATARAMAN, B. Visualizing dispersion interactions. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 5, p. 666-672, 2014.

GRIFFITHS, A. K.; PRESTON, K. R. Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 6, p. 611-628, 1992.

GUTTERIDGE, A; THORNTON, J. M. Understanding nature's catalytic toolkit. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 30, n. 11, p. 622-29, 2005.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. The particulate nature of matter: challenges in understanding the submicroscopic world. *In: Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 189-212, jan., 2006.

HOFFMAN, R. V. **Organic chemistry**. 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2004.

INTERACTIONS 500. LDSE Oficial. **Apple store**. [Aplicativo de celular]. Disponível em: <https://apps.apple.com/br/app/interactions-500/id1509337864>. Acesso em: 22 jan. 2021.

ISRAELACHVILI, J.; RUTHS, M. Brief history of intermolecular and intersurface forces in complex fluid systems. **Langmuir**, v. 29, n. 31, p. 9605-9619, 2013.

JASIEN, P. G. Helping students assess the relative importance of different intermolecular interactions. **Journal of Chemical Education**, v. 85, n. 9, p. 1222-1225, 2008.

JONES, M.; FLEMING, S. A. **Organic chemistry**. 4. ed. Nova York, NY: W. W. Norton & Company, 2010.

JUNQUEIRA, M. M. **Um estudo sobre o tema interações intermoleculares no contexto da disciplina de química geral**: a necessidade da superação de uma abordagem classificatória

para uma abordagem molecular. 275 f. 2017. Tese (Doutorado em Ensino de Química) – Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2017.

KAIMARA, P.; DELIYANNIS, I. Why should I play this game? The role of motivation in smart pedagogy. *In: DANIELA, Linda (Org.). Didactics of Smart Pedagogy: smart pedagogy for technology enhanced learning.* Cham: Springer International Publishing, p. 113-137, jan., 2018.

KARAKAS, M. Teaching intermolecular forces with love analogy: a case study. **Chemistry**, v. 21, n. 3, p. 341-348, 2012.

KAUZMANN, W., **Teoría cinética de los gases: propiedades térmicas de la materia.** Barcelona: Editorial Reverté, 1970.

KLEIN, D. R. **Organic chemistry.** 3. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2016.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

LEWIS, R. J., Sr. **Dicionário Químico Condensado de Hawley** 15. ed. Nova York, NY: John Wiley, 2007.

LIKERT, R. A. Technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 1-55, 1932.

LOUDON, M.; PARISE, J. **Organic chemistry.** 6. ed. Nova York, NY: W. H. Freeman and Company, 2016.

LUXFORD, C. J.; BRETZ, S. L. Development of the bonding representations inventory to identify student misconceptions about covalent and ionic bonding representations. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 3, p. 312-320, 2014.

MACEDO, R. A. de. O jogo como recurso lúdico e motivacional para a aprendizagem. **ID on line: revista de Psicologia**, v. 14, n. 52, p. 131-140, out., 2020.

MARTINS, A. C. *et al.* Jogo Twister das forças intermoleculares. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, p. 377-386, 2020.

MCMURRY, J. E. **Organic chemistry with biological applications.** 2. ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2011.

MCMURRY, J. E. **Organic chemistry.** 8. ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2012.

MIRANDA, A. C. G. **Transição Progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre Forças Intermoleculares.** 289 f. 2018. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

MOHANAM, L. N.; HOLTON, A. J. Intermolecular forces game: using a card game to engage students in reviewing intermolecular forces and their relationship to boiling points. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 11, p. 4044-4048, 2020.

MOHD NIZAM, D. N.; LAW, E. L. C. Derivation of young children's interaction strategies with digital educational games from gaze sequences analysis. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 146, p. 102-558, fev., 2021.

MUSAWWA, M. M.; WULAN FEBRIANA, B.; NORMALIA ARLIANTY, W. Analysis of understanding of first-year chemistry education students on molecular forces topic. **International Journal of Chemistry Education Research**, v. 2, n. 2, p. 71-76, 2018.

NAKHLEH, M. B. Why some students don't learn chemistry: chemical misconceptions. **Journal of Chemical Education**, v. 69, n. 3, p. 191-196, 1992.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed Editora, 2010.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. São Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1994.

O'HALLORAN, K. P. Teaching classes of organic compounds with a sticky note on forehead game. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 12, p. 1929-1932, 2017.

NETZ, P. A.; ORTEGA, G. G. **Fundamentos de físico-química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas**. Porto Alegre, RS: ArtMed Editora, 2014.

OGDEN, M. An inquiry experience with high school students to develop an understanding of intermolecular forces by relating boiling point trends and molecular structure. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 7, p. 897-902, 2017.

OLIVEIRA, A. S. DE; SOARES, M. H. F. B. Júri químico: uma atividade lúdica para discutir conceitos químicos. **Química Nova na Escola**, n. 21, p. 18-24, maio, 2005.

OSBORNE, R. J.; COSGROVE, M. M. Children's conceptions of the changes of state of water. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 20, n. 9, p. 825-838, dez., 1983.

PECKHAM, G. D.; MCNAUGHT, I. J. Teaching intermolecular forces to first-year undergraduate students. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 7, p. 955-957, 2012.

PETERSON, R. F.; TREAGUST, D. F.; GARNETT, P. Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 26, n. 4, p. 301-314, 1989.

Physical constants of organic compounds. *In*: LIDE, D. R.; TAYLOR, F. (Org.) **CRC handbook of chemistry and physics**. 89. ed. Boca Raton, 2009.

PLATAFORMA da Unity. Produtos. **Unity**. Disponível em: <https://unity.com/pt/products/unity-engine>. Acesso em: 2 jul. 2020.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2009.

QUÍLEZ, J. A categorisation of the terminological sources of student difficulties when learning chemistry. **Studies in Science Education**, v. 55, n. 2, p. 121–167, 2019.

RETNO WIDARTI, H. *et al.* Identifying students' misconception about intermolecular force topic in organic chemistry I course. **Unnes Science Education Journal**, v. 8, n. 1, 2019.

RIBEIRO, M. P.; DE LIMA SANTOS, G. B.; MUELLER, G. Leitura e escrita: o lúdico como recurso pedagógico. **Revista Eletrônica de Educação do Norte de Mato Grosso**, v. 4, p. 94–103, 2020.

RUSSEL, JOHN B. **Química Geral**. 2. ed., São Paulo: Makron Books, 1994.

SAMUELSON, A. G. Card games and chemistry teaching organometallic reactions through card games. **Resonance**, v. 23, n. 8, p. 915–923, 2018.

SANGER, M. J.; BADGER, S. M. Using computer-based visualization strategies to improve students' understanding of molecular polarity and miscibility. **Journal of Chemical Education**, v. 78, n. 10, p. 1412–1416, 2001.

SANTOS, A. O. *et al.* Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do Ensino Médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). **Scientia Plena**, v. 9, n. 7, p. 1–6, 2013.

SCHMIDT, H. J.; KAUFMANN, B.; TREAGUST, D. F. Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 10, n. 4, p. 265–272, 2009.

SCHULTZ, E. Simple dynamic models for hydrogen bonding using velcro-polarized molecular models. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 3, p. 401–405, 2005.

ŞEN, Ş. ChemistDice: a game for organic functional groups. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 2, p. 535–539, 2021.

HOESMITH, J. *et al.* Organic fanatic: a quiz-based mobile application game to support learning the structure and reactivity of organic compounds. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 8, p. 2314–2318, 2020.

SMITH, B. D.; JACOBS, D. C. Textrev: a window into how general and organic chemistry students use textbook resources. **Journal of Chemical Education**, v. 80, n. 1, p. 99–102, 2003.

SMITH, J. G. **Organic chemistry**. 3. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2008.

SOARES, M. H. F. B. **O lúdico em química: jogos e atividades aplicados ao ensino de Química**. 219 f. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Química, Programa de Pós-Graduação em Química,

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP 2004.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B.; SNYDER, S. A. **Organic chemistry**. 10. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2011.

SOUSA LIMA, M. A. *et al.* Game-based application for helping students review chemical nomenclature in a fun way. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 4, p. 801-805, 2019.

SRISAWASDI, N.; PANJABUREE, P. Implementation of game-transformed inquiry-based learning to promote the understanding of and motivation to learn chemistry. **Journal of Science Education and Technology**, v. 28, n. 2, p. 152-164, 2019.

TORRES, N. M. *et al.* Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas de compuestos orgánicos Una estrategia didáctica. **Educación Química**, v. 16, n. 4, p. 129, fev., 2005.

TRIBONI, E.; WEBER, G. MOL: developing a european-style board game to teach organic chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 5, p. 791-803, 2018.

VASSÃO, C. F. **Elementos do Ensino Superior**: o livro didático, a biblioteca e a química geral teórica. 105 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Departamento de Bioquímica, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018.

VERCEZE, R. M. A. N.; SILVINO, E. F. M. O livro didático e suas implicações na prática do professor nas escolas públicas de Guajará-mirim. **Revista Práxis Educacional**, v. 4, n. 4, p. 83-102, 2008.

VOLLHARDT, K. P. C. **Organic chemistry structure and function**. 6. ed. Nova York, NY: Freeman and Company, 2011.

WADE, L. G.; SIMEK, J. W. **Organic chemistry**. 6. ed. Nova York, NY: Pearson, 2006.

WILLIAMS, L. C. *et al.* Are noncovalent interactions an achilles heel in chemistry education? A comparison of instructional approaches. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 12, p. 1979-1987, 2015.

WINTER, J. E. *et al.* The mechanisms app and platform: a new game-based product for learning curved arrow notation. In: HOUSEKNECHT, J. B. *et al.* (Org.) **Active learning in organic chemistry**: implementation and analysis. Washington: American Chemical Society, 2019. v. 1336, p. 99-115.

YU, Z.; GAO, M.; WANG, L. The effect of educational games on learning outcomes, student motivation, engagement and satisfaction. **Journal of Educational Computing Research**, v. 59, n. 2, p. 1-25, nov., 2020.

ZHANG, C; Kim, SH. Overview of structural genomics: from structure to function. **Current Opinion in Chemical Biology**. v. 7, n. 1, p. 28-32, fev., 2003.

ZHANG, Z. *et al.* Chemakers: playing a collaborative board game to understand organic chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 2, p. 530-534, dez., 2021.

APÊNDICE A – PRÉ-TESTE

Observe o seguinte quadro com o ponto de ebulição (em graus Celsius) de alguns ácidos inorgânicos:

01. O comportamento do HF, bastante diferente dos demais compostos, justifica-se porque entre

Substâncias ácidas	PE (°C)
Ácido clorídrico (HCl)	-85
Ácido fluorídrico (HF)	20
Ácido iodídrico (HI)	-35
Ácido bromídrico (HBr)	-67

suas moléculas ocorrem:

- a) ligações covalentes apolares.
- b) ligações covalentes polares.
- c) interações denominadas ligações de hidrogênio.
- d) interações dipolo-induzido.
- e) interações por dipolo permanente.

02. Qual das substâncias apresentada, no estado líquido, forma interações intermoleculares do tipo dipolo induzido-dipolo induzido?

- a) Amônia líquida
- b) Água sólida.
- c) acetaldeído líquido
- d) Bromo líquido
- e) éter dietílico líquido

03. Em contato com o etanol, sentimos o seu odor característico, haja vista que as moléculas dessa substância, no estado gasoso, são percebidas por células nervosas olfativas nas narinas. A percepção maior ou menor do odor está relacionada com a quantidade de moléculas de etanol no ar, fato que está ligado à capacidade de volatilização dessa substância. A propriedade da matéria referente à volatilização é a:

- a) densidade.
- b) fotólise.
- c) ponto de fusão.
- d) solubilidade.
- e) pressão de vapor.

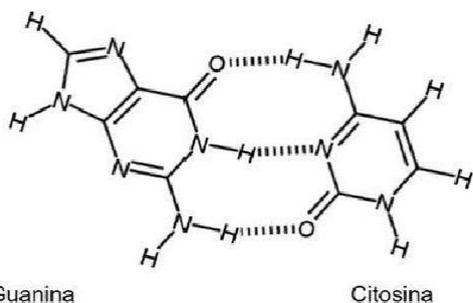
04. Cromatografia gasosa é uma técnica de separação que desde os anos 70 vem sendo cada vez mais utilizada na área da toxicologia forense. Entretanto, como toda técnica, ela tem limitações quanto ao seu emprego na fase de triagem. A princípio, para ser passível de análise por cromatografia gasosa, uma substância precisa:

- a) se degradar nas temperaturas do injetor.
- b) se volatilizar nas temperaturas operacionais.
- c) não conter nitrogênio na estrutura química.
- d) não interagir com a fase estacionária.
- e) ser volátil e estável à temperatura ambiente.

05. O DNA é constituído por duas fitas complementares, que são compostas por um esqueleto de fosfato, desoxirribose (açúcar) e bases nitrogenadas. A estrutura em dupla fita é observada uma complementariedade entre as bases nitrogenadas, por exemplo, a guanina interage com a citosina formando um par de bases, enquanto a adenina interage com a timina.

Abaixo, tem-se a ilustração da interação entre as bases guanina e citosina, com as interações intermoleculares, mostradas com pontilhados.

Assinale a alternativa correta sobre a interação que ocorre entre os dois pares de bases



nitrogenadas, mostradas na ilustração.

- A interação que ocorre entre as bases é do tipo ligações de hidrogênio, que são as interações intermoleculares mais fracas que existem.
- A interação que ocorre entre as bases é do tipo ligações de hidrogênio, que é uma classe especial das interações dipolo permanente-dipolo permanente.
- Os pontilhados representam interações do tipo forças de London, que são as mais fortes dentre as interações intermoleculares.
- As interações mostradas são do tipo íon-dipolo, que são fracas quando comparadas com as demais interações.
- Os pontilhados representam interações do tipo dipolo-induzido-dipolo induzido, que são as mais fortes dentre as interações intermoleculares.

06. A atividade contraceptiva dos DIUs (Diafragmas Intrauterinos) modernos é atribuída, em partes, à ação espermicida de sais de cobre (II) que são gradativamente liberados por esses diafragmas no útero feminino. Os íons Cu^{2+} formam com as moléculas de água, interações: íon-dipolo induzido.

- íon-dipolo.
- dipolo-dipolo.
- dipolo-dipolo instantâneo.
- dipolo induzido-dipolo instantâneo.

07. A distorção da nuvem eletrônica numa molécula apolar como oxigênio molecular (O_2) criam momento de dipolo induzido temporário, permitindo que essa molécula forme interações com íon ferroso (Fe^{2+}). Esse tipo de interação é:

- íon-dipolo induzido.
- íon-dipolo.
- dipolo-dipolo.
- dipolo-dipolo instantâneo.
- dipolo induzido-dipolo instantâneo.

08. Certos insetos, apesar de possuírem densidade maior que a da água, conseguem se locomover sobre a superfície livre da água.

A explicação, para tal ocorrência, é devido:



- a) a que seu peso é igual ao empuxo;
- b) a que seu peso é maior que o empuxo;
- c) a que o ar exerce sobre ele uma ação oposta à do líquido;
- c) à movimentação de suas asas;
- d) à tensão superficial.

09 O nitrogênio, principal constituinte do ar atmosférico, é uma substância apolar que pode ser liquefeita a baixas temperaturas. Nesse estado, as forças que unem as moléculas umas às outras são conhecidas como:

- a) ligações de hidrogênio.
- b) pontes bissulfeto.
- c) interações dipolo-dipolo.
- d) forças de London.
- e) ligações metálicas.

10. A explicação para a insolubilidade de espécies apolares, como hidrocarbonetos, em solventes polares como a água, está nas fracas interações entre moléculas do soluto e do solvente. A tipo interação intermolecular, entre o solvente e o soluto aqui mencionados, que não favorece a solubilidade, é

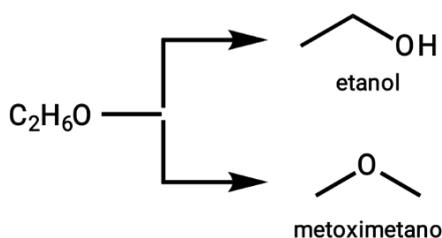
- a) dipolo-dipolo induzido.
- b) dipolo-dipolo.
- c) íon-dipolo.
- d) dipolo induzido-dipolo instantâneo.
- e) ligação de hidrogênio.

11. No processo de dissolução de um soluto molecular em um líquido, as forças de atração entre as moléculas do soluto e do solvente devem ser:

- a) fortes para que as moléculas do solvente rompam as ligações intramoleculares das moléculas do soluto.
- b) fracas o suficiente para compensar o rompimento das forças existentes entre as moléculas e entre os átomos do soluto.

- c) intensas o suficiente para compensar o rompimento das forças de atração das moléculas do soluto entre si e das moléculas do solvente também entre si.
- d) medianas para que ocorra apenas o rompimento das ligações que promovem a atração entre os átomos que constituem a molécula do soluto.
- e) direcionadas para compensar o rompimento das ligações do solvente e a formação de ligações covalentes com o soluto molecular.

12. Compostos orgânicos podem apresentar as mesmas fórmulas moleculares e propriedades físicas e químicas diferentes. Observe as duas estruturas abaixo e marque a opção correta, com base nas interações intermoleculares presentes em cada substância.

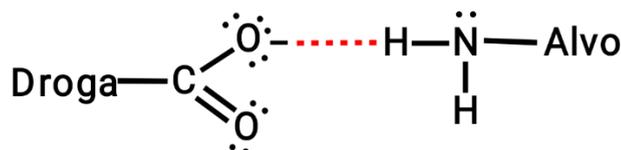


- a) etanol é o mais volátil, pois suas forças intermoleculares são mais fortes.
- b) metoximetano é menos volátil, pois suas forças intermoleculares são mais fracas.
- c) etanol é o menos volátil, pois suas forças intermoleculares são mais fracas.
- d) metoximetano é o mais volátil, pois suas forças intermoleculares são mais fracas.
- e) metoximetano é o mais volátil, pois suas forças intermoleculares são mais fortes.

13. A membrana celular é feita de uma bicamada fosfolipídica. A membrana celular cria uma barreira hidrofóbica em volta da célula:

- a) dificultando a passagem de água.
- b) facilitando a passagem de água.
- c) facilitando a passagem de moléculas polares de medicamentos.
- d) dificultando a passagem de moléculas apolares de certos fármacos.
- e) facilitando a passagem de qualquer molécula polar ou apolar.

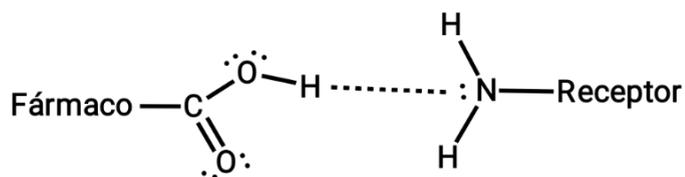
14. A figura abaixo mostra a interação entre a droga (fármaco) e o alvo receptor (célula).



A atração entre essas duas espécies ocorre por

- a) dipolo-dipolo.
- b) ligação de hidrogênio.
- c) íon-dipolo.
- d) íon-dipolo induzido.
- e) ligação iônica.

15. A figura abaixo mostra a interação entre a droga (fármaco) e o alvo receptor (célula).



A atração entre essas duas espécies ocorre por

- dipolo-dipolo.
- ligação de hidrogênio.
- íon-dipolo.
- íon-dipolo induzido.
- ligação iônica.

16. O éter etílico, substância de forte odor, pode ser usado na indústria, como solvente, em ambulatórios ou em laboratórios de química, bioquímica e farmácia. As propriedades físicas do éter etílico, com base em sua polaridade e natureza das forças intermoleculares, são:

- alto ponto de fusão, volátil e miscível em etanol.
- baixo ponto de fusão, volátil e imiscível em etanol.
- baixo ponto de fusão, volátil e miscível em etanol.
- alto ponto de fusão, não volátil e imiscível em etanol.
- baixo ponto de fusão, não volátil e miscível em etanol.

17. A viscosidade é uma propriedade inerente do líquido devido à sua relação profunda com as forças intermoleculares. Quanto maiores estas forças, mais as moléculas permanecem unidas, não as permitindo fluir com facilidade.

Dados os seguintes produtos:

- Etanol;
- Glicerina ou Glicerol (Propano-1,2,3-triol);
- Azeite de oliva.

Qual a ordem crescente de viscosidade?

- III, II, I
- II, III, I
- III, I, II
- I, II, III
- I, III, II

18. Assinale a opção que indica, corretamente, a substância de menor ponto de ebulição.

- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- NaCl
- CH_4
- H_2O
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$

19. A água se dissolve em acetona (CH_3COCH_3), mas não em hexano (C_6H_{10}) por que, são favoráveis as interações (I) , entre as moléculas de água e acetona, mas, não são favoráveis

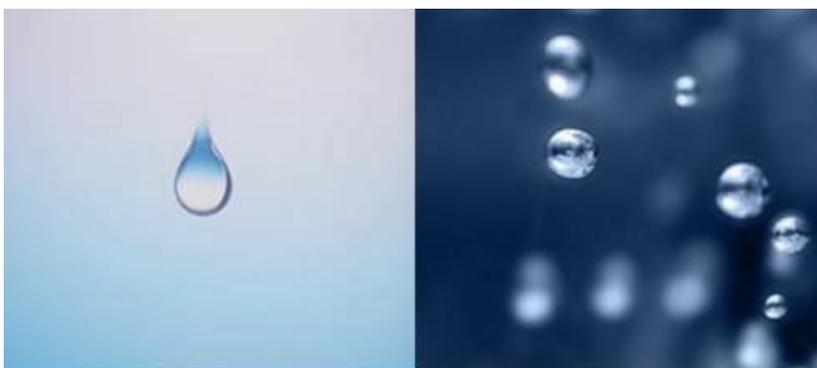
as interações (II)., entre as moléculas de água e hexano. Os termos que adequadamente completam os espaços (I) e (II), respectivamente, são:

- Ligação de hidrogênio e dipolo-dipolo
- Dipolo – dipolo induzido e dipolo induzido – dipolo induzido.
- Força de London e Ligação de hidrogênio
- Ligação de hidrogênio e dipolo – dipolo induzido
- Dipolo – dipolo e íon – dipolo induzido.

20. Dizemos que um líquido "molha" um sólido quando:

- a adesão é maior que a coesão.
- a adesão é igual a coesão.
- a adesão é menor que a coesão.
- ocorre reação e não interação.
- ocorre interação e reação.

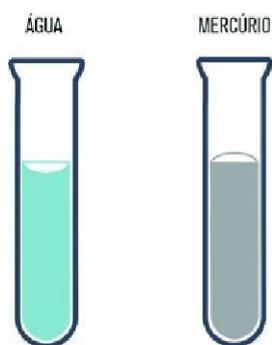
21. Imagens de gotas de água.



A imagem acima traz diferentes formatos para uma gota d'água. Pois saiba que as menores gotas de chuva, com cerca de 1 mm de raio, são completamente esféricas. Com relação ao formato esférico das gotas de água, todas as afirmativas estão corretas, exceto

- As interações, por ligações de hidrogênio, entre as moléculas de água são muito fortes, portanto, o arranjo mais estável ocorre quando elas estão rodeadas por outras moléculas de água, o que acontece no interior da gota.
- A água tende a oferecer a menor superfície possível ao ar, deste modo, o maior número de moléculas vai estar comprimido na parte central da gota, conferindo um formato esférico.
- Esta propriedade que os líquidos têm é denominada de Tensão superficial.
- Nas moléculas de água, as interações intermoleculares são mais fracas do que as ligações covalentes entre os átomos de hidrogênio e oxigênio.
- A distribuição uniforme, das moléculas de água na formação da gota, indica que as forças intermoleculares e as ligações covalentes entre hidrogênio e oxigênio apresentam forças que se equivalem.

22. Observe os meniscos formados pelos líquidos:

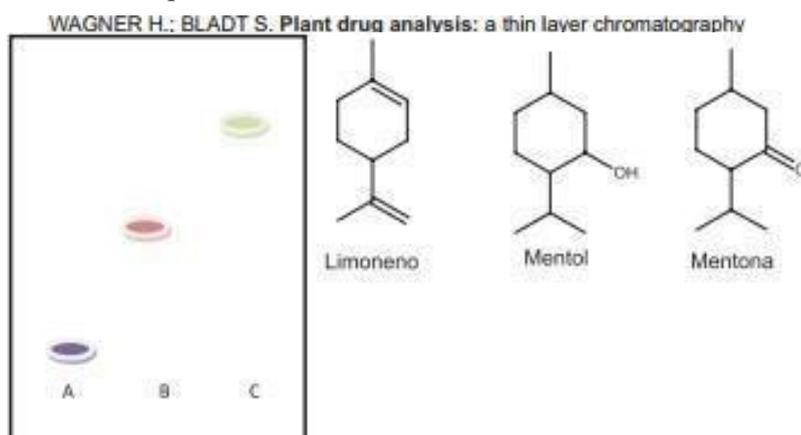


A partir da análise da figura acima, assinale a afirmativa incorreta:

- No caso da água num copo de vidro, as forças de adesão entre as moléculas da água e as paredes do copo são maiores que as de coesão na própria água.
- A maior força de coesão entre as moléculas de água do que a força de adesão da água com as paredes do vidro, explica a curvatura para cima na proximidade da parede, formando um menisco côncavo.
- No caso de mercúrio, as forças de coesão no líquido são maiores do que as de adesão entre mercúrio e vidro.
- A tendência do mercúrio é se afastar da parede, formando um menisco convexo, pois a força de adesão com o vidro é mais fraca do que a força de coesão no metal líquido.
- As formas de meniscos se devem às forças de coesão entre as moléculas do líquido e as de adesão entre as moléculas do líquido e as paredes do vidro.

23. Um estudante de farmácia encontrou em um laboratório 3 frascos de matéria-prima sem rótulos. Os rótulos caídos no chão diziam que em um frasco havia mentol, em outro limoneno e o terceiro mentona. O aluno decidiu então fazer uma placa de cromatografia em camada fina para tentar descobrir qual substância estava em cada frasco. Como fase estacionária foi usada placa de sílica e a fase móvel escolhida foi tolueno com acetato de etila (93:7). Após eluir a placa, esta foi revelada com o reagente vanilina sulfúrica.

A figura abaixo apresenta o resultado da cromatografia, assim como as estruturas moleculares das substâncias em questão.



A análise desse cromatograma permite afirmar que

- a) as amostras A e B são, respectivamente, a menta na e o mental.
- b) as amostras B e C são, respectivamente, o limoneno e o mental.
- c) as amostras A e B são, respectivamente, a menta na e o limoneno.
- d) as amostras A e C são, respectivamente, a menta na e o mental.
- e) as amostras B e C são, respectivamente, a mentona e o limoneno.

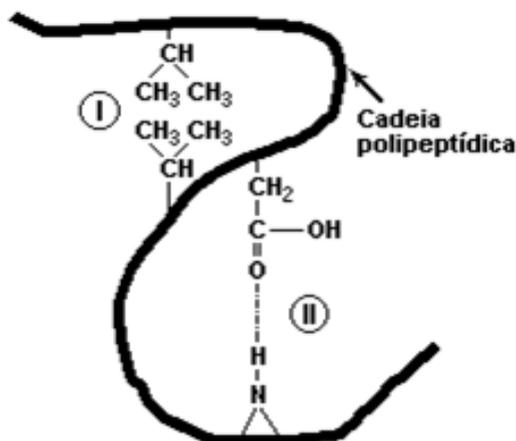
24. O estado físico de uma substância depende

- a) do equilíbrio entre a energia cinética das partículas individuais (moléculas ou átomos) e as forças intermoleculares
- b) somente das forças intermoleculares.
- c) somente da energia cinética das partículas individuais.
- d) do equilíbrio entre a energia cinética das partículas individuais (moléculas ou átomos), mas,
- e) não dependem das forças intermoleculares, somente da massa dos átomos e/ou moléculas.

25. Com relação a viscosidade dos líquidos, é correto afirmar que

- a) A viscosidade é medida pela velocidade de queda de uma esfera dentro de um líquido colocado em um cilindro vertical de vidro e, não é função das forças intermoleculares do líquido.
- b) A viscosidade pode não ser medida pela velocidade de queda de uma esfera dentro de um líquido colocado em um cilindro vertical de vidro e, não é função das forças intermoleculares do líquido.
- c) A viscosidade é medida pela velocidade de queda de uma esfera dentro de um líquido colocado em um cilindro vertical de vidro e, é função das forças intermoleculares do líquido.
- d) A viscosidade não pode ser medida pela velocidade de queda de uma esfera dentro de um líquido colocado em um cilindro vertical de vidro, contudo é função das forças intermoleculares do líquido.
- e) A viscosidade não pode ser medida pela velocidade de queda de uma esfera dentro de um líquido colocado em um cilindro vertical de vidro. Quanto maior for a viscosidade menor é intensidade das forças intermoleculares.

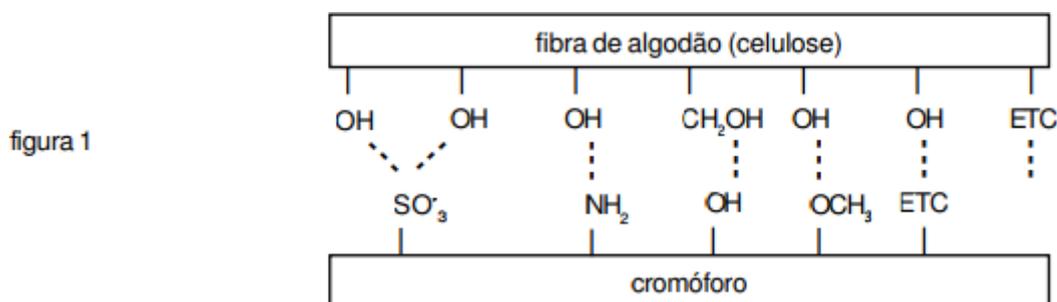
26. Quando uma célula produz uma proteína, a cadeia de polipeptídeo dobra-se espontaneamente para assumir certa forma. Um dos dobramentos dessa cadeia polipeptídica envolve várias forças de interação entre várias cadeias laterais de aminoácidos, conforme exemplificado no esquema a seguir.



Os tipos de forças de interação que ocorrem em (I) e (II) são, respectivamente,

- dipolo-dipolo e ligação de hidrogênio.
- ligação de hidrogênio e dipolo-dipolo.
- dipolo induzido-dipolo induzido e dipolo-dipolo.
- dipolo induzido-dipolo induzido e ligação de hidrogênio.
- dipolo induzido-dipolo e dipolo-dipolo.

27. Os corantes utilizados para tingir tecidos possuem em suas estruturas um grupamento denominado cromóforo (representado nas figuras abaixo), ao qual, por sua vez, estão ligados diversos grupos funcionais (-OH, -NH₂, -SO₃⁻, etc), denominados auxocromos. Esses grupamentos, além de influenciarem na cor, são responsáveis pela fixação do corante no tecido, por meio de interações químicas entre as fibras e o próprio corante. No caso do algodão, tais interações se dão com as hidroxilas livres da celulose, onde o corante é simplesmente adicionado ao tecido (figura 1). As interações identificadas como I, II e III, respectivamente, são:



- ligação de hidrogênio, ligação de hidrogênio e ligação de hidrogênio.
- íon-dipolo, ligação de hidrogênio e ligação de hidrogênio.
- dipolo – dipolo, ligação de hidrogênio e dipolo-dipolo induzido.
- dipolo – dipolo induzido, ligação de hidrogênio e dipolo – dipolo.
- íon-dipolo induzido, ligação de hidrogênio e ligação de hidrogênio.

28. O efeito “salting out” é a precipitação de proteína em solução por altas concentrações de sais.

Os sais atraem as moléculas de água do meio, por interações (I).,de modo a ficar

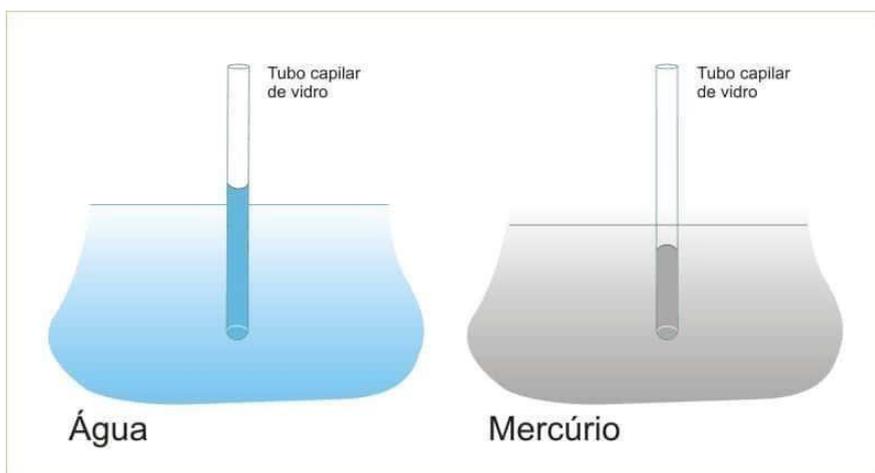
menos água disponível para as moléculas proteicas o que acarreta na (II).

Da solubilidade e precipitação.

Os termos que completam adequadamente os espaços I e II, respectivamente, são:

- Íon – dipolo e diminuição.
- Dipolo-dipolo e aumento
- Íon-dipolo induzido e diminuição.
- Ligação de hidrogênio e aumento.
- Ligação de hidrogênio e diminuição

29. Capilaridade é a passagem natural de um líquido através de um tubo fino.



Esse fenômeno é resultado da ação da interação das moléculas da água com o vidro.

Logo, é correto afirmar que:

- Quanto menor for o diâmetro do tubo menor é a aderência.
- Quanto maior for o diâmetro do tubo maior é a aderência.
- Quanto menor for o diâmetro do tubo maior é a aderência.
- A interação entre a água e o vidro é denominada força de coesão.
- A maior ou menor aderência, entre a água e o vidro, não dependem do diâmetro do tubo.

30. O detergente é um agente emulsificante, que forma com as moléculas de água interações do tipo:



- Ligação de hidrogênio
- Íon – dipolo induzido.
- Força de London
- Íon – dipolo
- Dipolo induzido – dipolo instantâneo.

Nome:

RESPOSTAS

Preencha o quadrado da alternativa escolhida inteiramente

1	a	b	c	d	e
2	a	b	c	d	e
3	a	b	c	d	e
4	a	b	c	d	e
5	a	b	c	d	e
6	a	b	c	d	e
7	a	b	c	d	e
8	a	b	c	d	e
9	a	b	c	d	e
10	a	b	c	d	e
11	a	b	c	d	e
12	a	b	c	d	e
13	a	b	c	d	e
14	a	b	c	d	e
15	a	b	c	d	e
16	a	b	c	d	e
17	a	b	c	d	e
18	a	b	c	d	e
19	a	b	c	d	e
20	a	b	c	d	e
21	a	b	c	d	e
22	a	b	c	d	e
23	a	b	c	d	e
24	a	b	c	d	e
25	a	b	c	d	e
26	a	b	c	d	e
27	a	b	c	d	e
28	a	b	c	d	e
29	a	b	c	d	e
30	a	b	c	d	e

APÊNDICE B – PÓS-TESTE

Nome: _____

01. Observe o quadro de pontos de ebulição:

Substância	P.E. (°C)
H ₂ O	100
H ₂ S	-60,3
H ₂ Se	-41,3
H ₂ Te	-2,2

O ponto de ebulição da água é anômalo em relação aos demais compostos da família do oxigênio, porque:

- existem pontes de hidrogênio entre as moléculas da água.
- as moléculas da água são mais leves.
- existem Forças de Van der Waals entre as moléculas da água.
- somente a molécula da água é apolar.
- as demais substâncias decompõem-se termicamente.

02. O gás presente nas bebidas gaseificadas é o dióxido de carbono (CO₂). O aumento da pressão e o abaixamento da temperatura facilitam a dissolução do dióxido de carbono em água. Que tipo de interação intermolecular ocorre entre as moléculas de dióxido de carbono, entre as moléculas de água e entre as moléculas de dióxido de carbono e água, respectivamente?

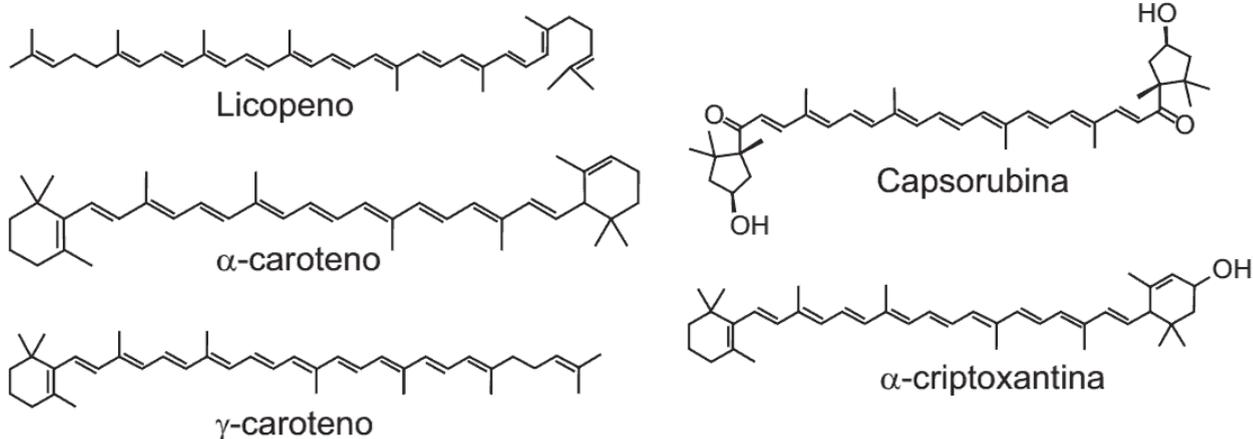
- nos três casos ocorrem interações do tipo dipolo induzido-dipolo induzido.
- dipolo induzido-dipolo induzido, ligações de hidrogênio, dipolo-dipolo induzido.
- ligações de hidrogênio, ligações de hidrogênio, dipolo induzido-dipolo induzido.
- ligações de hidrogênio, dipolo induzido-dipolo induzido, dipolo-dipolo induzido.
- dipolo induzido-dipolo induzido, ligações de hidrogênio, ligações de hidrogênio.

03. Qual das propriedades propostas abaixo sofre uma diminuição da sua intensidade quando as forças intermoleculares de uma determinada substância são altas?

- Solubilidade
- ponto de fusão
- ponto de ebulição
- pressão de vapor
- tenacidade

04. A cromatografia em papel é um método de separação que se baseia na migração diferencial dos componentes de uma mistura entre duas fases imiscíveis. Os componentes da amostra são separados entre a fase estacionária e a fase móvel em movimento no papel. A fase estacionária consiste de celulose praticamente pura, que pode absorver até 22% de água. É a água absorvida que funciona como fase estacionária líquida e que interage com a fase móvel, também líquida (partição líquido-líquido). Os componentes capazes de formar interações intermoleculares mais fortes com a fase estacionária migram mais lentamente.

Uma mistura de hexano com 5% (v/v) de acetona foi utilizada como fase móvel na separação dos componentes de um extrato vegetal obtido de pimentões. Considere que esse extrato contém as substâncias representadas.



RIBEIRO, N. M.; NUNES, C. R. Análise de pigmentos de pimentões por cromatografia em papel. *Química Nova na Escola*, n. 29, ago. 2008 (adaptado).

A substância presente na mistura que migra mais lentamente é o (a):

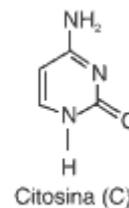
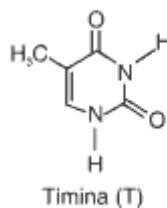
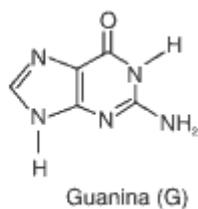
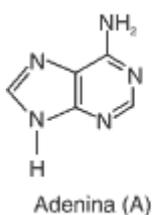
- licopeno.
- α -caroteno
- γ -caroteno.
- capsorubina.
- α -criptoxantina.

05. A distorção da nuvem eletrônica numa molécula apolar como dióxido de carbono (CO₂)

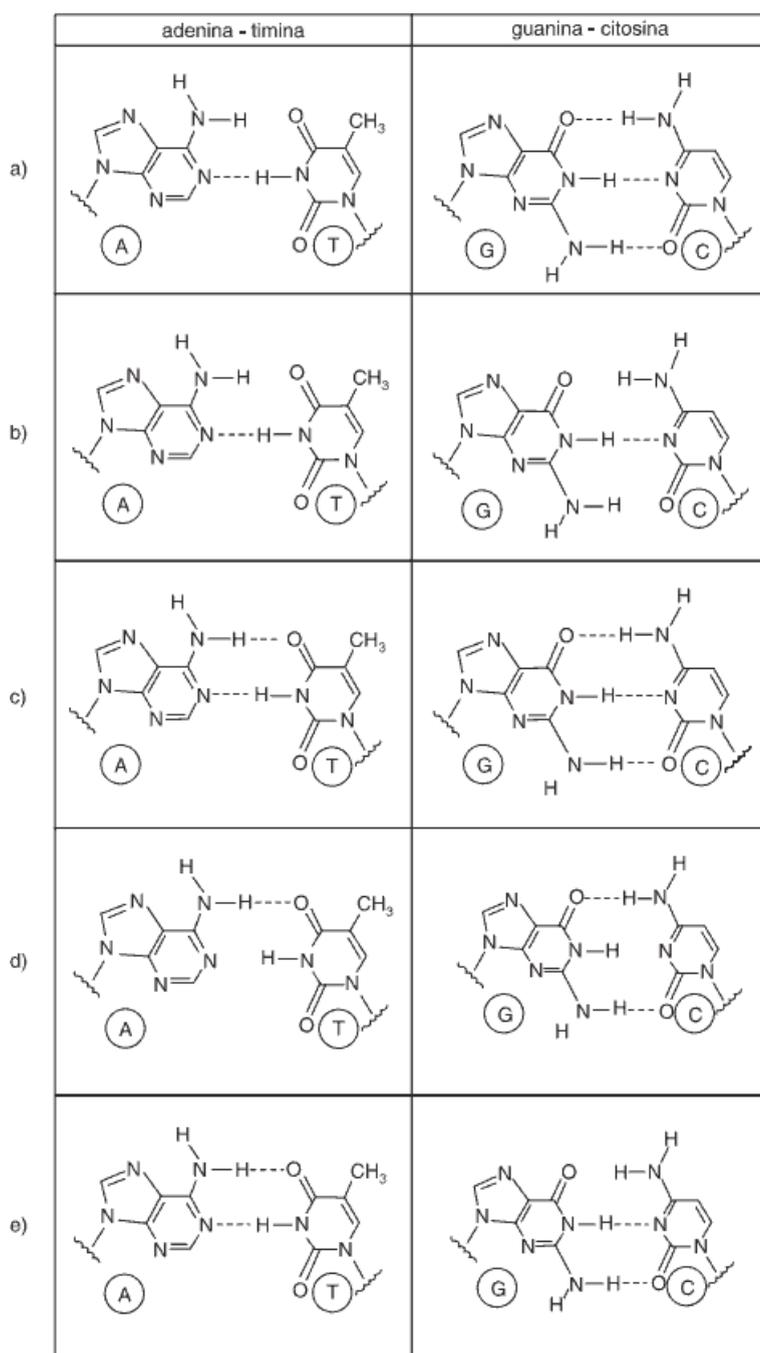
cria um momento de dipolo induzido temporário, permitindo que essa molécula forme interações com íon cúprico (Cu^{2+}). Esse tipo de interação é:

- a) íon-dipolo induzido.
- b) íon-dipolo.
- c) dipolo-dipolo.
- d) dipolo-dipolo instantâneo.
- e) dipolo induzido-dipolo instantâneo.

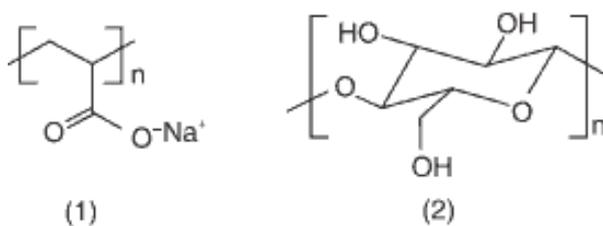
06. A estrutura do DNA é formada por duas cadeias contendo açúcares e fosfatos, as quais se ligam por meio das chamadas bases nitrogenadas, formando a dupla hélice. As bases timina, adenina, citosina e guanina, que formam o DNA, interagem por ligações de hidrogênio, duas a duas em uma ordem determinada. Assim, a timina, de uma das cadeias, interage com a adenina, presente na outra cadeia, e a citosina, de uma cadeia, interage com a guanina da outra cadeia. Considere as seguintes bases nitrogenadas:



As interações por ligação de hidrogênio entre adenina e timina e entre guanina e citosina, que existem no DNA, estão representadas corretamente em:



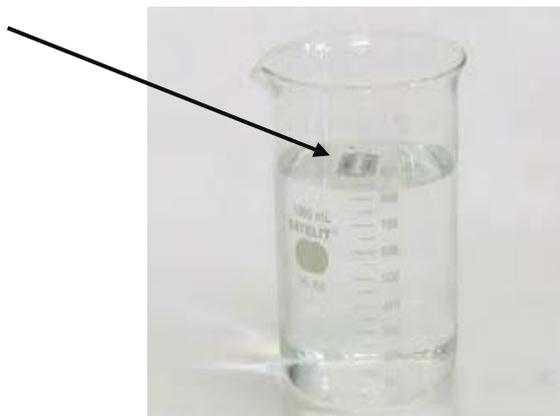
07. As fraldas descartáveis que contêm o polímero poliácridato de sódio (1) são mais eficientes na retenção de água que as fraldas de pano convencionais, constituídas de fibras de celulose (2).



A maior eficiência dessas fraldas descartáveis, em relação às de pano, deve-se às:

- a) interações dipolo-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e a água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- b) interações íon-íon mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- c) ligações de hidrogênio mais fortes entre o poliacrilato e a água, em relação às interações íon- dipolo entre a celulose e as moléculas de água.
- d) ligações de hidrogênio mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às interações dipolo induzido-dipolo induzido entre a celulose e as moléculas de água.
- e) interações íon-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.

08. Uma lâmina de barbear pode manter-se em equilíbrio junto à superfície livre da água.



Isso ocorre por causa da:

- a) tensão superficial.
- b) adesão.
- c) coesão.
- d) capilaridade.
- e) empuxo.

09. O principal tipo de força atrativa que deve ser vencida para sublimar o gelo seco (CO_2 sólido) é:

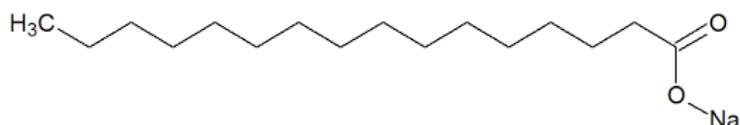
- a) ligação covalente.
- b) força de London (entre dipolos temporários).
- c) força entre dipolos permanentes (devido à diferença de eletronegatividade).
- d) ligação coordenada.

e) ligação iônica.

10. A solubilidade do pentano em água é de 0,01g/100ml (20°C). A tipo interação intermolecular, entre o soluto e o solvente aqui mencionados, que não favorece a solubilidade, é:

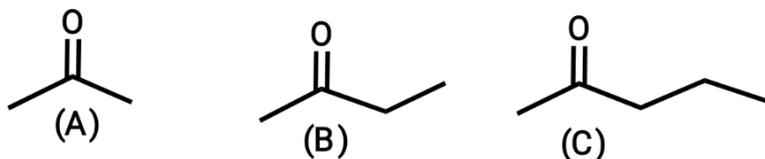
- a) dipolo-dipolo induzido
- b) dipolo-dipolo
- c) íon-dipolo
- d) dipolo induzido-dipolo instantâneo.
- e) ligação de hidrogênio.

11. Assinale a alternativa que apresenta as principais características químicas dos sabões, de acordo com a fórmula estrutural abaixo:



- a) Sabões são compostos aniônicos derivados dos ácidos sulfônicos que contêm predominância de alquilbenzeno sulfonato de sódio.
- b) Sabões são sais orgânicos que possuem uma porção polar solúvel em gordura (lipofílica) e uma cadeia apolar apta a dissolver-se em água (hidrofílica).
- c) Sabões são compostos derivados de ácidos carboxílicos de cadeia longa, com propriedades anfipróticas, que apresentam habilidade de doar e receber prótons no processo de limpeza.
- d) Sabões são produzidos a partir de derivados de petróleo (hidrocarbonetos de cadeia longa), por meio da reação de sulfonação e neutralização do hidrocarboneto, gerando o agente tensoativo.
- e) Sabões são os sais de ácidos carboxílicos de cadeia longa, com propriedades anfifílicas, em que os ânions têm um grupo carboxilato polar (RCOO-) ao final de uma cadeia de hidrocarboneto apolar.

12. Compostos orgânicos podem apresentar as mesmas fórmulas moleculares diferentes, propriedades físicas diferentes e químicas iguais. Observe as três estruturas abaixo (A, B, C) e, com base nas interações intermoleculares presentes em cada uma delas, podemos afirmar que a volatilidade de:

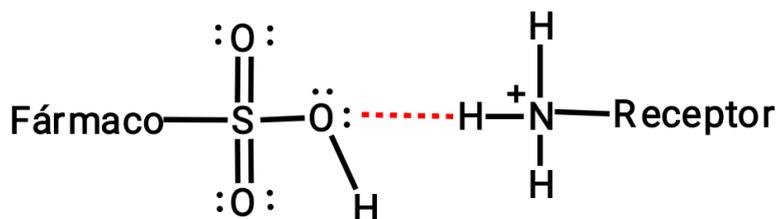


- A<B<C
- B<C<A
- C<B<A
- A<C<B
- B<A<C

13. A membrana celular é feita de uma bicamada fosfolipídica. O grupo fosfato da membrana celular:

- facilita a passagem de água.
- dificulta a passagem de água.
- facilita a passagem de moléculas apolares de medicamentos.
- dificulta a passagem de moléculas polares de certos fármacos.
- dificulta a passagem de qualquer molécula polar ou apolar.

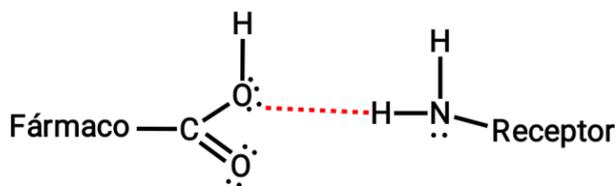
14. A figura abaixo mostra a interação entre a droga (fármaco) e o alvo receptor (célula).



A atração entre essas duas espécies ocorre por:

- dipolo-dipolo.
- ligação de hidrogênio.
- íon-dipolo.
- íon-dipolo induzido.
- ligação iônica.

15. A figura abaixo mostra a interação entre a droga (fármaco) e o alvo receptor (célula).



A atração entre essas duas espécies ocorre por:

- a) dipolo-dipolo.
- b) ligação de hidrogênio.
- c) íon-dipolo.
- d) íon-dipolo induzido.
- e) ligação iônica.

16. Em um ensaio experimental de pervaporação, para extração dos componentes responsáveis pelo sabor e aromas de suco de caju, o condensador esteve imerso em um banho contendo nitrogênio líquido (-196°C). Os tipos de forças intermoleculares que unem as moléculas de nitrogênio líquido são:

- a) as ligações de nitrogênio.
- b) as interações dipolo-dipolo.
- c) as forças de London.
- d) as ligações covalentes.
- e) as ligações de hidrogênio.

17. Todos os compostos abaixo apresentam interações do tipo ligação de hidrogênio, EXCETO:

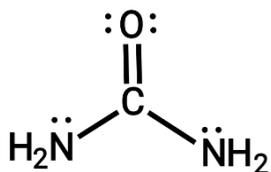
- a) CH_3NH_2
- b) $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
- c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- d) $(\text{CH}_3)_3\text{N}$
- e) NH_2OH

18. Assinale a alternativa que apresenta o ciclocalcano com o menor ponto de ebulição.

- a) ciclooctano.
- b) ciclopropano.
- c) ciclobutano.

- d) ciclopentano.
e) ciclohexano

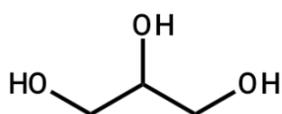
19. A ureia é um composto utilizado na fabricação de plásticos e fertilizantes.



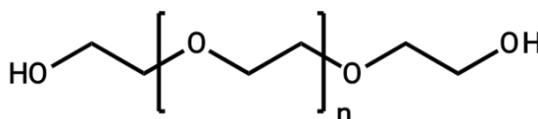
A partir da estrutura da ureia, acima apresentada, podemos afirmar que as forças intermoleculares nesse sólido molecular são do tipo:

- a) dipolo-dipolo induzido
b) íon-dipolo
c) dipolo induzido-dipolo instantâneo.
d) íon-dipolo instantâneo.
e) ligação de hidrogênio.

20. A pele humana, quando está bem hidratada, adquire boa elasticidade e aspecto macio e suave. Em contrapartida, quando está ressecada, perde sua elasticidade e se apresenta opaca e áspera. Para evitar o ressecamento da pele é necessário, sempre que possível, utilizar hidratantes umectantes, feitos geralmente à base de glicerina e polietilenoglicol:



glicerina

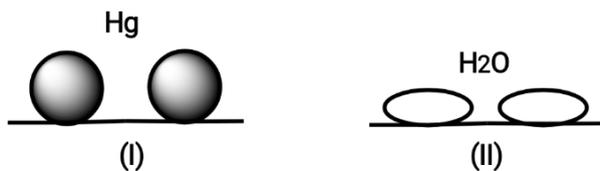


polietilenoglicol

A retenção de água na superfície da pele promovida pelos hidratantes é consequência da interação dos grupos hidroxila dos agentes umectantes com a umidade contida no ambiente por meio de:

- a) ligações iônicas.
b) forças de London.
c) ligações covalentes.
d) forças dipolo-dipolo.
e) ligações de hidrogênio.

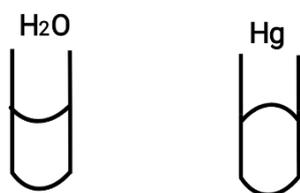
21. As figuras (I) e (II) mostram, respectivamente, gotas de mercúrio e de água sobre uma mesma superfície de vidro. No mercúrio, o menor contato com o vidro é justificado pela força de coesão maior do que a força de adesão.



Com relação as forças de adesão e coesão é incorreto afirmar que

- No mercúrio, o menor contato com o vidro é justificado pela força de coesão maior do que a força de adesão.
- O maior contato da água com o vidro, comprova que sua força de adesão é maior que a do mercúrio.
- O menor contato do mercúrio com o vidro, é justificado pela força de adesão menor do que a força de coesão.
- Quanto menor for a força de adesão em cada gota, maior será a área de contato da gota com a superfície do vidro.
- As interações entre o mercúrio e o vidro são mais fracas do que as interações entre a água e o vidro.

22. Com relação aos meniscos, côncavo e convexo, nos líquidos, conforme a figura abaixo, são feitas as seguintes afirmações:



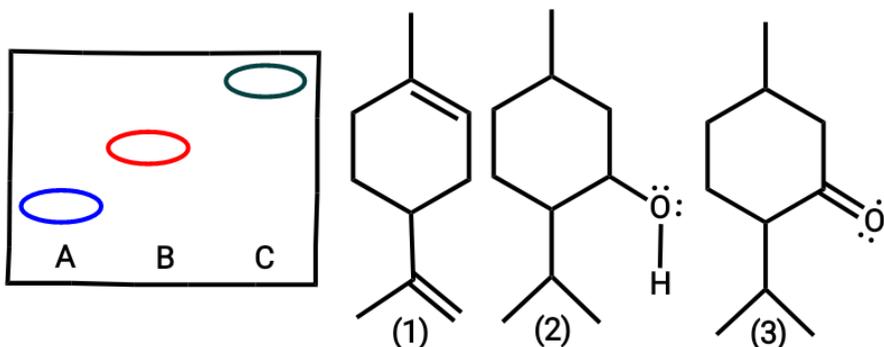
- As moléculas de água formam interações com a sílica do vidro e sobem pelas paredes do tubo de ensaio, contribuindo para a forma côncava na superfície do líquido.
- A força de atração entre as moléculas de água e o vidro são mais intensas do que entre as moléculas de água.
- O mercúrio líquido tem forma convexa na superfície porque as forças adesivas com as paredes do tubo de ensaio são maiores do que as forças coesivas entre os átomos do líquido.

É (são) correto(as) somente:

- I
- II
- I e II

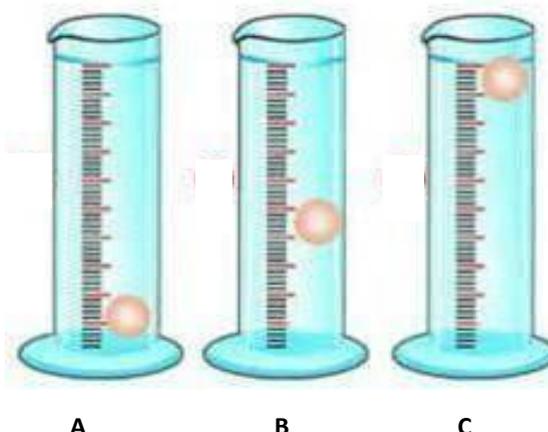
- d) III
e) I, II e III

23. Uma placa de cromatografia em camada fina foi utilizada para descobrir qual substância: limoneno (1), mentol (2) ou mentona (3), estava em cada frasco A, B e C. Como fase estacionária foi usada placa de sílica (polar) e a fase móvel escolhida foi tolueno (apolar) com acetato de etila (93:7). Após eluir a placa, esta foi revelada com o reagente vanilina sulfúrica. A figura evidencia que as amostras A, B e C, respectivamente, são:



- a) Mentol, mentona e limoneno
b) Limoneno, mentona e mentol
c) Mentona, mentol e limoneno.
d) Mentol, limoneno e mentona.
e) Mentona, limoneno e mentol
24. O estado físico de uma substância depende do equilíbrio entre a energia cinética das moléculas e / ou átomos e as forças intermoleculares. Com relação aos estados físicos da matéria é correto afirmar que:
- a) A teoria Cinética dos gases diz que: todo gás é composto de inúmeras moléculas que se movimentam de forma desordenada e com uma alta velocidade. Entre as moléculas gasosas as forças intermoleculares têm alta magnitude.
b) No estado líquido, as forças atrativas intermoleculares são suficientemente fortes para manter as moléculas juntas, porém as moléculas tem liberdade de deslizar umas sobre as outras.
c) No estado líquido, as forças intermoleculares são suficientemente fortes para manter as moléculas juntas e em posição fixa.
d) No estado sólido, as forças intermoleculares são suficientemente fortes para manter as moléculas juntas, porém há movimentos rotacionais e translacionais entre suas moléculas.
e) No sólido cristalino, o arranjo dos átomos, moléculas ou íons é tal, que a soma das forças atrativas globais tem um valor mínimo. Nessa fase a energia cinética é máxima.

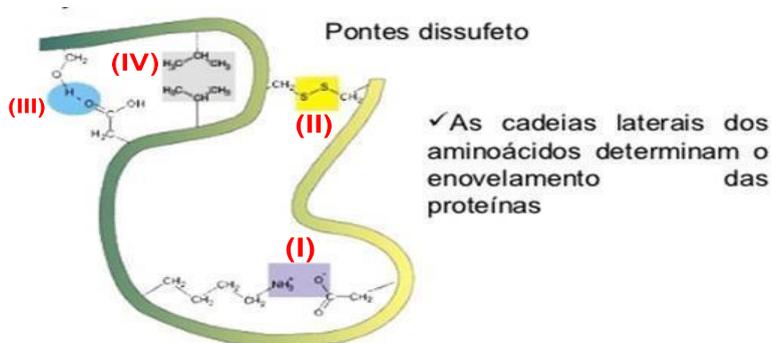
25. Três frascos, A, B e C, contém óleo vegetal (soja), mel de abelha e etanol, não necessariamente, nessa ordem. Para analisar a viscosidade dos produtos foram colocados ao mesmo tempo, 3 bolinhas de gude idênticas (uma em cada frasco). O tempo de descida da bolinha em cada frasco pode ser analisado pela figura abaixo.



Conforme a análise da figura acima, podemos afirmar que:

- A - óleo vegetal; B - mel de abelha e C - etanol.
- A - mel de abelha; B - óleo vegetal e C - etanol.
- A - etanol; B - mel de abelha e C - óleo vegetal. A
- A - etanol; B - óleo vegetal e C - mel de abelha. A
- A - mel de abelha; B - etanol e C - óleo vegetal.

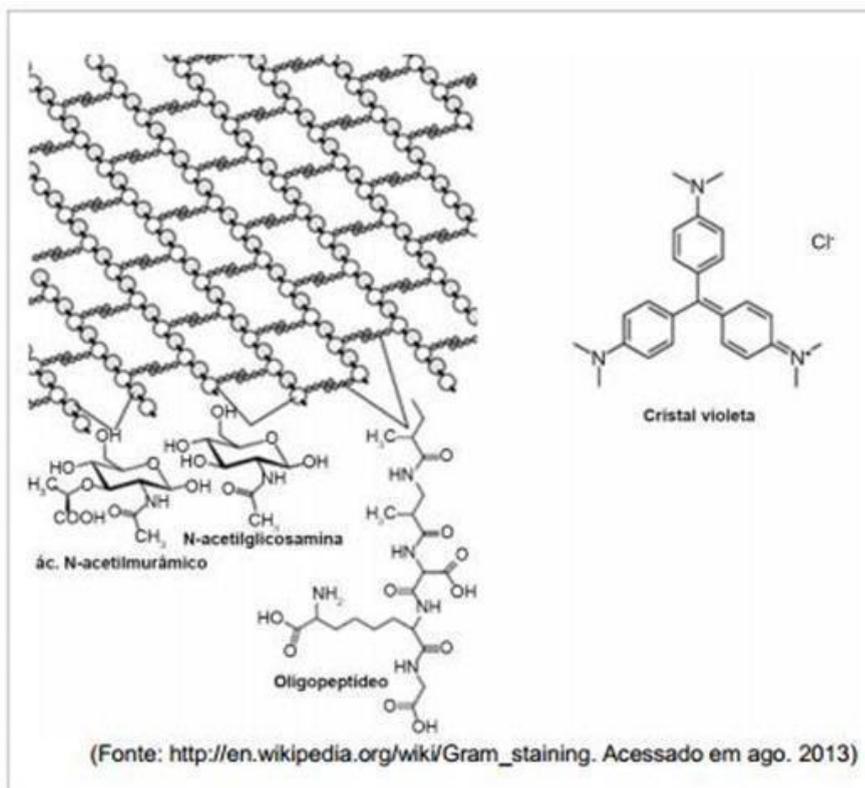
26. No enovelamento de uma proteína há formação de ligações químicas e/ou interações dentre os diversos grupos no polipeptídeo. Identificadas numericamente, na figura abaixo, de I a IV.



As interações identificadas pelos números III e IV, respectivamente, são:

- Dipolo - dipolo e Força de London
- Íon - dipolo e dipolo - dipolo induzido.
- Ligação de hidrogênio e Força de London.
- Íon - dipolo induzido e dipolo - dipolo.
- Ligação de hidrogênio e íon - dipolo induzido.

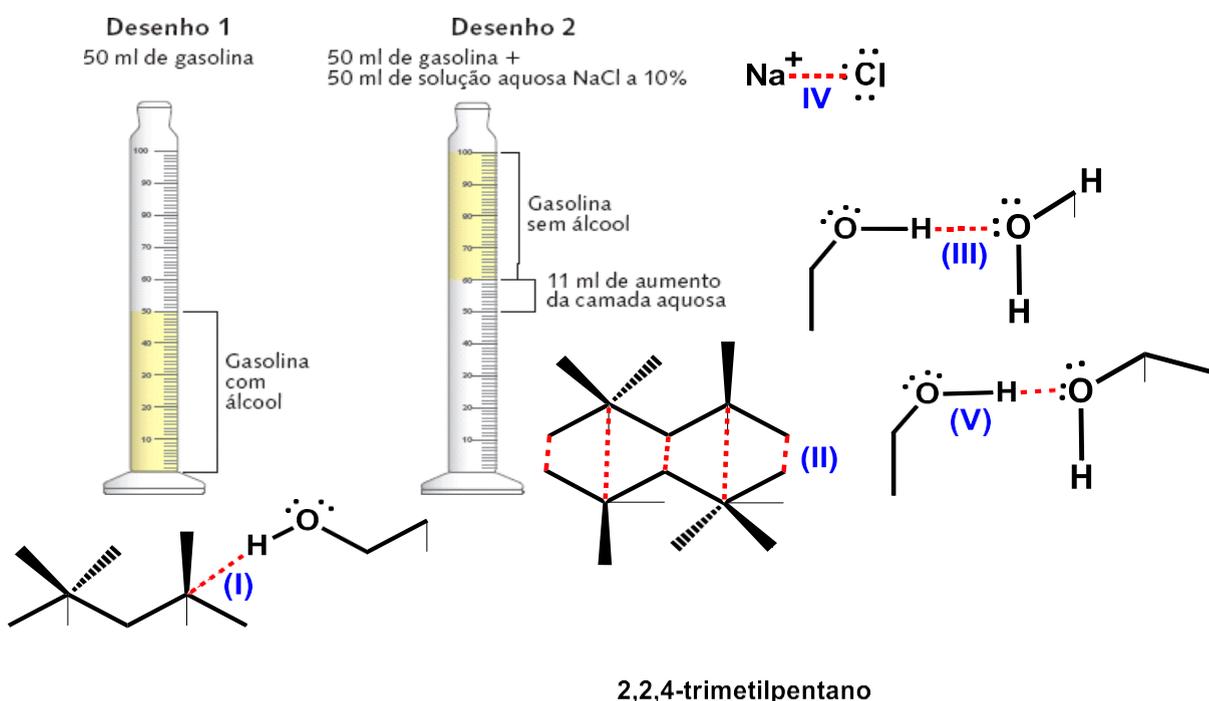
27. A coloração de Gram é um importante método empregado na microbiologia, que permite diferenciar bactérias em duas classes – as Gram-positivas e Gram-negativas – em função das propriedades químicas da parede celular. As bactérias Gram-positivas possuem na parede celular uma camada espessa de peptidoglicano, que é uma rede polimérica contendo açúcares (N-acetilglicosamina e ácido N-acetilmurâmico) e oligopeptídeos, enquanto as bactérias Gram-negativas contêm uma camada fina. Na coloração de Gram utiliza-se o cristal violeta (cloreto de hexametilpararoanilina), que interage com o peptidoglicano. A adição de iodeto causa a precipitação do corante e as partículas sólidas ficam aprisionadas na rede polimérica, corando a parede celular. Ao lado estão esquematizadas a rede polimérica do peptidoglicano e as estruturas das espécies envolvidas.



A partir das informações fornecidas, é correto afirmar que a principal interação entre o cristal violeta e a parede celular é:

- interação íon-dipolo.
- ligação de hidrogênio
- interação íon-dipolo instantâneo
- interação dipolo-dipolo
- interação dipolo-dipolo instantâneo.

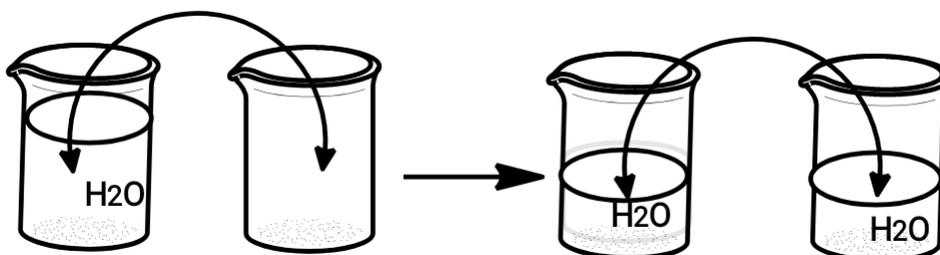
28. No processo de determinação do teor de álcool na gasolina comercial ocorre a extração do etanol por meio de uma solução aquosa de cloreto de sódio (Efeito salting out). Nesse processo o etanol forma com os componentes da solução salina interações com maior intensidade do que aquelas formadas anteriormente com a gasolina



Na figura há algumas das interações que estão presentes no processo. Todas as identificações abaixo estão corretas, exceto:

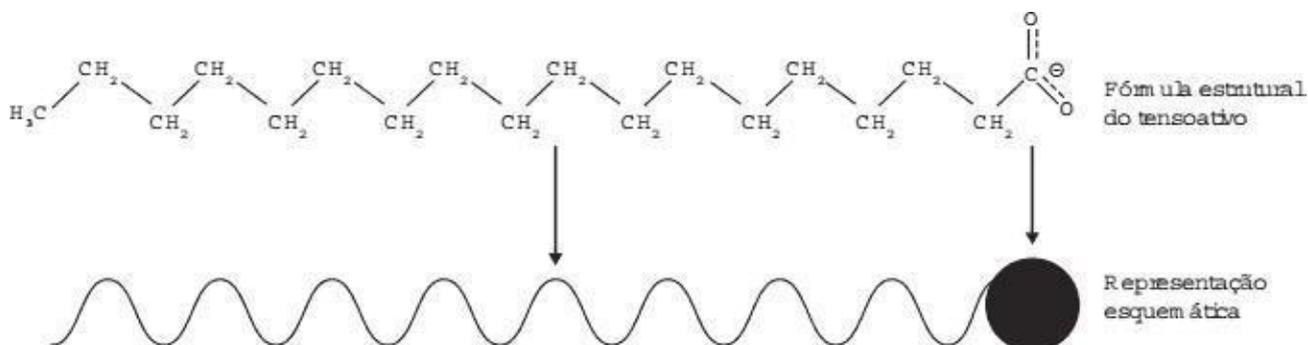
- I – dipolo induzido – dipolo
- II – dipolo induzido – dipolo induzido
- III – ligação de hidrogênio
- IV – íon – dipolo
- V – dipolo – dipolo

29. A figura mostra a transferência de água de um béquer para outro utilizando papel toalha. O processo é identificado como capilaridade que é possível porque

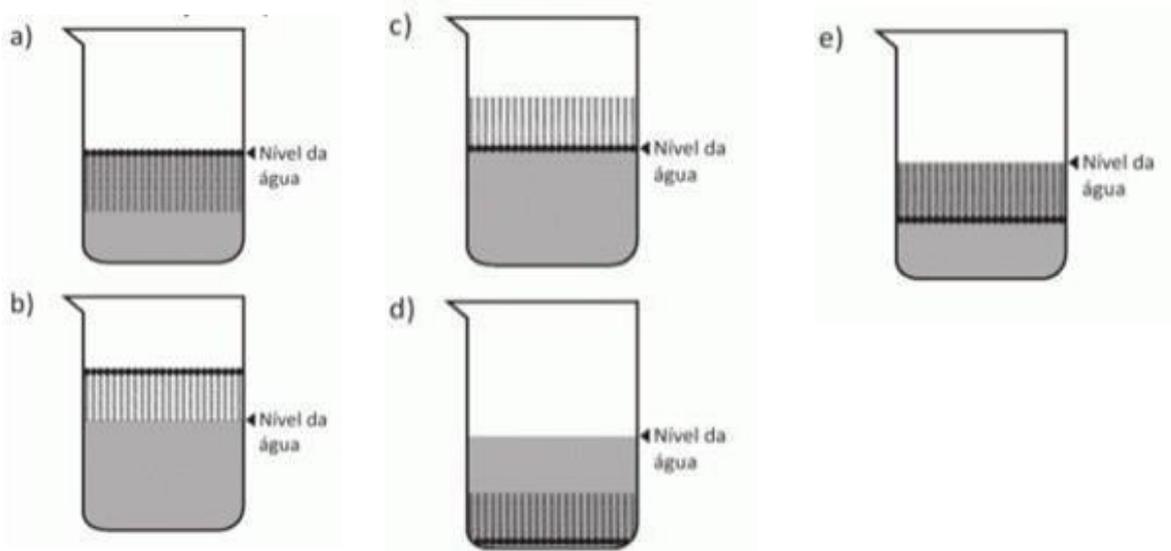


- a) a força de coesão entre os líquidos é maior do que a força de adesão com o papel.
- b) porque a força de coesão entre os líquidos é menor do que a força de adesão com o papel.
- c) porque a força de adesão entre os líquidos é menor do que a força de coesão com o papel.
- d) porque a força de adesão entre os líquidos é maior do que a força de coesão com o papel.
- e) porque a força de adesão entre os líquidos é igual do que a força de coesão com o papel.

30. Os tensoativos são compostos capazes de interagir com substâncias polares e apolares. A parte iônica dos tensoativos interage com substâncias polares, e a parte lipofílica interage com as apolares. A estrutura orgânica de um tensoativo pode ser representada por:



Ao adicionar um tensoativo sobre a água, suas moléculas formam um arranjo ordenado. Esse arranjo é representado esquematicamente por:



Nome:

RESPOSTAS

Preencha o quadrado da alternativa escolhida inteiramente



1	a	b	c	d	e
2	a	b	c	d	e
3	a	b	c	d	e
4	a	b	c	d	e
5	a	b	c	d	e
6	a	b	c	d	e
7	a	b	c	d	e
8	a	b	c	d	e
9	a	b	c	d	e
10	a	b	c	d	e
11	a	b	c	d	e
12	a	b	c	d	e
13	a	b	c	d	e
14	a	b	c	d	e
15	a	b	c	d	e
16	a	b	c	d	e
17	a	b	c	d	e
18	a	b	c	d	e
19	a	b	c	d	e
20	a	b	c	d	e
21	a	b	c	d	e
22	a	b	c	d	e
23	a	b	c	d	e
24	a	b	c	d	e
25	a	b	c	d	e
26	a	b	c	d	e
27	a	b	c	d	e
28	a	b	c	d	e
29	a	b	c	d	e
30	a	b	c	d	e

ANEXO A – ARTIGOS PUBLICADO

Interactions 500: Design, Implementation, and Evaluation of a Hybrid Board Game for Aiding Students in the Review of Intermolecular Forces During the COVID-19 Pandemic

José Nunes da Silva Júnior,* José Mariano de Sousa Oliveira, Jean-Yves Winum, Antonio José Melo Leite Junior, Francisco Serra Oliveira Alexandre, David Macedo do Nascimento, Ulisses Silva de Sousa, Antônia Torres Ávila Pimenta, and André Jalles Monteiro



Cite This: *J. Chem. Educ.* 2020, 97, 4049–4054



Read Online

ACCESS |



Metrics & More



Article Recommendations



Supporting Information

ABSTRACT: This paper provides information about a multilingual (Portuguese, English, Spanish, and French) hybrid board game composed of a physical board and an application for the Android and iOS platforms. The students' opinions were very positive regarding the design, content, playability, usability, and usefulness. Facing the disruption caused by the COVID-19 pandemic, 44 undergraduate students used the game to review concepts related to intermolecular forces in a fun way that promotes social cohesion. Assessment of learning revealed the game promotes learning as well as a regular problem-solving class and can be used as a complementary educational tool.

KEYWORDS: *First-Year Undergraduate/General, Organic Chemistry, Computer-Based Learning, Humor/Puzzles/Games, Noncovalent Interactions*



INTRODUCTION

Mastery of intermolecular forces allows students to understand a wide range of chemical phenomena. For example, physical properties of substances such as melting point, viscosity, solubility, vapor pressure, density, and surface tension, among others, can be explained through the interaction between the chemical species. Intermolecular forces also play an important role in biological phenomena like the interaction between drugs and receptors and in the maintenance of the three-dimensional structure of DNA. They are also crucial in understanding chromatographic separation techniques and fiber dyeing.

Many studies report intermolecular forces as a subject regarded as difficult and abstract by students who consider it challenging to understand macroscopic observations based on the microscopic world of molecules.^{1–11} On the other hand, educational literature also reports efforts by many researchers to develop instructional strategies and tools to help them overcome their difficulties in learning intermolecular forces.^{12–23}

In that sense, games are an active and social form of promoting the enjoyment of knowledge regarding the areas of motivation to learn.^{24–27} Despite many studies showing the positive effects of games, we found no reports of games that exclusively cover the subject of intermolecular forces.

The lack of a game that specifically addresses the content related to intermolecular forces motivated us to design

Interactions 500. It is a game used in the classroom in an activity that could bring students together, driving them to discuss and learn playfully.

THE GAME

Interactions 500 is a multilingual (Portuguese, English, Spanish, and French), free-of-charge, dynamic, and easy-to-play game that allows students to review concepts related to the intermolecular forces in a collaborative environment. It is a hybrid game composed of one physical board and one application developed by using the Unity Platform²⁸ for Android and iOS.

Playing the Game in the Classroom

Before the day of the activity, the instructor must print the board (Figure 1) and get the student's gaming pieces. In the classroom, the instructor gives a brief introduction explaining the rules that are available from the app. Afterward, the students form groups

Received: August 1, 2020

Revised: September 17, 2020

Published: October 7, 2020





Figure 1. Game board 1.

(2–5 players) for playing in a procedure similar to those of many other board games.

To start the game, all players of the group must open the *Interactions 500* app (Figure 2a) and position their gaming pieces on the initial position labeled “Start” on the board (Figure 1).

From the main screen of the application, the player can read the rules and credits, switch the language, print the board, and start the game. When the player clicks on the “Play” button, the app opens another screen (Figure 2b), where all players must insert the same code (any 3 digit number).

Afterward, the players click on the “Start” button. A card face off appears, which flips when the player clicks on it by revealing a statement that must be classified by students as true or false by clicking on True (T) or False (F) buttons.

After having selected their answer, the player must click on the “Answer” button to reveal whether the answer is correct. When the player is wrong, he/she must not move his/her piece. On the other hand, when the players respond correctly, the app makes a “Direction” button come out that will randomly indicate one of five possible directions, which will determine the path that the player will move their piece on the board (Figure 3).

The movement of the pieces on the board (Figure 6) follows some rules:

- If the piece stops on the bomb, it goes back to the start position or back vertically to different spaces, depending on the type of the bomb.
- If the piece stops on the river, it goes back to the start position.
- If the piece comes out from the side of the board, it re-enters at the opposite side in the same line.
- If the piece stops on an occupied space, it occupies the space and moves the other one position to the right.
- If the piece stops on a tunnel entrance, it moves to the exit of the tunnel.
- If the piece stops on the bridge, it moves to the other side of the bridge.
- The game follows this pattern and finishes when a player reaches the last line (trench) on the top of the board and becomes the winner.

Playing the Game Remotely

Initially, we developed the game to be used by students in the classroom. However, the interruption of face-to-face classes at

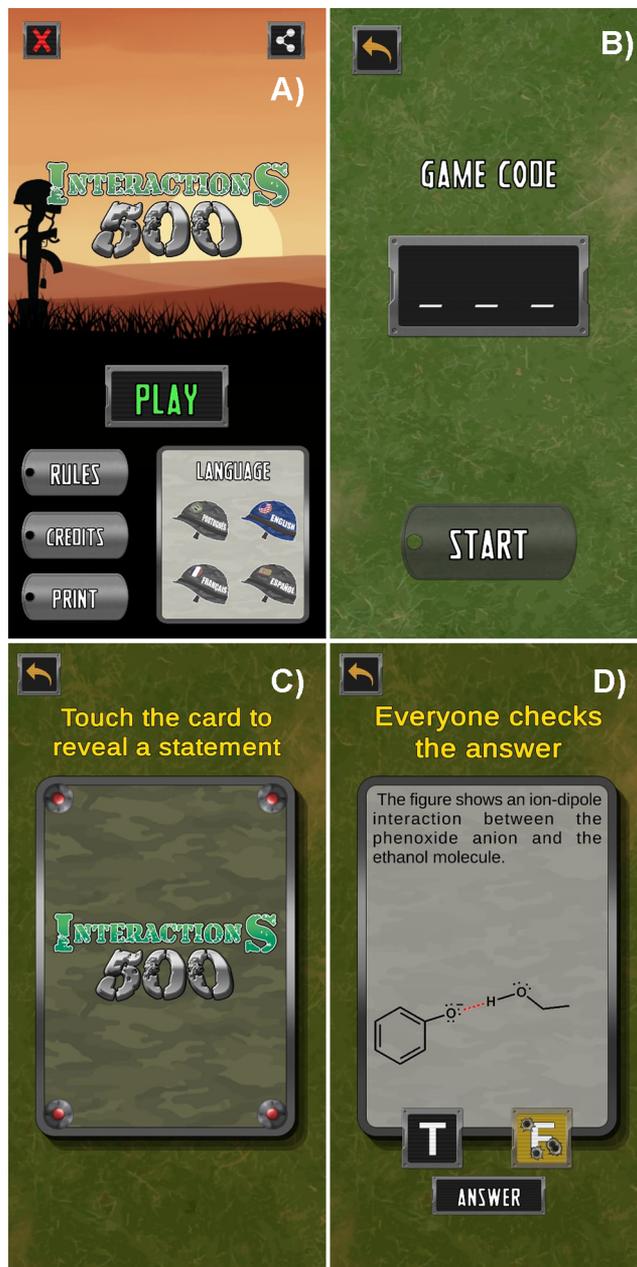


Figure 2. (A) Main screen. (B) Inputting the code screen. (C) Back card. (D) Front card.

our university due to the COVID-19 pandemic forced us to change our educational strategy.

We made a presentation file (.ppt) by inserting the board in the master slide (see Supporting Information). We asked students to form groups of 4–5 players and choose one of them to be the group leader, who would be responsible for the dynamics of the online game. Then, we sent the presentation file to the leaders and held an online meeting via Google Meet with them to introduce the game and explain its rules and their role as a leader during the game.

The leaders were responsible for creating a meeting room, where they would present the board from their computer screen to other members of the group. They were also responsible for coordinating the actions during the game, asking their colleagues to open the application to enter the same code and follow the game pace defined by the leader. Finally, the leaders were



Figure 3. (A) Checking the correct answer. (B) Path that the player will move their piece.

responsible for moving all players' pieces and motivating their colleagues to discuss each answer given by players to clarify any doubts.

There were 44 students (11 groups) who played the game remotely (Figure 4) for 3 h on average. The time spent in each match varied from 16 to 90 min (42 min on average).

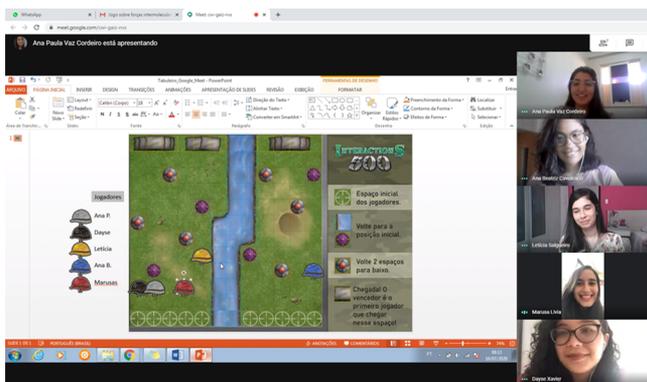


Figure 4. Students are playing the game remotely.

STUDENTS' OPINIONS

Design, Content, Playability, and Usefulness

There were 44 Brazilian pharmacy undergraduate students from the Federal University of Ceará who played the game. Afterward, they evaluated it by responding to an electronic survey, containing 15 statements, adopting a Likert-type scale²⁹ for four areas of interest: design, content, playability, and usefulness. Figure 5 presents all responses.

On the basis of the high level of agreement (totally agree and agree) of the students with the statements provided, we can affirm, with reasonable accuracy, that they evaluated the game very positively in terms of its design, content, game play, and usefulness as an educational tool.

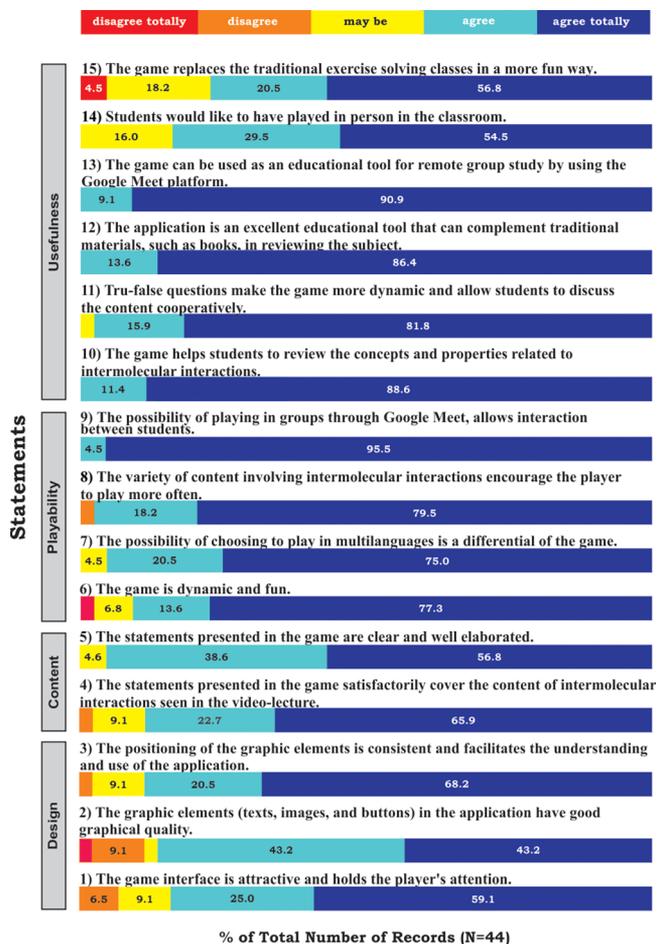


Figure 5. Pharmacy undergraduate students' opinions ($N = 44$): distribution of Likert categories.

The students also commented on their experiences of using the game remotely, which, in general, was very positive for their learning. We reproduce three of these comments below.

"The activity was very good, as it stimulates learning and deepening knowledge about the content of intermolecular forces, in addition to being quite fun, since we play with colleagues. Having the possibility to listen to the explanation of colleagues when we make a mistake in the game is also something that contributes in a very positive way in the learning process. In general, I just have to say that this activity was very profitable and enjoyable!"

"The game Interacciones 500 is interesting and very useful for learning, reviewing and answering questions about the content of intermolecular interactions with friends in a relaxed and accessible way, especially during the social isolation. Composed of questions T or F, straightforward rules, and an excellent bank of well-elaborated questions, the group debate after the rounds enriches and adds a lot of the members' knowledge and friendship. Besides, the strategy of adopting Google Meet, or similar applications, is great for facilitating communication, interaction, and debate between team members remotely."

"Studying intermolecular forces with classmates, using the application "interactions 500" and with the help of technology, made possible a more fun and productive study, as the game allows us not only to test our knowledge but also to discuss theoretical issues playfully and dynamically, which makes time directed to learning and not to a competition, in which the goal is just to win the game. Therefore, I found the activity proposed by the teacher fascinating, since it brings a new and promising look to education".

Although almost all the comments have been positive, some students left suggestions to improve the game. Some of these comments are below.

"Despite the advantages, some small improvements would be important. For example, including shortcuts or reducing the length of the river to avoid demotivation on the part of student players, because of the many obstacles present in the field that hinder the match's resolution. Anyway, the activity was excellent".

"It is necessary to rethink the board and create points that give advantages and disadvantages, such as the insertion of bridges in the river, tunnels, among others".

"If possible, some small changes could be very welcome, such as changes in the playing field, where the reduction and or reallocation of obstacles can make the game more dynamic".

On the basis of those suggestions, we designed a second board (Figure 6) in which there is a smaller number of bombs, and



Figure 6. Game board 2.

there are three bridges and four tunnels. All of these changes make the game even more enjoyable for students. Both boards (Figures 1 and 6) are available for printing from the application.

Usability

Usability is a quality attribute that assesses how easy user interfaces are to use, enabling users to achieve goals effectively, efficiently, and with satisfaction, taking into account the context of use. Considering that players are a particular kind of user, we adopted the SUS (system usability scale) to evaluate the game usability. This scale allows for assessing products and services, including hardware, software, mobile devices, websites, and applications.^{30–33}

It consists of a 10 item questionnaire (see Supporting Information) with five response options, from "strongly agree" (value 5) to "strongly disagree" (value 1). The participant's scores for each question are converted to a number (from 1 to

5), added together, and then multiplied by 2.5 to convert the original scores of 0–40 to 0–100. On the basis of historical research, an SUS score above 68 would be considered above average, and anything below 68 would be below average.³⁴ More specifically, an SUS score ranging from 0 to 100 is associated with a 7 point adjective rating scale: worst imaginable (12.5), awful (20.3), poor (35.7), ok (50.9), good (71.4), excellent (85.5), or best imaginable (90.9).³⁴

The Interactions 500s SUS Score was 92.56, and its standard deviation was 9.37. This result shows the game has "best imaginable" usability. Given that only our students, who were immersed in the activity, responded to the survey, the score obtained may be somewhat inflated.

ASSESSMENT OF LEARNING

Instructional Role of the Game: Methodology

To assess whether the game is a complementary educational tool that can aid students to learn, we conducted an experimental study using a controlled pretest and posttest with 30 questions (see Supporting Information). We randomly chose pharmacy and dentistry undergraduate students from two classes enrolled in courses of Organic Chemistry I at the Federal University of Ceará to compose one experimental group (EG, $N = 44$) and one control group (CG, $N = 40$), respectively.

We compared the evolution of the students' average scores, between the pre- and posttests, of the group that used the game to review the content (EG) with the group that had a problem-solving class to review the content related to intermolecular forces (CG). Figure 7 summarizes the methodology used to assess the learning.

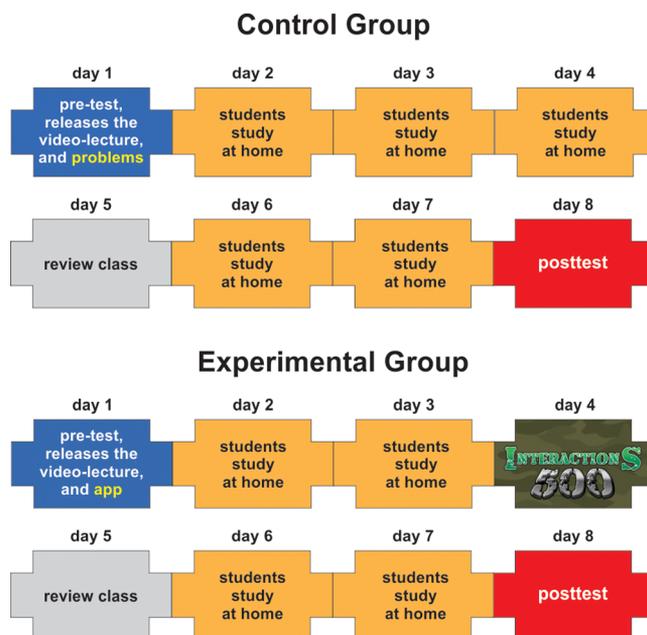


Figure 7. Methodology used to assess the instructional role of the game.

Before any lecture about the intermolecular force theory, we administered a pretest to two groups on "day 1" to verify the students' knowledge about the subject. Immediately after the pretest, we released a video lecture³⁵ that covers the intermolecular forces. In addition, we also only provided the application to experimental groups (EG), while the control

groups (CG) received a list composed of 30 problems to aid them in their studies.

Afterward, all students from both two groups had 6 days to study at home. However, there was a significant difference: the students from the experimental group formed small groups (4–5 students) and played the game remotely in “day 4”. In contrast, the control group members studied alone at home by solving the list of problems received in the classroom under the professor’s supervision, who gave feedback to students about their doubts when asked. Both groups also had an online review class for 90 min in “day 5”, when the professor clarified any doubts the students had.

In “day 8”, all students from both groups took part in a posttest whose level was similar to that of the pretest. The students answered 30 questions on the topics addressed in the video lecture. The students had 90 min to complete both pretest and posttest.

The posttest aimed to verify whether there was a significant difference between students’ learning of intermolecular forces by using the game as an alternative method for reviewing the contents taught in the video lecture compared to the students’ learning who had studied the content by solving a traditional list of problems.

Instructional Role of the Game: Statistical Analysis

A Student’s *t* test was completed to compare whether there were average score differences between the pre- and posttest between the EG and CG groups for independent samples (Table 1).

Table 1. Comparison of Student Performance Relative to the Use of the Application

Test	Group	<i>N</i>	Mean ^a	Standard Deviation	<i>t</i>	<i>p</i> Value
Pretest	EG	40	5.87	1.394	0.02	0.9805
	CG	36	5.86	1.662		
Posttest	EG	40	8.70	1.138	0.12	0.9011
	CG	36	8.66	1.384		
Difference	EG	40	2.83	1.393	0.08	0.9340
	CG	36	2.80	1.491		

^aThe scores have a range of 0–10.

The EG and CG groups presented similar averages in the pretest ($p = 0.9805$) and the posttest ($p = 0.9011$). Both groups improved their scores by around 2.8 points. The EG and CG groups were similar concerning the increase in grades ($p = 0.9340$).

Therefore, the findings suggest that we can use *Interactions 500* as an educational tool to aid students in reviewing topics related to intermolecular forces. The game promotes student learning that is similar to that seen in conventional problem-solving classes massively used in Brazilian universities. Nevertheless, only the game encourages the integration of students in a pleasant learning environment. Out of the 40 students who played the game (EG), all reported they preferred playing the game to participating in a regular problem-solving class.

FINAL CONSIDERATIONS AND FUTURE WORK

Games are excellent educational tools that allow students to learn complex content in fun activities, promoting cooperation between students and the consequent collective learning.

Students accepted *Interactions 500* very well as an educational tool. At the same time, the results revealed that the game also

promoted student learning as a conventional exercise-solving class.

Those findings encourage the design of a version 2.0 of the game, which will be 100% digital by integrating the board to the application and allowing students to connect with their colleagues through the app.

Although we believe it is not necessary to include in the current article, we intend to collect and record student discussions to understand how they used the game in their studies. The results will be reported in the next paper.

ASSOCIATED CONTENT

Supporting Information

The Supporting Information is available at <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.0c01025>.

Game screens, rules, and surveys (PDF, DOCX)

AUTHOR INFORMATION

Corresponding Author

José Nunes da Silva Júnior – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil; orcid.org/0000-0002-6631-4382; Email: nunes.ufc@gmail.com

Authors

José Mariano de Sousa Oliveira – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil

Jean-Yves Winum – Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Montpellier, 34095 Montpellier, France; Institut des Biomolécules Max Mousseron, UMR 5247 CNRS, Université de Montpellier, ENSCM, 34095 Montpellier, France; orcid.org/0000-0003-3197-3414

Antonio José Melo Leite Junior – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil; orcid.org/0000-0002-5061-1489

Francisco Serra Oliveira Alexandre – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 60040-215 Fortaleza, CE, Brazil

David Macedo do Nascimento – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil; orcid.org/0000-0001-8425-1680

Ulisses Silva de Sousa – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil; orcid.org/0000-0002-5665-4383

Antônia Torres Ávila Pimenta – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil; orcid.org/0000-0002-1191-0363

André Jalles Monteiro – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza, CE, Brazil

Complete contact information is available at:

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.0c01025>

Notes

The authors declare no competing financial interest.

Interactions 500 is available: Android version, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.LDSE.i500>; iOS version, <https://apps.apple.com/br/app/interactions-500/id1509337864> (both accessed Jul 27, 2020).

ACKNOWLEDGMENTS

We acknowledge the pharmacy and dentistry undergraduate students' participation from the Federal University of Ceará (Brazil) who participated in this work.

REFERENCES

- (1) Cooper, M. M.; Williams, L. C.; Underwood, S. M. Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92* (8), 1288–1298.
- (2) Cooper, M. M.; Williams, L. C.; Underwood, S. M.; Klymkowsky, M. W. Are Noncovalent Interactions an Achilles Heel in Chemistry Education? A Comparison of Instructional Approaches. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92* (12), 1979–1987.
- (3) Treagust, D. F. Development and Use of Diagnostic Tests to Evaluate Students' Misconceptions in Science. *Int. J. Sci. Educ.* **1988**, *10* (2), 159–169.
- (4) Peterson, R. F.; Treagust, D. F. Grade-12 Students' Alternative Conceptions of Covalent Bonding and Structure. *J. Chem. Educ.* **1989**, *66* (6), 459–460.
- (5) Peterson, R. F.; Treagust, D. F.; Garnett, P. Development and Application of a Diagnostic Instrument to Evaluate Grade-11 and Grade-12 Students' Concepts of Covalent Bonding and Structure Following a Course of Instruction. *J. Res. Sci. Teach.* **1989**, *26* (4), 301–314.
- (6) Taber, K. S. Student Understanding of Ionic Bonding: Molecular Versus Electrostatic Framework? *Sch. Sci. Rev.* **1997**, *78* (285), 85–95.
- (7) Boo, H. K. Students' Understanding of Chemical Bonding and Energetics of Chemical Reactions. *J. Res. Sci. Teach.* **1998**, *35* (5), 569–581.
- (8) Tan, K. C. D.; Treagust, D. F. Evaluating Students' Understanding of Chemical Bonding. *Sch. Sci. Rev.* **1999**, *81* (294), 75–84.
- (9) Barker, V.; Millar, R. Students' Reasoning About Basic Chemical Thermodynamics And Chemical Bonding: What Changes Occur During a Context-Based Post-16 Chemistry Course? *Int. J. Sci. Educ.* **2000**, *22* (11), 1171–1200.
- (10) Monteserin, H.; Torres, N.; Landau, L.; Baumgartner, E. Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de Obstáculos que Dificultan su Aprendizaje Significativo. *Educ. Quim.* **2010**, *21* (3), 212–218.
- (11) Schmidt, H.-J.; Kaufmann, B.; Treagust, D. F. Students' Understanding of Boiling Points and Intermolecular Forces. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, *10* (4), 265–272.
- (12) Venkataraman, B.; Gottschalk, E. Visualizing Dispersion Interactions. *J. Chem. Educ.* **2014**, *91* (5), 666–672.
- (13) Shusterman, G. P.; Shusterman, A. J. Teaching Chemistry with Electron Density Models. *J. Chem. Educ.* **1997**, *74*, 771–776.
- (14) Sanger, M. J.; Badger, S. M., II. Using Computer-Based Visualization Strategies To Improve Students' Understanding of Molecular Polarity and Miscibility. *J. Chem. Educ.* **2001**, *78*, 1412–1416.
- (15) Burkholder, P. R.; Purser, G. H.; Cole, R. S. Using Molecular Dynamic Simulations To Reinforce Student Understanding of Intermolecular Forces. *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 1071–1077.
- (16) Schultz, E. Simple Dynamic Models for Hydrogen Bonding Using Velcro-Polarized Molecular Models. *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 401–405.
- (17) Peckham, G. D.; McNaught, I. J. Teaching Intermolecular Forces to First-Year Undergraduate Students. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89* (7), 955–957.
- (18) Antunes, M.; Pacheco, M. A. R.; Giovanela, M. Design and Implementation of an Educational Game for Teaching Chemistry in Higher Education. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89* (4), 517–521.
- (19) Silva Júnior, J. N.; Barbosa, F. G.; Mafezoli, J.; Lima, M. A. S.; Alexandre, F. S. O.; Almeida, D. M.; Leite Junior, A. J. M. Interactions: Design, Implementation, and Evaluation of a Computational Tool for Teaching Intermolecular Forces in Higher Education. *Quim. Nova* **2015**, *38* (10), 1351–1356.
- (20) Karakaş, M. Teaching Intermolecular Forces with Love Analogy: A Case Study. *Chemistry. Bulg. J. Sci. Educ.* **2012**, *21* (3), 341–348.
- (21) Ayres, C.; Ferreira, C.; Agnaldo Arroio, A. The Usage of a Simulation to Study Intermolecular Forces: Some Findings. *Probl. Educ. 21st Century* **2010**, *24*, 19–29.
- (22) Tarhan, L.; Ayar-Kayali, H.; Urek, R. O.; Acar, B. Problem-Based Learning in 9th Grade Chemistry Class: Intermolecular Forces. *Res. Sci. Educ.* **2008**, *38*, 285–300.
- (23) Tobias, S.; Fletcher, J.; Dai, D. Y.; Wind, A. P. Review of research on computer games. In *Computer Games and Instruction*; Tobias, S., Fletcher, J. D., Eds.; Information Age Publishing, 2011; pp 127–222.
- (24) Connolly, T. M.; Boyle, E. A.; MacArthur, E.; Hailey, T.; Boyle, J. M. A Systematic Literature Review of Empirical Evidence on Computer Games and Serious Games. *Computers & Education* **2012**, *59* (2), 661–686.
- (25) Ke, F. A Qualitative Meta-analysis of Computer Games as Learning Tools. In *Handbook of Research on Effective Electronic Gaming in Education*; Ferdig, R. E., Ed.; IGI Global: Hershey, PA, 2009; Vol. 1, pp 1–32.
- (26) Lee, K. M.; Peng, W. What Do We Know About Social and Psychological Effects of Computer Games? A Comprehensive Review of Current Literature. In *Playing Video Games, Motives, Responses, and Consequences*; Vorderer, P., Bryant, J., Eds.; Lawrence Erlbaum Associates: Mahwah, NJ, 2006; pp 325–346.
- (27) Vogel, J. J.; Vogel, D. S.; Cannon-Bowers, J.; Bowers, C. A.; Muse, K.; Wright, M. Computer Gaming and Interactive Simulations for Learning: a Meta-analysis. *J. Educ. Comput. Res.* **2006**, *34* (3), 229–243.
- (28) Unity Technologies homepage. <https://unity3d.com/> (accessed Jul 2020).
- (29) Likert, R. A Technique for the Measurement of Attitudes. *Arch. Psychol.* **1932**, *22* (140), 55.
- (30) Nielsen, J. *Usability Engineering*; Morgan Kaufmann, 1994.
- (31) Brooke, J. SUS: a quick and dirty' usability. In *Usability Evaluation in Industry*; Jordan, P. W., Thomas, B., McClelland, I. L., Weerdmeester, B., Eds.; Routledge: 1996; p 189.
- (32) Brooke, J. SUS: a retrospective. *Journal of Usability Studies* **2013**, *8* (2), 29–40.
- (33) ISO. 9241-11 (2018) Ergonomics of human-system interaction-part 11: usability: definitions and concepts. 2018. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso9241.11>.
- (34) Bangor, A.; Kortum, P.; Miller, J. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J. Usability. Stud.* **2009**, *4* (3), 114–123.
- (35) <https://www.youtube.com/watch?v=WnMfc3aMWEA&t=36s/> (accessed Jul 27, 2020).

COVERAGE OF INTERMOLECULAR FORCES IN ORGANIC CHEMISTRY TEXTBOOKS

José Nunes da Silva Júnior,^{a,*} José Mariano de Sousa Oliveira,^a Francisco Serra Oliveira Alexandre^b and Antonio José Mello Leite Junior^c

^aDepartamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza – CE, Brasil

^bInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 60040-215 Fortaleza – CE, Brasil

^cUFC Virtual, Universidade Federal do Ceará, 60451-970 Fortaleza – CE, Brasil

Recebido em 19/03/2021; aceito em 12/04/2021; publicado na web em 12/05/2021

The paper analyzes fifteen organic chemistry textbooks commonly used in Brazilian universities to examine intermolecular forces' coverage in them. The findings revealed that the intermolecular forces are spread over a few pages (less than 1%) in a fragmented way, and over several chapters that do not provide enough information to help create a clear image in the student's mind. Thirteen textbooks contained end-of-chapter problems related to intermolecular forces. However, less than 1.3% of the total (212) are associated with intermolecular forces. This deficient approach to intermolecular forces in Organic textbooks can lead to teachers' lack of interest in teaching the subject, leading to students failing to learn this important organic chemistry topic.

Keywords: intermolecular forces; organic chemistry; textbooks.

INTRODUCTION

Intermolecular forces (IMFs) are weak attractive forces used to explain the attraction between particulate matter. They are responsible for many phenomena in our lives, like the effects of adsorption (chromatography) and viscosity, adhesion, cohesion, differences in melting and boiling points, physical states of the compounds, solubility, among many other observations.

The mastery of intermolecular forces is crucial to chemistry students because the IMFs play a central role in predicting and explaining how molecular-level systems behave in chemical and biological systems. Thus, the importance and diversity of IMFs make them a valuable component of curricula in chemistry, biochemistry, and biology courses.

Unfortunately, authors have reported students' difficulties understanding the concepts of particulate matter and the intermolecular forces.¹⁻¹⁷ Also, students have problems understanding how molecules are held together without chemical bonds between them,^{1,2} melting and boiling processes,^{7,8} and rarely can draw and explain the types of IMFs between chemical species.^{9,10}

Although study guides, solution manuals, websites, and applications are increasingly used as complementary educational tools by instructors in their disciplines, textbooks still play a vital role in determining course curricula, both in specific content and pedagogical approaches.

Dense courses like Chemistry, a content-filled subject, make most instructors derive their course material directly from textbooks by considering their coverage and presenting the contents.¹⁸ The best option will be that one that motivates students to spend the highest time interacting with the book.

This study analyzes organic chemistry textbooks to determine common patterns and assess how they introduce the intermolecular forces' contents. Moreover, the manuscript's information can help organic chemistry instructors choice about adopting an organic chemistry textbook considering the IMFs content.

BACKGROUND

Professors' opinions

In over two decades of teaching intermolecular forces in organic chemistry courses in Brazilian Universities, we considered this subject poorly presented in the textbooks. That made it difficult for us to explore that subject properly. To investigate whether this is a personal complaint or if other colleagues shared this same dissatisfaction, we invited Brazilian and French professors to answer an electronic form with problems on the topic.

We asked professors two main questions:

- Do you consider the intermolecular forces an important content in organic chemistry?
- How do you evaluate the way how textbooks present the intermolecular forces?

One hundred and eleven Brazilian (from twenty-five universities)¹⁹ and twenty French professors (from six French universities)²⁰ answered the electronic form, and the results are in Table 1.

Table 1. Brazilian and French professors' evaluations of the content of intermolecular forces in the organic chemistry textbooks

Rating	Brazilian (%) (N =111)	French (%) (N =20)
Excellent	1.80	0.00
Good	31.53	20.00
Average	51.35	50.00
Bad	13.51	25.00
Awful	1.81	5.00

All professors considered the intermolecular forces an important subject in organic chemistry. However, only 66.67% of the Brazilian professors and 80.00% of the French professors considered average/bad/awful how the organic chemistry textbooks present the intermolecular forces. The survey's results motivated us to investigate the IMFs in more detail in widely adopted organic chemistry textbooks in Brazil.

*e-mail: nunes.ufc@gmail.com

ORGANIC CHEMISTRY TEXTBOOKS

We analyzed fifteen organic chemistry textbooks (Table 2) currently used by Brazilian professors to prepare their lectures.

Although all analyzed textbooks present intermolecular forces, the examination of Table 1 revealed that they do that in a small number of pages (0.9% on average). Besides, topics related to intermolecular forces are spread over several chapters (4.8 on average) in all books, with no specific chapter to address the theme. This weak approach to intermolecular forces in textbooks can lead to teachers' lack of interest in teaching the subject, failing to learn this vital organic chemistry topic.

COVERAGE OF TOPICS RELATED TO INTERMOLECULAR FORCES

We have also surveyed the organic chemistry textbooks currently used in Brazilian universities to reveal which topics related to the intermolecular forces are included in them. We analyzed 34 issues distributed in five categories: i) types; ii) physical properties; iii) biomolecules; iv) analytical techniques; and (v) other. Tables 3-8 summarize the results of the search.

Types of intermolecular forces

Table 4's data reveals that textbooks introduce five types of intermolecular forces (hydrogen bonds; London forces; dipole-dipole; ion-dipole, and dipole-induced dipole) in different ways.

86.7% of the books present hydrogen bonding and provide examples. However, 13.3% of them only offer examples of this type of interaction but do not explain it. 80.0% of the books present the London forces. While 80% of the books explain and provide examples of London forces, 6.7% of the books only introduce the dipole-dipole interactions by giving examples, and no explanation is given.

93.3% of the books present the ion-dipole interactions. However, only 40% of the books explain and provide examples of this type of interaction, while 53.3% show examples to introduce the interaction with no explanation.

Only 13.4% of the books present the dipole-induced dipole interaction, while the ion-induced dipole interaction is not present in any book.

Physical properties

Physical properties are closely related to organic compounds' physical properties; however, organic chemistry textbooks present (or not) them in very different ways (Table 5). Melting point, boiling point, and solubility are the physical properties presented in most books: 93.3%, 93.3%, and 100.0%, respectively. These physical properties are explained with examples, figures, and graphs and are usually introduced in those chapters which present the functional groups.

Density is a topic present in 60% of the books. However, only 40% of the books explain this property and provide examples. In 20% of the books, density is mentioned without defining its relationship with the intermolecular forces.

Other physical properties, such as vapor pressure, surface tension, adhesion-cohesion, capillarity, and viscosity, are not mentioned in at least 80.0% of the books surveyed. Besides, in none of the cases, the books explain the relationship between these properties and the intermolecular forces neither provide any examples. Some textbooks introduce those physical properties (except adhesion-cohesion) through examples, but no explanation is given.

Biomolecules

Biomolecules are closely related to the intermolecular forces. IMFs are responsible for attractive forces between the biomolecules and other 3D structures like DNA, proteins, and drugs. Table 6 shows that at least 80.0% of the books present all seven biomolecules by relating them to IMFs in different ways. Besides, 86.7% of the books introduce interactions between drugs and receptors; however, 20.0% of this total only present examples of interactions between drugs and receptors but do not explain the intermolecular forces' action. The same takes place with four other biomolecules in 6.7% of the books.

Table 2. Comparison of total of pages, number of pages on IMFs, number of chapters covering any topic related to the IMFs, and number of problems related to the IMFs in organic chemistry surveyed

Author	Publisher	Edition	Total Pages	Total Problems	IMFs Pages ^a	IMFs Topics ^b	IMFs Chapters ^c	IMFs Problems ^d
Brown, W. H. ²¹	Cengage	6 th	1194	1463	14	9	12	44
Bruice, P. Y. ²²	Pearson	7 th	1293	1918	14	11	6	21
Carey, F. A. ²³	McGraw-Hill	7 th	1229	1435	17	7	12	09
Clayden, J. ²⁴	Oxford	1 st	1512	585	7	5	5	00
Hoffmann, R. V. ²⁵	Wiley	2 nd	476	94	1	1	1	00
Jones Jr., M. ²⁶	W. W. Norton	4 nd	1220	1467	3	3	1	04
Klein, D. ²⁷	Wiley	1 st	1295	1895	11	6	2	11
Loundon, G. M. ²⁸	W. H. Freeman	6 th	1485	1837	28	5	2	32
McMurry, J. ²⁹	Cengage	8 th	1262	1842	5	4	3	03
McMurry, J. ³⁰	Cengage	2 nd	1044	1384	5	6	3	03
Smith, J. G. ³¹	McGraw-Hill	3 rd	1178	2149	25	14	8	51
Solomons, T. W. G. ³²	Wiley	10 th	1164	1266	9	9	1	12
Stowell, J. C. ³³	Wiley	3 rd	335	230	1	1	1	01
Vollhardt, P. ³⁴	W. H. Freeman	6 th	1270	1702	14	8	9	06
Wade Jr., L. G. ³⁵	Pearson	6 th	1262	1417	14	4	6	15

^a Number of pages related to IMFs ^b Number of topics related to IMFs ^c Number of chapters covering any topic related to the IMFs ^d Number of problems related to the IMFs.

Table 3. Distribution of intermolecular forces topics coverage in surveyed organic chemistry textbooks

Category	Topics	Textbooks														
		Brown ²¹	Bruice ²²	Carey ²³	Clayden ²⁴	Hoffmann ²⁵	Jones Jr. ²⁶	Klein ²⁷	Loundon ²⁸	McMurry ²⁹	McMurry ³⁰	Smith ³¹	Solomons ³²	Stowell ³³	Vollhard ³⁴	Wade Jr. ³⁵
Types	London forces	A	A	A	0	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Dipole-dipole	A	A	A	0	0	B	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Hydrogen bonding	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A
	Dipole-induced dipole	0	0	A	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0	0
	Ion-dipole	B	A	A	B	B	B	B	A	B	0	A	A	B	A	B
	Ion-induced dipole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Physical proprieties	Boiling point	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Melting point	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Solubility	A	A	A	B	B	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A
	Density	A	0	B	0	0	B	0	A	B	0	A	A	0	A	A
	Meniscus and drop format	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
	Vapour pressure	B	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0	0	0	B	0
	Dyes and dyeing	B	0	0	B	0	0	0	B	0	0	A	A	0	B	B
	Salting-out effect	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Surface tension	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	B	0
	Adhesion-cohesion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capilarity	0	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viscosity	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	B	
Biomolecules	Cellulose and Starch	A	A	A	A	0	B	A	A	0	A	A	A	0	A	A
	Carbohydrates	A	A	A	A	0	B	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Fatty acids-Soap-Micelles	A	A	A	A	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Cell membranes	A	A	A	A	0	B	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	DNA	A	A	A	A	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Enzymes	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Proteins	A	A	A	B	0	A	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	Polymers	A	A	A	A	0	A	A	B	B	B	A	B	0	A	A
	Drugs-receptors	A	A	A	A	0	A	A	B	B	B	A	A	0	A	A
An. Tech.	Infrared	A	A	A	A	B	0	A	A	A	A	A	A	0	A	A
	NMR	A	A	A	0	0	A	0	A	0	0	A	A	0	A	A
	Paper chromatography	0	A	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0	0
	Chromatography - TLC	0	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chromatography - Column	A	A	A	A	B	A	C	A	A	A	0	A	B	B	A
Electrophoresis	A	A	A	0	0	A	A	0	A	A	0	A	0	A	A	
Other	Graphite	B	B	B	B	0	B	A	B	0	0	A	A	0	B	A
	Crown ether	A	A	A	A	0	A	A	A	A	0	A	A	0	A	A

Notation: A: Topic is explained, and example(s) are provided; B: Topic is not explained, but provide examples; C: Topic is explained, but examples are not provided; 0: Topic is not covered.

Analytical Techniques

Infrared, nuclear magnetic resonance (NMR), chromatography, and electrophoresis are analytical techniques closely related to the intermolecular forces. For example, in infrared, the O-H stretching of alcohol results in broad bands (3200-3550 cm^{-1}) when alcohol bonds intermolecularly to another by hydrogen bonding. The chemical shift of hydrogens bonded to oxygen atoms varies if hydrogen is interacting intermolecularly with the solvent. All chromatographic techniques (paper, column, TLC, electrophoresis, among others) promote the

separation of organic compounds based on the different types of attraction forces between the organic compound (in the mobile phase) and the stationary phase.

Table 7 shows that the influence of intermolecular forces on infrared spectra is mentioned in 86.7% of the textbooks surveyed. In 80.0% of them, the content is explained by providing examples. In comparison, in 6.7% of the books, the bandwidth phenomenon is presented by showing examples without any explanation related to the hydrogen bonding.

The intermolecular forces are present in only 60% of the textbooks

Table 4. Percentage distribution of coverage on types of intermolecular forces in textbooks

Type of Interactions	Types of Coverage ^a			
	%A	%B	%C	%0
Ion-induced dipole	0.0	0.0	0.0	100.0
Hydrogen bonding	86.7	13.3	0.0	0.0
London forces	80.0	0.0	0.0	20.0
Dipole-dipole	73.3	6.7	0.0	20.0
Ion-dipole	40.0	53.3	0.0	6.7
Dipole-induced dipole	6.7	6.7	0.0	86.6

^aNotation: A: Topic is explained, and example(s) are provided; B: Topic is not explained, but provide examples; C: Topic is explained, but examples are not provided; 0: Topic is not covered.

Table 5. Percentage distribution of coverage on physical properties in textbooks

Physical Properties	Types of Coverage ^a			
	%A	%B	%C	%0
Boiling point	80.0	13.3	0.0	6.7
Melting point	80.0	13.3	0.0	6.7
Solubility	73.3	26.7	0.0	0.0
Density	40.0	20.0	0.0	40.0
Vapor pressure	0.0	20.0	0.0	80.0
Surface tension	0.0	13.3	0.0	86.7
Adhesion-cohesion	0.0	0.0	0.0	100.0
Capilarity	0.0	6.7	0.0	99.3
Viscosity	0.0	13.3	0.0	86.7

^aNotation: A: Topic is explained, and example(s) are provided; B: Topic is not explained but provides examples; C: Topic is defined, but examples are not provided; 0: Topic is not covered. ^bForm of the meniscus and the drop.

Table 6. Percentual distribution of coverage on biomolecules in textbooks

Biomolecules	Types of Coverage ^a			
	%A	%B	%C	%0
DNA	86.7	0.0	0.0	13.3
Soap-Micelles	86.7	0.0	0.0	13.3
Proteins/Enzymes	86.7	6.7	0.0	6.6
Carbohydrates	80.0	6.7	0.0	13.3
Cell membranes	80.0	6.7	0.0	13.3
Cellulose and Starch	73.3	6.7	0.0	20.0
Drugs-receptors	66.7	20.0	0.0	13.3

^aNotation: A: Topic is explained, and example(s) are provided; B: Topic is not explained but provides examples; C: Topic is defined, but examples are not provided; 0: Topic is not covered.

Table 7. Percentage distribution of coverage on analytical techniques in textbooks

Analytical Techniques	Types of Coverage ^a			
	%A	%B	%C	%0
Infrared	80.0	6.7	0.0	13.3
NMR	60.0	0.0	0.0	40.0
Paper Chromatography	6.7	6.7	0.0	86.6
Chromatography - TLC	6.7	6.7	0.0	86.6
Column Chromatography	66.7	20.0	6.7	6.7
Electrophoresis	66.7	0.0	0.0	33.3

^aNotation: A: Topic is explained, and example(s) are provided; B: Topic is not explained but provides examples; C: Topic is explained, but examples are not provided; 0: Topic is not covered.

at the chapter that introduces the NMR. The forces of attractions are explained with the providing of examples.

86.6% of the books surveyed do not mention the paper chromatography and thin-layer chromatography (TLC) or any relation between them with the intermolecular forces. 86.7% of the books introduce column chromatography and explain its relationship with the intermolecular forces' influence on the process. However, 20.0% of the books just present the technique through examples without explaining the importance of intermolecular forces on separating compounds. Finally, only 66.7% of the books surveyed mention the electrophoresis as an analytical technique related to IMFs.

Other topics related to intermolecular forces

There are other topics related to intermolecular forces whose mastery is essential to the students (Table 8). For example, the intermolecular forces are crucial in the fiber dyeing process. The survey findings revealed that 53.3% of the textbooks do not cover that topic; 13.3% explain the occurrence of intermolecular forces between dyes and fibers and provide examples, and 33.3% of the books only provide examples but do not give any explanation on the influence of the IMFs on the dyeing process.

Table 8. Percentage distribution of other topics related to IMFs in textbooks

Topics	Types of Coverage ^a			
	%A	%B	%C	%0
Dyes and dyeing	13.3	33.3	0.0	53.3
Meniscus and drop ^b	6.7	0.0	0.0	93.3
Salting-out effect	0.0	0.0	0.0	100.0
Polymers	60.0	26.7	0.0	13.3

^aNotation: A: Topic is explained, and example(s) are provided; B: Topic is not explained but provides examples; C: Topic is explained, but examples are not provided; 0: Topic is not covered. ^bMeniscus and drop shapes.

The shape of meniscus and drops from different liquids depends on the balance between the cohesive and adhesive forces, strictly related to the IMFs. However, 93.3% of the textbooks also do not cover that topic. Only 6.7% of the books surveyed explain the format of meniscus and drops based on IMFs by providing examples.

The salting-out effect is an electrolyte–non-electrolyte interaction whose mastery would help students understand what happens when we add an aqueous saline solution to break the emulsion formed in the liquid-liquid extraction process. Unfortunately, none of the 15 textbooks surveyed covers that content.

Finally, polymers have properties that depend significantly on the forces that act between the chains. 86.7% of the books cover that topic. 60.0% of them explain it by providing examples, while 26.7% only give the examples, failing in the absence of explanation.

The survey of the textbooks identified 212 problems related to at least one of the 31 topics distributed in five categories: i) types; ii) physical properties; iii) biomolecules; iv) analytical techniques; and v) other. However, we highlight that some problems cover more than one topic, then those problems were totalized more than once, increasing the total of problems to 244. Tables 9 and 10 summarize the results of the research. We emphasize that books Clayden²⁴ and Hoffmann²⁵ were not listed in Table 10 because there are no problems related to intermolecular forces in them. Detailed information about the problems (numbers and pages where they are in each book) is available in the Supporting Information.

Table 9 shows that only 13 of the 15 books analyzed have at least one problem related to intermolecular forces. On the other hand, Table

Table 9. Number of problems related to imfs in the organic chemistry textbooks

Category	Topics	Textbooks													
		Brown ²¹	Bruice ²²	Carey ²³	Jones Jr. ²⁶	Klein ²⁷	Loudon ²⁸	McMurry ²⁹	McMurry ³⁰	Smith ³¹	Solomons ³²	Stowell ³³	Vollhard ³⁴	Wade Jr. ³⁵	Total
Type	Identification of interaction	02	01	03	02	01	01			08				02	20
Physical properties	Boiling point	15	08	06	01	04	09			25	06	01	03	08	86
	Melting point	03	05	01	01	04	03	01	01	08					27
	Solubility	13	09	02	01	02	19	01	01	20	06	01	03	07	85
	Density	03	01				01								05
	Vapor pressure														
	Surface tension														
	Adhesion-cohesion														
	Capillarity														
	Viscosity														
	Physical state									01					01
Biomolecules	Cellulose and Starch														
	Carbohydrates														
	Fatty acids-Soap-Micelles	04								03			01	08	
	Lipids	01												01	
	Cell membranes	01												01	
	DNA	04						01	01					06	
	Proteins-Enzymes	03	01											04	
Drugs-receptors															
An. Tech.	Infrared														
	NMR														
	Paper chromatography														
	Chromatography - TLC														
	Chromatography - Column														
	Electrophoresis														
Other	Graphite														
	Crown ether														
	Meniscus and drop format														
	Dyes and dyeing														
	Salting-out effect														
	Polymers														
Total of the problems on IMFs		44	21	09	04	11	32	03	03	51	12	01	06	15	212*
% of the problems on IMFs		3.0	1.1	0.6	0.3	0.6	1.7	0.2	0.2	2.4	0.9	0.0	0.4	1.1	

Table 10. Number of problems per category of IMFs in Organic Chemistry textbooks surveyed

Category	Number of Problems	
	Total ^b	%
Type	20	8.2
Physical properties	204	83.6
Biomolecules	20	8.2
Anal. Techniques	00	0.0
Other ^a	00	0.0
Total	244	100.0

^aOther: Graphite, crown ether, meniscus and drop shape, dyes and dyeing, salting-out effect, and polymers. ^bThere were problems related to more than one topic.

10 reveals that the problems cover only three of the five categories surveyed. The vast majority of problems (83.6%) are related to the organic compounds' physical properties. However, no problem discussed the importance of intermolecular forces on the physical properties such as vapor pressure, surface tension, adhesion-cohesion, capillarity, viscosity, and physical state of the organic compounds. Only 8.2% of the problems aim to identify the type of intermolecular force acting between species. 8.2% is regarding biomolecules like fatty acids, soap-micelles, lipids, cell membranes, DNA, proteins, and enzymes. Nevertheless, none of the 244 problems addresses the intermolecular forces' influence on graphite's structure, crown-ether, meniscus and drop shapes, dyes and dyeing, salting-out effect polymers.

Although analytical techniques (infrared, NMR, chromatography, electrophoresis), and other molecules and phenomena (graphite, crow

ether, dyeing, salting-out effect, and polymers) are covered in books by relating them to IMFs (Tables 7 and 8), none of the 244 problems addresses those categories.

The fifteen books analyzed have a total of 20,684 problems (1,378.9 on average). However, only 212 (0.73%) of them are related to intermolecular forces. This low percentage value reveals the little attention that organic chemistry textbooks give to this theme.

CONCLUSIONS

This paper analyzes fifteen organic textbooks most commonly used at Brazilian universities to find out how the books address the intermolecular forces and related topics. We found that all books cover the theme, but none has a specific chapter on IMFs. Regarding the problems associated with IMFs, the subject is usually spread over several chapters, varying from one up to twelve chapters. Thirteen of the fifteen books have at least one problem regarding intermolecular forces. However, the vast majority of problems (83.6%) are related to the organic compounds' physical properties. 8.2% are associated with identifying intermolecular forces between chemical species, and 8.2% are regarding the biomolecules. The absence of problems about the relationship between the intermolecular forces and analytical techniques, organic molecules' structures like graphite and polymers, and important chemical phenomena such as the salting-out effect may negatively impact the students' learning. As textbooks are a powerful and widely used medium for information transmission, we believe that intermolecular forces' coverage is inadequate and needs to have more significant editors' attention in the next editions of the organic chemistry textbooks.

SUPPLEMENTARY MATERIAL

All problems surveyed (and its respective pages) in each book are freely available on the tables 1S – 15S in <http://quimicanova.s bq.org.br>, in PDF file.

ACKNOWLEDGMENT

We appreciate all Brazilian and French professors who answered the electronic form. Also, we appreciate the designer Ulisses Silva de Sousa for making the graphical abstracts.

NOTES AND REFERENCES

- Schmidt, H.; Kaufmann, B.; Treagust, D. F.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, *10*, 265.
- Torres, N.; Landau, L.; Bamonte, E.; Di Giacomo, M.; Erausquin, P.; Fornaso, C.; Mastrángelo, M.; Monteserin, H.; *Educ. Quim.* **2005**, *16*, 129.
- Gilbert, J. K.; de Jong, O.; Justi, R.; Treagust, D. F.; van Driel, J. H.; *Chemical Education: Towards Research Based Practice*, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 2002.
- Harrison, A. G.; Treagust, D. F.; *Particles and Matter: Problems in Learning About the Submicroscopic World*, Logos Verlag Berlin: Berlin, 2006.
- Gabel, D. L.; Samuel, K. V.; Hunn, D.; *J. Chem. Educ.* **1987**, *64*, 695.
- Peterson, R. F.; Treagust, D. F.; Garnett, P.; *J. Res. Sci. Teach.* **1989**, *26*, 301.
- Griffiths, A. K.; Preston, K. R.; *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, *29*, 611.
- Osborne, R. J.; Crosgrave, M. M.; *J. Res. Sci. Teach.* **1983**, *20*, 825.
- Cooper, M. M.; Williams, L. C.; Underwood, S. M.; *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 1288.
- Williams, L. C.; Underwood, S. M.; Klymkowsky, M. W.; Cooper, M. M.; *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 1979.
- Widarti, H. R.; Marfuaf, S.; Retnosar, R.; *Unnes Sci. Educ. J.* **2019**, *8*, 46.
- Tarhan, L.; Kayali, A. H.; Urek, O. R.; Acar, C.; *Research in Science Education* **2008**, *38*, 285.
- Ogden, M.; *J. Chem. Educ.* **2017**, *94*, 897.
- Luxford, C. J.; Bretz, S. L.; *J. Chem. Educ.* **2014**, *91*, 312.
- Jasien, P. G.; *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 1222.
- Nakhleh, M. B.; *J. Chem. Educ.* **1992**, *69*, 191.
- Peterson, R. F.; Treagust, D. F.; *J. Chem. Educ.* **1989**, *66*, 459.
- Smith, B. D.; Jacobs, D. C.; *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 99.
- Brazilian universities: Universidade Federal do Ceará, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Campinas, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Universidade Estadual de Rio de Janeiro, Universidade Estadual de São Paulo, Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Viçosa, Universidade de São Paulo – São Carlos, Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Federal de Lavras, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal do Norte Fluminense, Universidade Federal do Amazonas, Universidade Federal do Acre, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Estadual de Londrina.
- French universities: CY Cergy Paris Université, École d'ingénieur en Chimie Montpellier, Université Montpellier, University of Lyon, Université de Poitiers, Université de Caen Normandie.
- Brown, W. H.; Iverson, B. L.; Anslyn, E.; Foote, C. S.; *Organic Chemistry*, 6th ed.; Cengage Learning: Boston, 2012.
- Bruice, P. Y.; *Organic Chemistry*, 7th ed.; Pearson: New York, 2014.
- Carey, F.; Giuliano, R.; Allison, N. T.; Bane, S. L.; *Organic Chemistry*, 7th ed.; McGraw-Hill: New York, 2008.
- Clayden, J.; Warren, S.; Greeves, N.; Wothers, P.; *Organic Chemistry*, 1st ed.; Oxford University Press Inc.: New York, 2001.
- Hoffmann, R. V.; *Organic Chemistry. An Intermediate*, 2nd ed.; Wiley: Hoboken, 2004.
- Jones, M.; Fleming, S. A.; *Organic Chemistry*, 4th ed.; W. W. Norton & Company: New York, 2010.
- Klein, D.; *Organic Chemistry*, 3rd ed.; Wiley: Hoboken, 2016.
- London, M.; Parise, J. *Organic Chemistry*, 6th ed.; W. H. Freeman and Company: New York, 2016.
- McMurry, J. E.; *Organic Chemistry*, 8th ed.; Cengage Learning: Boston, 2012.
- McMurry, J. E.; *Organic Chemistry Biological Applications*, 2nd ed.; Cengage Learning: Boston, 2011.
- Smith, J. G.; *Organic Chemistry*, 3rd ed.; McGraw-Hill: New York, 2008.
- Solomons, T. W. G.; Fryhle, C. B.; Snyder, S. A.; *Organic Chemistry*, 10th ed.; Wiley: Hoboken, 2011.
- Fabrickiewicz, A. M.; Stowell, J. C.; *Intermediate Organic Chemistry*, 3rd ed.; Wiley: Hoboken, 2016.
- Vollhardt, K. Peter C.; *Organic Chemistry: Structure and Function*, 6th ed.; W. H. Freeman and Company: New York, 2011.
- Wade, L. G.; Simek, J. W.; *Organic Chemistry*, 6th ed.; Pearson: New York, 2006.

