



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTERAÇÃO *ONLINE* DIRECIONADAS AO  
PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE BIOQUÍMICA**

Otoniel da Silva Marinho Filho

Recife, 2025



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTERAÇÃO *ONLINE* DIRECIONADAS AO  
PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE BIOQUÍMICA**

Otoniel da Silva Marinho Filho

**Recife, 2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Lorena Teles – CRB-4 1774

M337a Marinho Filho, Otoniel da Silva.  
Avaliação de ferramentas de interação online direcionadas ao processo de ensino e aprendizagem de bioquímica: estudo de uma revisão sistemática / Otoniel da Silva Marinho Filho. - Recife, 2025.  
51 f.; il.

Orientador(a): Janaína de Albuquerque Couto.  
Co-orientador(a): Priscila Aparecida dos Santos Cordeiro.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Ciências Biológicas, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Bioquímica - Estudo e ensino . 2. Software educacional . 3. Tecnologia educacional . 4. Realidade aumentada 5. Realidade virtual na educação. I. Couto, Janaína de Albuquerque, orient. II. Cordeiro, Priscila Aparecida dos Santos, coorient. III. Título

CDD 574

OTONIEL DA SILVA MARINHO FILHO

**AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTERAÇÃO *ONLINE* DIRECIONADAS AO  
PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE BIOQUÍMICA**

Esta monografia foi julgada e aprovada para obtenção do título de Graduação no curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Janaina de Albuquerque Couto UFRPE

Orientadora

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Fábria Regina Nascimento Fernandes Burgos UFRPE

Titular

Prof Me. Woldney Damião Silva André UFRPE

Titular

Prof Dr<sup>a</sup> Ana Maria dos Anjos Carneiro Leão UFRPE

Suplente

**Recife, 2025**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me permitiu realizar o sonho de me tornar professor, uma profissão que sempre desejei exercer com amor e dedicação. Sem Sua graça e força, nada disso seria possível.

Agradeço à minha mãe, Josefa, uma mulher incrível que, mesmo nascida no interior e sem acesso à educação formal, foi e sempre será meu maior exemplo de determinação, força e retidão. Sua capacidade de superar desafios e sua fé inabalável na vida me ensinaram, desde muito cedo, que nada é impossível quando se tem propósito e esforço. Foi ela quem me mostrou os caminhos certos a seguir, com um amor imensurável e um exemplo diário de ética e honestidade. Me ensinou que a educação é a chave para transformar vidas, e que o conhecimento deve ser a base para construir um futuro melhor. Sua sabedoria, que não vem de livros, mas da vivência e da experiência, sempre foi e continua sendo meu guia. Agradeço por cada sacrifício, por cada lição, e por sempre acreditar em mim, mesmo quando eu duvidava de mim mesmo. Sua força me inspira a ser uma pessoa melhor a cada dia, e sou eternamente grato por ter uma mãe tão extraordinária como você.

Quero agradecer à minha amada noiva, Camila Oliveira, que tem sido minha companheira incansável em cada passo dessa jornada. Seu apoio incondicional, seu amor imenso e a força que você me transmite nos momentos difíceis se tornaram a minha base. Sua alegria contagiante nos momentos felizes e sua presença constante em todas as fases da vida me dão a certeza de que nunca estou sozinho. Sua paciência, compreensão e confiança me impulsionaram a seguir em frente, mesmo quando os desafios pareciam grandes demais. Eu sou eternamente grato por ter você ao meu lado, meu amor.

À professora Fábiana Burgos, expresso minha mais profunda gratidão. Você foi muito mais do que uma professora, foi como uma mãe na minha vida acadêmica. Sem sua orientação e seus ensinamentos, eu não teria me tornado o professor que sou hoje. Foi a você quem me deu a direção e os caminhos para que eu pudesse alcançar o meu sonho.

Minha gratidão também à professora Janaina Couto, pela orientação, pelo aprendizado e pelo compartilhamento de tanto conhecimento científico. Tudo o que conquistei na minha formação, dedico também a ela, que confiou em mim e me ajudou a crescer como estudante e como pessoa.

À professora Priscila Aparecida, agradeço por ser um ser humano extraordinário, com um coração generoso e acolhedor. Suas orientações na elaboração de trabalhos foram essenciais para o meu crescimento acadêmico, e sua dedicação sempre me inspirou.

Por fim, agradeço aos amigos que fiz ao longo da faculdade, companheiros de jornada que tornaram essa caminhada mais leve, divertida e enriquecedora. Cada um de vocês contribuiu de maneira especial para esta conquista, e por isso, serei eternamente grato. A todos, meu mais sincero muito obrigado!

## RESUMO

O estudo se fundamenta na importância das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) e na teoria do conectivismo, com isto, o principal objetivo da pesquisa é investigar as potencialidades da Realidade Aumentada (RA) para o processo de ensino e aprendizagem de conceitos moleculares de Bioquímica. A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho foi pautada numa abordagem mista a partir da vinculação entre pesquisa qualitativa e quantitativa. Bem como, consistiu em uma Revisão Sistemática abrangendo artigos, dissertações e teses publicados entre 2014 a 2023. O processo foi dividido em quatro etapas: (1) busca eletrônica em bases de dados para identificar trabalhos relevantes; (2) seleção e triagem dos documentos elegíveis, focando na utilização de RA no ensino de Bioquímica; (3) extração e análise dos dados dos estudos selecionados e (4) análise estatística implicativa (A.S.I). Durante a pesquisa, foram encontrados vinte e três artigos que abordam a aplicação de RA em contextos educacionais, com ênfase em sua contribuição para a compreensão de conceitos complexos. Os resultados indicam que a utilização de ferramentas de RA no ensino de Bioquímica não apenas facilita a visualização de estruturas moleculares, mas também promove um aprendizado mais interativo e engajado. A pesquisa destaca a eficácia da RA como um recurso didático inovador, capaz de enriquecer a experiência de aprendizagem e melhorar a retenção de informações pelos alunos. Além disso, através do software da A.S.I. foi possível compreender conexões que antes não eram tão evidentes, revelando implicações existentes dentro dos artigos analisados. Essa ferramenta permitiu identificar padrões e relações de causa e efeito entre os descritores e as variáveis estudadas, fornecendo uma visão mais profunda sobre como as ferramentas de RA são aplicadas no ensino de bioquímica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Realidade Aumentada, Ensino de Bioquímica, Conectivismo.

## ABSTRACT

The study is based on the importance of Digital Information and Communication Technologies (TDIC) and the theory of connectivism. Therefore, the main objective of the research is to investigate the potential of Augmented Reality (AR) for the teaching and learning process of molecular Biochemistry concepts. The methodology adopted for the development of the work was based on a mixed approach linking qualitative and quantitative research. It also consisted of a Systematic Review encompassing articles, dissertations, and theses published between 2014 and 2023. The process was divided into four stages: (1) electronic search in databases to identify relevant works; (2) selection and screening of eligible documents, focusing on the use of AR in Biochemistry teaching; (3) extraction and analysis of data from the selected studies; and (4) Implicative Statistical Analysis (A.S.I). During the research, twenty-three articles were found that address the application of AR in educational contexts, with an emphasis on its contribution to the understanding of complex concepts. The results indicate that the use of augmented reality tools in Biochemistry teaching not only facilitates the visualization of molecular structures but also promotes more interactive and engaging learning. The research highlights the effectiveness of AR as an innovative teaching resource, capable of enriching the learning experience and improving students' information retention. Furthermore, through the A.S.I. software, it was possible to understand connections that were not previously as evident, revealing implications within the analyzed articles. This tool allowed the identification of patterns and cause-and-effect relationships between descriptors and the studied variables, providing a deeper understanding of how augmented reality tools are applied in Biochemistry teaching.

**KEYWORDS:** Augmented Reality, Biochemistry Teaching, Connectivism.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da aplicação com Realidade Aumentada .....	24
Figura 2 – Exemplo de um Marcador .....	24
Figura 3 – Aplicativo de RA AminoViewer .....	25
Figura 4 – Aplicativo PhET .....	26
Figura 5 – Descritores da Pesquisa .....	30
Figura 6 – Índice de valores .....	42
Figura 7 – Grafo implicativo das maiores relações entre as variáveis .....	42
Figura 8 – procedência dos artigos, Modalidade de ensino, Nível de ensino, Ano de publicação e Aplicação em sala de aula .....	43
Figura 9 – Grafo implicativo das relações entre as variáveis Ano de publicação, Instituição, Nível de ensino, Modalidade de ensino, Aplicação da ferramenta em sala de aula e Compatibilidade do sistema operacional .....	44
Figura 10 – Grafo implicativo das relações entre as variáveis Procedência do artigo, Aplicação da ferramenta em sala de aula, Modalidade de ensino, Nível de ensino, Compatibilidade do sistema operacional .....	45

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados secundários adotados para análise dos artigos .....	32
Quadro 2 – Dados secundários e respectivos códigos utilizados na A.S.I .....	34
Quadro 3 – Correlação entre as etapas metodológicas e o referencial teórico adotado para a Revisão Sistemática.....	35
Quadro 4 – Textos selecionados nas Etapas 01 e 02.....	36
Quadro 5 – Ferramentas de RA e uma Breve Descrição sobre sua Função .....	38

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>A.S.I.</b>	Análise Estatística Implicativa
<b>AIR</b>	Augmented Immersive Reality
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CEDOC</b>	Centro de Documentação em Ensino de Ciências
<b>CHIC</b>	Classificação Hierárquica Implicativa e Coesitiva
<b>CONAPESQ</b>	Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências
<b>CONEDU</b>	Congresso Nacional de Educação
<b>DOAJ</b>	Directory of Open Access Journals
<b>ENCITEC</b>	Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista
<b>ENPEC</b>	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
<b>PhET</b>	Physics Education Technology
<b>RA</b>	Realidade Aumentada
<b>RV</b>	Realidade Virtual
<b>SBBQ</b>	Sociedade Brasileira Bioquímica e Biologia Molecular
<b>SCIELO</b>	Scientific Electronic Library Online
<b>TDICs</b>	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Geral.....	16
2.2 Específicos.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Surgimento da Ciência Bioquímica.....	17
3.2 Conceito de Bioquímica.....	18
3.3 Estudo da Bioquímica e suas Dificuldades.....	19
3.4 Surgimento da Realidade Aumentada (RA).....	21
3.5 A Realidade Aumentada no Ensino da Bioquímica.....	23
3.6 George Siemens e a Teoria do Conectivismo.....	27
4. METODOLOGIA.....	30
4.1 Revisão sistemática.....	30
4.2 Etapa 1: Entrada - Busca eletrônica nas bases de dados.....	31
4.3 Etapa 2: Processamento - Seleção e identificação dos documentos elegíveis.....	31
4.4 Etapa 3: Saída - Extração dos dados.....	31
4.5 Etapa 4: Análise Estatística Implicativa (A.S.I.).....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 TENDÊNCIAS GERAIS DOS ARTIGOS À LUZ DA A.S.I.....	41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
7. REFERÊNCIAS.....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Há uma mudança significativa de paradigma na educação básica e superior, marcada pela transição do modelo tradicional de ensino, centrado no professor, para abordagens que enfatizam os processos de aprendizagem dos estudantes. Essas novas práticas, conhecidas como metodologias ativas de ensino-aprendizagem, buscam envolver os alunos de forma mais participativa em seu próprio processo de formação, estimulando a autonomia, a participação e o pensamento crítico. Esse novo foco tem como objetivo criar um ambiente educacional mais dinâmico, interativo e eficaz, onde os estudantes são incentivados a construir conhecimento por meio de experiências práticas, colaborativas e contextualizadas (Mitre et al., 2008).

As metodologias ativas de ensino-aprendizagem são abordagens que colocam o estudante no centro do processo educativo, incentivando sua participação ativa na construção do conhecimento. Diferentemente do modelo tradicional, no qual o aluno assume uma postura passiva diante da transmissão de conteúdos, as metodologias ativas promovem a interação, a experimentação e a resolução de problemas reais ou simulados.

Segundo Mitre et al. (2008), as metodologias ativas têm a problematização como estratégia central, desafiando os alunos a analisarem, refletirem e aplicarem conceitos em diferentes contextos. Ao serem expostos a situações que exigem tomada de decisão e raciocínio crítico, os estudantes relacionam novos conhecimentos com experiências anteriores, favorecendo uma aprendizagem mais profunda e significativa.

Nesse cenário, a evolução tecnológica tem desempenhado um papel fundamental na transformação das práticas educacionais. Desde a popularização da Internet nos anos 90, surgiu uma geração de estudantes altamente visuais, criados em um ambiente digital interativo com dispositivos eletrônicos cada vez mais avançados. De acordo com Kenski (2012, p. 45), o uso de computadores e outras tecnologias digitais vem revolucionado a educação, resultando em novas formas de interação entre professores, alunos e o conteúdo ensinado.

Destaca-se, diante desse contexto, o conectivismo, uma teoria de aprendizagem desenvolvida pelo educador e teórico canadense George Siemens. Segundo Siemens (2004), o conhecimento está disperso em uma rede de conexões e, portanto, a aprendizagem envolve a habilidade de construir e navegar por essas redes, interagindo com diferentes fontes de informação e ampliando o próprio repertório de conhecimento.

Nesse sentido, as propostas metodológicas fundamentadas no conectivismo devem permitir e incentivar essa construção ativa do saber, promovendo a reflexão, a tomada de decisão e o compartilhamento de informações. Assim, os alunos podem assumir um papel mais autônomo em seu aprendizado, explorando recursos digitais, colaborando em redes de conhecimento e desenvolvendo a capacidade de aprender continuamente, mesmo na ausência do professor. Siemens (2004) afirma que:

O Conectivismo apresenta um modelo de aprendizagem que reconhece as mudanças tectônicas na sociedade, onde a aprendizagem não é mais uma atividade interna e individual. O modo como a pessoa trabalha e funciona são alterados quando se utilizam novas ferramentas. O campo da educação tem sido lento em reconhecer, tanto o impacto das novas ferramentas de aprendizagem como as mudanças ambientais na qual tem significado aprender. O Conectivismo fornece uma percepção das habilidades e tarefas de aprendizagem necessárias para os aprendizes florescerem na era digital (p. 8).

Neste mundo atualmente interconectado, onde as tecnologias possibilitam um constante fluxo de informações, surge a urgência de acompanhar essa evolução. Como apontado por Siemens (2004), estamos em uma era em que o conhecimento, antes avaliado ao longo de décadas, agora é mensurado em períodos muito mais curtos, como meses e anos. O conhecimento é altamente mutável, e o que é aprendido hoje pode rapidamente se transformar, evoluir ou até mesmo tornar-se obsoleto ou incorreto em um curto período de tempo. Essa rápida obsolescência do conhecimento tem implicações diretas no processo de ensino-aprendizagem, exigindo adaptações metodológicas e tecnológicas para atender às novas demandas. Diante desse cenário, a teoria do conectivismo propõe que a aprendizagem não se dá de maneira isolada, mas sim por meio da construção e navegação em redes de conhecimento, explorando conexões entre diferentes fontes e contextos.

Nesse sentido, as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) desempenham um papel fundamental ao potencializar essas conexões, proporcionando um ambiente no qual os estudantes podem acessar informações em tempo real, interagir com diferentes perspectivas e construir conhecimento de forma colaborativa. O uso das TDICs não apenas amplia os espaços de aprendizagem para além da sala de aula tradicional, mas também reforça a autonomia dos alunos, permitindo que desenvolvam a habilidade de selecionar, avaliar e conectar informações dentro de um fluxo dinâmico de conhecimento. Assim, ao integrar esses recursos ao ensino, torna-se possível criar

experiências de aprendizagem que dialogam diretamente com os princípios conectivistas, preparando os estudantes para um mundo onde aprender significa estar constantemente interligado a múltiplas fontes de saber.

Coelho (2019) relaciona o conectivismo a esse contexto ao considerar que a busca por estratégias ativas de ensino-aprendizagem é impulsionada pela necessidade de adaptação a um mundo digitalmente conectado. Ele destaca a importância das redes e conexões em um ambiente digital, no qual a tecnologia desempenha um papel central. A integração dos ambientes físico e virtual no processo educacional reflete a compreensão de que os alunos estão imersos em um contexto de múltiplas influências virtuais. Nesse cenário, a conexão e a colaboração tornam-se essenciais para a construção do conhecimento.

O avanço das tecnologias tem provocado mudanças significativas nas gerações ao longo das últimas décadas, principalmente na Geração Z, que, imersa no universo digital, possui uma grande facilidade com novas tecnologias e demanda resultados instantâneos, mas pode apresentar dificuldades em áreas como raciocínio lógico (Gabriel, 2013; Fava, 2014). Nesse contexto, as instituições de ensino precisam se adaptar às novas exigências dos alunos, que já crescem rodeados por dispositivos digitais e estão acostumados a uma maneira mais dinâmica e interativa de aprender. Nesse sentido, ferramentas como a RA têm ganhado destaque, especialmente no ensino de disciplinas complexas como a Bioquímica.

A dificuldade de visualizar os processos bioquímicos é uma das maiores barreiras no ensino dessa disciplina, já que muitos conceitos, como a estrutura molecular, reações enzimáticas e interações bioquímicas, são essencialmente invisíveis aos olhos humanos. Isso leva a uma desconexão no entendimento dos alunos, que muitas vezes percebem a bioquímica de forma isolada e não conseguem relacionar como os processos se interligam dentro do organismo. (Alves, 2019).

Atrelando-se aos conhecimentos bioquímicos, a RA surge como uma solução, proporcionando aos alunos uma experiência envolvente e interativa. Por meio dessa tecnologia, os estudantes podem visualizar moléculas em 3D e explorar sua estrutura e função de maneira mais detalhada e intuitiva. A RA representa com mais detalhes a compreensão de processos bioquímicos complexos, como a interação entre proteínas e ácidos nucleicos, a formação de biomembranas e a síntese de compostos orgânicos. Dessa forma, a RA não só atende às demandas de uma geração digitalmente conectada,

mas também oferece uma abordagem pedagógica eficaz, facilitando o aprendizado e tornando-o mais acessível e atrativo.

Dessa forma, a RA não apenas facilita a visualização desses conceitos abstratos, mas também proporciona aos alunos a oportunidade de realizar experimentos virtuais, manipulando variáveis e observando os efeitos em tempo real. Esse tipo de interação ajuda a superar a dificuldade de abstração, característica marcante no ensino da bioquímica, permitindo que os estudantes visualizem e experimentem processos que, de outra forma, seriam difíceis de compreender. Ao integrar teoria e prática, a realidade aumentada oferece uma abordagem dinâmica e interativa, tornando o ensino da bioquímica mais acessível e relevante. Assim, a RA se configura como uma metodologia inovadora que conecta os conceitos teóricos com experiências visuais e experimentais, proporcionando um aprendizado mais imersivo e fortalecendo a compreensão dos complexos processos bioquímicos

Considerando esse potencial da RA e outras ferramentas virtuais no ensino de Bioquímica, surge a questão de pesquisa: Como podemos analisar o uso de ferramentas de realidade aumentada, direcionadas ao processo de ensino-aprendizagem de Bioquímica por meio de uma Revisão Sistemática à luz da Análise Estatística Implicativa (ASI)?

Nesse sentido, a pesquisa incluiu a análise de artigos provenientes de diversas fontes, como a Revista de Ciências e Educação, a Revista Virtual de Química, eventos como SBBQ, ENCITEC e ENPEC, e bases de dados como Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico, SCIELO e DOAJ. Portanto, com o intuito de responder à questão de pesquisa, este estudo tem como objetivos:

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar ferramentas de interação online direcionadas ao processo de ensino-aprendizagem de Bioquímica, por meio de uma Revisão Sistemática à luz da Análise Estatística Implicativa (A.S.I), considerando o recorte temporal de 2014 a 2023, com o objetivo de identificar as contribuições da RA e compreender como essas ferramentas impactam e favorecem o aprendizado.

### **2.2 Específicos**

- (1) Mapear as ferramentas tecnológicas de realidade aumentada utilizadas no processo de ensino e aprendizagem de conceitos Bioquímicos descritas nos textos selecionados;
- (2) Investigar correlações entre as ferramentas de realidade aumentada identificadas através da A.S.I.
- (3) Compreender as conexões e como a realidade aumentada influencia o processo de aprendizagem de conceitos Bioquímicos.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, será abordado o surgimento da Bioquímica, destacando os principais cientistas que contribuíram para seu desenvolvimento. Também será apresentado uma breve discussão sobre os conceitos trabalhados na disciplina e as dificuldades encontradas no processo de ensino e aprendizagem tanto nos anos iniciais quanto no ensino superior. Além disso, será explorado como a RA pode contribuir para o avanço do conhecimento, integrando-se à teoria do conectivismo.

#### 3.1 Surgimento da Ciência Bioquímica

A bioquímica tem suas raízes na história da química, especialmente na busca humana por compreender como as mudanças nos seres vivos afetam sua origem. Enquanto algumas culturas se dedicavam à produção de bebidas e medicamentos, as primeiras civilizações já realizavam experimentos para tratar doenças, marcando os primeiros passos rumo ao desenvolvimento dos princípios da bioquímica. A descoberta das enzimas foi um ponto crucial nesse processo, impulsionando avanços significativos na compreensão dos processos metabólicos essenciais para a vida humana. Dessa forma, a história da bioquímica está intimamente ligada à exploração das enzimas e de seus papéis nos processos metabólicos do corpo humano..

Um dos marcos fundamentais nesse caminho foi a contribuição de Louis Pasteur, cujas investigações sobre fermentação e a refutação da teoria da geração espontânea abriram caminho para uma compreensão mais profunda dos processos microbianos. A ciência, como empreendimento humano, é praticada dentro de um contexto cultural mais amplo, afetando e sendo afetada pelos diversos elementos da cultura em que está inserida (Lederman, 2007, p. 834). Esse conceito destaca a interconexão entre a ciência e a cultura, refletindo a relação simbiótica entre o desenvolvimento científico e os avanços culturais ao longo da história.

Justus von Liebig, por meio de sua obra "*Die Organische Chemie in Ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*" (Liebig, 1841), trouxe contribuições significativas sobre nutrição e metabolismo, fornecendo entendimentos valiosos sobre a importância dos nutrientes na alimentação e propondo a teoria da nutrição celular. Albrecht Kossel e Frederick Sanger, por sua vez, foram pioneiros na descoberta das estruturas essenciais dos ácidos nucleicos e das proteínas, abrindo caminho para avanços

revolucionários na biologia molecular, especialmente em 1977.

Esses pesquisadores, junto a vários outros, desempenharam um papel crucial no avanço da bioquímica, estabelecendo uma base de conhecimento que continua a se expandir e impactar uma variedade de campos científicos. Suas descobertas não apenas aprofundaram nossa compreensão dos processos vitais, mas também abriram novas perspectivas para a investigação e o tratamento de doenças, além de impulsionar o progresso na biotecnologia e na indústria farmacêutica.

### **3.2 Conceito de Bioquímica**

Segundo Brady e Senese (2012), a bioquímica é o estudo sistemático das substâncias químicas presentes nos sistemas vivos, sua organização celular e suas interações químicas. Seus estudos abrangem as propriedades de moléculas biológicas essenciais, como proteínas e ácidos nucleicos, além de se concentrar na química das reações catalisadas por enzimas, abordando temas como o código genético, a síntese de proteínas, o transporte celular e a transdução de sinais. Assim, um dos objetivos da bioquímica é descrever, em nível molecular, as estruturas, mecanismos e processos químicos compartilhados por todos os organismos, estabelecendo os princípios fundamentais da vida em suas diversas formas.

Nelson e Cox (2002) argumentam que a bioquímica visa entender a forma e a função biológica em termos químicos, além de elucidar, em nível molecular, os mecanismos e processos químicos compartilhados por todos os seres vivos, fornecendo os princípios organizadores subjacentes à diversidade da vida. Compreendendo os processos bioquímicos fundamentais, podemos criar terapias inovadoras para doenças e aprimorar métodos de produção de alimentos e biocombustíveis. Dessa forma, a bioquímica contribui significativamente para melhorar a qualidade de vida humana, promover a sustentabilidade ambiental e enriquecer nossa compreensão da vida em sua diversidade.

A Bioquímica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de terapias inovadoras e tecnologias avançadas. Ao compreender a estrutura e o funcionamento das biomoléculas, é possível criar tratamentos personalizados e aplicar terapias genéticas que visam corrigir defeitos moleculares causadores de doenças genéticas. Além disso, a descoberta de enzimas e biomoléculas com propriedades terapêuticas específicas tem aberto portas para novos medicamentos, como os antivirais

e anticânceres, que são cada vez mais sofisticados e eficazes. Portanto, a Bioquímica não só aprimora os conhecimentos fundamentais sobre a vida, mas também atua diretamente no avanço da medicina, oferecendo soluções mais eficazes e direcionadas para os desafios da saúde humana. Em paralelo, ela continua a ser um campo crucial para a biotecnologia, auxiliando na produção de alimentos mais nutritivos e na inovação em biocombustíveis, o que reflete sua importância para a sustentabilidade global Berg (2012).

### **3.3 Estudo da Bioquímica e suas Dificuldades**

Os conceitos da química são introduzidas na educação básica a partir do 6º ano do ensino fundamental II e avança para uma compreensão mais aprofundada no 2º ano do ensino médio. Durante o período do 6º ao 9º ano, os conceitos de química são abordados dentro da disciplina de Ciências. Geralmente, a química é apresentada aos alunos de forma mais teórica, enquanto a prática é relegada a um plano secundário devido a diversos fatores presentes no ambiente escolar, como carga horária limitada, falta de infraestrutura adequada (equipamentos e materiais químicos) e incertezas quanto à realização de experimentos. Além disso, muitos professores enfrentam dificuldades para relacionar os conceitos de química com situações do cotidiano de seus alunos, o que torna a compreensão do conteúdo em sala de aula ainda mais desafiadora.

Nelson & Cox (2002) argumentam que a bioquímica visa entender a forma e a função biológica em termos químicos, além de elucidar, em nível molecular, os mecanismos e processos químicos compartilhados por todos os seres vivos, fornecendo os princípios organizadores subjacentes à diversidade da vida. Compreendendo os processos bioquímicos fundamentais, podemos criar terapias inovadoras para doenças e aprimorar métodos de produção de alimentos e biocombustíveis. Dessa forma, a bioquímica contribui significativamente para melhorar a qualidade de vida humana, promover a sustentabilidade ambiental e enriquecer nossa compreensão da vida em sua diversidade.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o currículo de Pernambuco, a Bioquímica está inserida dentro da área de Ciências da Natureza, podendo ser abordada ao longo do ensino médio, especialmente em temas relacionados à Química Orgânica, metabolismo e bioenergia. No entanto, a organização específica dos conteúdos pode depender do planejamento curricular de cada escola, o que pode resultar em variações na abordagem e profundidade dos temas trabalhados. Dessa forma, a distribuição dos conteúdos pode impactar diretamente a formação dos estudantes,

tornando essencial uma organização que garanta a compreensão dos conceitos fundamentais da Bioquímica.. Isso pode ser comprovado, como evidenciado por Freitas (2006):

O ensino de Bioquímica no Ensino Médio é muito discreto – diria até que essa disciplina, como tal, não é apresentada aos alunos e os conceitos bioquímicos são apresentados em tópicos de Química ou de Biologia. O próprio professor não tem consciência disso, portanto não esclarece ou situa os temas apresentados. Quanto ao aprendizado, sempre o avalio como sendo superficial. (Freitas, 2006, p.1).

Segundo Henriques (2016), é de suma importância que a construção do conhecimento em ciências durante o ensino médio seja enfatizada, devido à sua contribuição significativa para o desenvolvimento crítico dos alunos, incentivando o interesse por questões científicas e tecnológicas cada vez mais relevantes na sociedade contemporânea. Para alcançar esse objetivo, a formação contínua dos professores e a disponibilização de métodos pedagógicos e materiais didáticos adequados representam grandes desafios para aprimorar a qualidade do ensino.

No ensino superior, de acordo com Vargas (2016), os alunos descrevem a disciplina de bioquímica como uma coleção de estruturas químicas e reações que são difíceis de entender e parecem desconectadas de sua futura prática profissional. Essa percepção não é surpreendente, já que, em muitos currículos do ensino superior, a importância das disciplinas básicas só é reconhecida mais tarde, quando os conceitos explorados nelas se tornam necessários para o prosseguimento do curso ou para o exercício da profissão. Como resultado, os benefícios que essas disciplinas poderiam proporcionar para uma formação integrada dos estudantes acabam sendo significativamente comprometidos.

No ensino de Licenciatura em Ciências Biológicas, onde a utilização de diversas abordagens no processo de ensino-aprendizagem é crucial, o uso de experimentos emerge como uma estratégia fundamental para aprofundar a compreensão dos fenômenos estudados. Por exemplo, recursos multimídia podem ser empregados para ilustrar a dinâmica das macromoléculas biológicas, essenciais para suas funções (Dias et al., 2013).

Dentre os métodos comumente utilizados, o teórico-prático é amplamente reconhecido como o mais vantajoso para os alunos, uma vez que as atividades práticas geralmente despertam seu interesse, oferecendo um mundo de descobertas e investigações. Isso

ressalta a importância de incorporar atividades práticas ao ensino de bioquímica, pois a realização de experimentos envolve diretamente os alunos no processo de aprendizagem e os desafia a resolver problemas por conta própria. Como afirmado por Demo (2011, p.9), "a aula que apenas transmite conhecimento, ou a escola que apenas se concentra na socialização do conhecimento, não avança, e, na verdade, prejudica o aluno, pois o reduz a um objeto passivo de ensino e instrução".

Nesse contexto, a postura do professor ao utilizar a RA torna-se fundamental para transformar a abordagem tradicional do ensino, rompendo com a mera transmissão de conceitos desconexos. Por meio da RA, o docente possibilita uma experiência imersiva nos conhecimentos moleculares, aproximando os alunos da Química e da Bioquímica de forma mais envolvente. Essa estratégia não apenas desperta o interesse dos estudantes, mas também fortalece significativamente o processo de ensino e aprendizagem.

### **3.4 Surgimento da Realidade Aumentada (RA)**

Nos estágios iniciais do progresso tecnológico, as pessoas tinham acesso limitado a dispositivos que facilitaram a interação com o mundo e com informações de maneira mais intuitiva, utilizando seus sentidos para realizar ações básicas, como mover uma alavanca ou pressionar um botão. Com o advento dos computadores, as interações entre o usuário e a máquina se tornaram mais específicas, demandando compreensão sobre a estrutura, os circuitos e o software básico do computador. Nos momentos iniciais, os computadores eram notavelmente lentos e limitados, resultando em uma abordagem na qual o usuário inseria comandos e aguardava pelos resultados, sem uma interação em tempo real entre humano e computador. À medida que as tecnologias de hardware e software evoluíram, computadores mais sofisticados e poderosos foram desenvolvidos, necessitando de um conhecimento técnico especializado por parte dos usuários.

A relação entre o ser humano e os computadores teve início nos primórdios das máquinas, por meio de comandos digitais, estabelecendo interfaces baseadas em texto, como foi visto posteriormente nos microcomputadores usando o sistema DOS. Nesse contexto, os usuários precisavam estar familiarizados com a máquina e inserir manualmente os comandos necessários. Posteriormente, surgiram interfaces baseadas em menus, nas quais os usuários podiam selecionar os comandos de uma lista predefinida, como nos sistemas de janelas. Com o avanço da potência computacional e a melhoria da qualidade dos monitores, a multimídia começou a ser usada, permitindo

interações mais imersivas. Nessa fase, tecnologias de interação tridimensional, como a realidade virtual e aumentada, começaram a surgir, exigindo dispositivos mais avançados e ganhando destaque a partir da década de 1990. Recentemente, dispositivos computacionais conectados à Internet e a outros sistemas de comunicação, combinados com tecnologias de interação tridimensional e inteligência artificial, estão possibilitando uma nova forma de interação conhecida como hiper-realidade (Tiffin, 2001).

A chegada do século XXI trouxe o que ficou conhecido na área computacional como web 2.0, a segunda fase da internet, caracterizada principalmente pela colaboração dinâmica, interatividade e flexibilidade de conteúdo. A internet se tornou não apenas uma fonte crucial de informações, mas também um poderoso recurso de apoio educacional. Nesse contexto, os usuários deixaram de ser meros consumidores de conteúdo e passaram a desempenhar um papel ativo na produção, transformação e organização de informações, possibilitando uma aprendizagem colaborativa por meio da internet (Machado, 2011).

Acompanhando a evolução da tecnologia, surgiram a Realidade Virtual (RV) e a RA. Essas tecnologias dependem de processamento em tempo real e, portanto, são impactadas pela evolução da computação, tanto em termos de hardware quanto de software. Ao longo das décadas desde sua criação, essas tecnologias passaram por modernizações, influenciadas por fatores mais recentes, como a proliferação de plataformas e o desenvolvimento de softwares capazes de lidar com elementos multisensoriais. O que costumava estar restrito a computadores de grande porte e aplicativos de computação gráfica agora está disponível para dispositivos móveis, com ou sem acesso à Internet (Furth, 2011).

A RV é uma avançada interface computacional que envolve simulação em tempo real e interações, utilizando canais multissensoriais. Suas origens remontam a 1963, quando Ivan Sutherland desenvolveu o Sketchpad, uma aplicação que permitia a manipulação de imagens tridimensionais na tela do computador em tempo real, além de criar o primeiro capacete de RV. Existem diversas definições para a RV na literatura. De acordo com Kirner (2011), ela é uma interface computacional que possibilita ao usuário interagir em tempo real em um espaço tridimensional gerado por computador, utilizando seus sentidos através de dispositivos especiais. Já para Jerald (2015), a RV é um ambiente digital gerado computacionalmente que pode ser experimentado de forma interativa, como se fosse real. Segundo Tori e Kirner (2006), a RV é a tecnologia que permite a imersão do ser humano em ambientes virtuais com alto grau de realismo e

sensação de presença. O objetivo da RV é proporcionar ao usuário uma experiência que o faça sentir-se como se estivesse exclusivamente no ambiente virtual, com uma imersão nos diversos eixos temáticos que essa tecnologia permite explorar.

A RA foi estabelecida na década de 1960 pelo pesquisador Ivan Sutherland, que fez duas contribuições significativas: desenvolveu pesquisas sobre a evolução da realidade virtual e seus reflexos no mundo real, e criou um capacete de visão ótica direta rastreada para visualização de objetos 3D no ambiente real. Contudo, foi somente durante a década de 1980 que o primeiro projeto de RA surgiu, sendo desenvolvido pela Força Aérea Americana. Esse projeto consistia em um simulador de cockpit de avião, que integrava elementos virtuais ao ambiente físico do usuário por meio de visão ótica direta (Kirner, 2008).

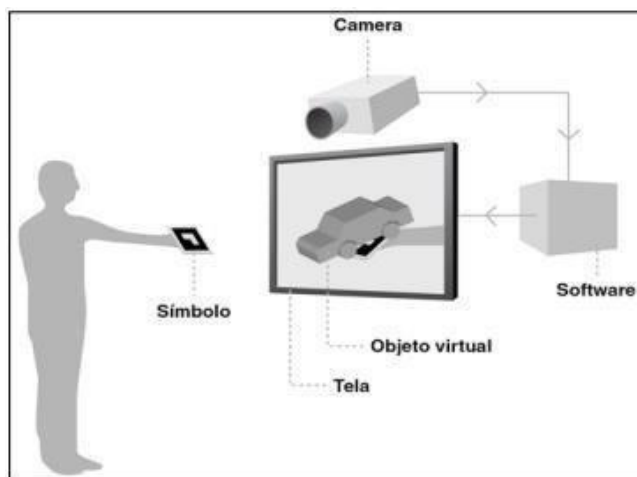
Ao contrário da realidade virtual, que busca imergir o usuário em um ambiente virtual, a RA mantém o usuário em seu ambiente físico e insere elementos virtuais nesse espaço por meio de dispositivos tecnológicos. Dessa forma, a interação do usuário com esses elementos virtuais é natural e intuitiva, não exigindo adaptação ou treinamento.

### **3.5 A Realidade Aumentada no Ensino da Bioquímica**

A sociedade atual está passando por constantes mudanças na forma como produz e estrutura a educação, o que torna essencial a promoção de um conhecimento mais criterioso. Isso demanda habilidades para resolver problemas de forma criativa e flexível. Nesse contexto, a visualização do conhecimento se torna mais eficaz e agradável quando é possível aplicar conceitos teóricos de maneira prática, permitindo que os resultados sejam observados por meio de movimentos e imagens, em vez de apenas no papel. Essa abordagem se torna viável com o uso do computador e, mais especificamente, da RA, que tem ganhado destaque em diversas áreas do conhecimento. A adoção dessa tecnologia facilita a aquisição de conhecimento pelos praticantes, auxilia os professores em suas práticas educacionais e oferece diversas formas de ensino. Essa metodologia é especialmente adequada para conteúdos em que a abstração exigida pelos alunos é complexa demais.

Esse recurso tecnológico se mostra altamente eficaz devido à sua capacidade de apresentar objetos com grande detalhamento no contexto desejado pelo professor, eliminando a necessidade de imaginar esses objetos. De acordo com Rodrigues et al. (2010), o funcionamento desse aplicativo envolve a captura de uma imagem por meio de uma câmera e, em seguida, a renderização dos objetos virtuais desejados após a identificação de um código conhecido previamente (marcadores).

Figura 1. Exemplo do funcionamento da aplicação com RA.



Fonte: CARDOSO (2014)

O funcionamento de uma aplicação de RA envolve a demonstração do processo de geração de um objeto virtual por meio do reconhecimento de símbolos, conhecidos como marcadores. Esse processo ocorre quando o usuário posiciona o símbolo em frente à câmera, permitindo que ela o identifique e transmita essa informação para um software específico. O software interpreta o símbolo e gera o objeto virtual correspondente, que é então sobreposto ao marcador em um dispositivo de saída, como uma televisão, um monitor de computador ou um projetor.

Figura 2. Exemplo de um Marcador.

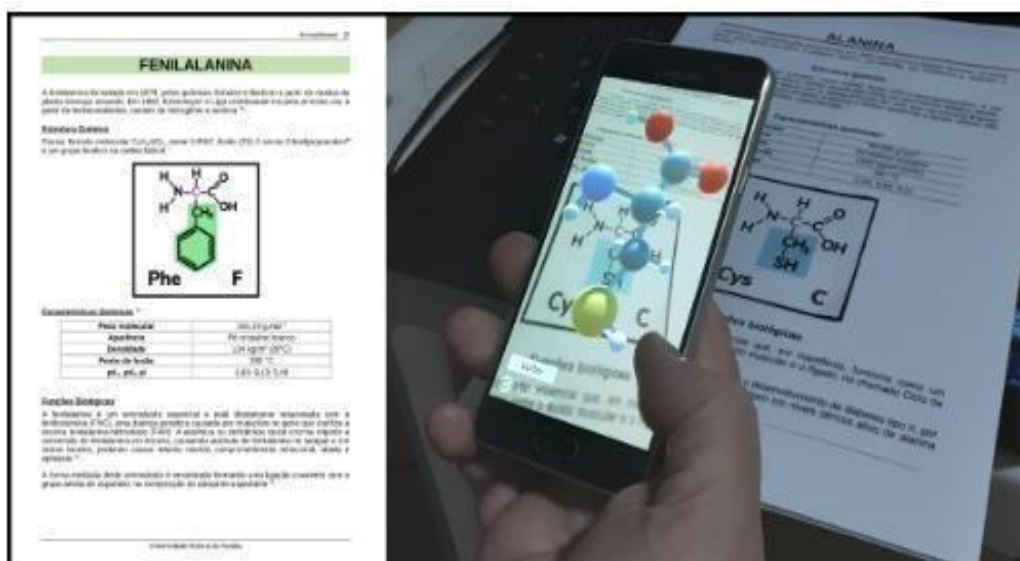


Fonte: Cardoso (2014)

A RA surge como uma tecnologia inovadora na área da bioquímica, trazendo novas oportunidades para o ensino, pesquisa e prática profissional. Ao sobrepor elementos virtuais ao ambiente físico, ela cria uma experiência de aprendizado envolvente e interativa, permitindo que os alunos observem e interajam com moléculas complexas, estruturas celulares e processos bioquímicos em tempo real.

Uma das principais vantagens da RA na bioquímica reside na capacidade de visualizar em três dimensões biomoléculas e processos bioquímicos, que frequentemente são conceitos abstratos e desafiadores de compreender apenas com modelos estáticos ou representações bidimensionais. Com a RA, os alunos têm a oportunidade de explorar de forma dinâmica a estrutura e função das biomoléculas, observando suas interações e comportamentos no ambiente celular. Um exemplo prático é apresentado por Alves et al. (2020), ao descrever a ferramenta Aminoviewer, um material didático que utiliza a associação de uma apostila e um aplicativo (AminoViewer3D) para auxiliar na fixação dos conhecimentos sobre a estrutura e função dos aminoácidos.

Figura 3. Aplicativo de RA AminoViewer.

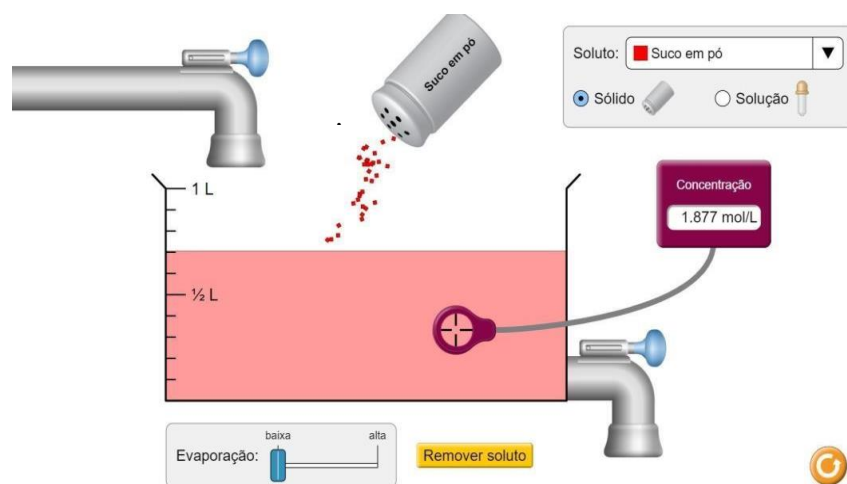


Fonte: (ALVES et al 2020)

Dado que um dos principais desafios relatados pelos alunos diz respeito à compreensão espacial de biomoléculas, uma solução baseada em RA poderia atender a essa demanda. Além disso, essa abordagem tecnológica possibilitaria uma interação mais robusta, permitindo a rotação das moléculas, a visualização de suas funções orgânicas, ajustes de escala e a identificação de padrões moleculares.

Outra característica que a RA oferece é a oportunidade de simular experimentos bioquímicos de maneira segura e acessível. Os alunos podem conduzir procedimentos de laboratório virtualmente, manipulando reagentes, observando resultados e compreendendo os fundamentos por trás de cada fase do experimento. Esse processo fomenta uma compreensão mais ampla dos conceitos bioquímicos e prepara os estudantes para aplicar seus conhecimentos em situações práticas. O site PhET é um simulador interativo gratuito que cobre diversos aprendizados práticos de várias disciplinas, como física, química, matemática e biologia. Entre os 30 experimentos na área da química, destaca-se o experimento sobre diferentes níveis de concentração, que tem como objetivo descrever as relações entre volume e quantidade de soluto na concentração da solução, projetar e justificar um procedimento para alterar uma solução de uma concentração para outra, além de identificar quando uma solução está saturada e prever como a concentração muda devido a qualquer ação ou conjunto de ações que alterem o soluto ou a água.

Figura 4. Diferentes Níveis de Concentração.



Fonte: PhET

A RA se apresenta como uma ferramenta flexível e eficaz no ensino da Bioquímica, proporcionando vantagens significativas tanto no âmbito educacional quanto na pesquisa e prática clínica. Sua incorporação em contextos acadêmicos e profissionais possibilita uma melhor compreensão dos conceitos bioquímicos, tornando o aprendizado mais dinâmico e acessível. Além disso, a RA pode contribuir para a desmistificação de temas complexos, facilitando a assimilação de conteúdos e

promovendo uma formação mais sólida dos estudantes. Dessa forma, seu uso não apenas aprimora o processo de ensino e aprendizagem, mas também impulsiona avanços científicos e tecnológicos na área..

### **3.6 George Siemens e a Teoria do Conectivismo**

A teoria do conectivismo, proposta por George Siemens em 2004, é uma inovação no campo da aprendizagem. Ela identifica que as transformações na sociedade digital influenciam diretamente as mudanças nos cenários de ensino. Nesta perspectiva, o aprendizado deixa de ser uma atividade interna e individual para ocorrer dentro de uma rede de conexões.

Conectivismo é a integração de princípios explorados pelo caos, Rede, e Teorias da Complexidade e Auto-organização. A aprendizagem é um processo que ocorre dentro de ambientes nebulosos onde os elementos centrais estão em mudança – não inteiramente sob o controle das pessoas. (Siemens, 2004, p.5- 6).

Siemens (2004) observa o processo de educação através do conectivismo sob diversos aspectos, entre os quais destaca a rede, que ele identifica como um conjunto de conexões entre entidades que facilitam a troca de informações e a aprendizagem. Ele acredita que o conhecimento reside nessas conexões e que a aprendizagem ocorre quando navegamos e criamos essas redes. Portanto, a rede não é apenas uma estrutura de conexão, mas também um meio pelo qual a aprendizagem e o conhecimento são distribuídos. A capacidade de formar conexões entre comunidades especializadas e criar padrões de informação úteis a partir de uma variedade de fontes é um aspecto essencial para a aprendizagem.

Um segundo aspecto é o caos, Refere-se à maneira inesperada de como o conhecimento é estruturado na sociedade, sendo arranjos complexos onde cada “nó” possui um significado. Com isso em mente, Siemens interpreta que:

Ao contrário do construtivismo, que afirma que os aprendizes tentam promover a compreensão através de tarefas de construção de significados, o caos afirma que os significados existem – o desafio dos aprendizes é reconhecer os padrões que parecem estar ocultos. (Siemens, 2004, p.4).

Por fim, temos o conceito de conexões, no qual Siemens (2004) argumenta que o conhecimento, à medida que está interligado em uma rede, gera novas conexões que, por sua vez, modificam os padrões subjacentes, sejam eles de entendimento biopsíquico ou padrões sociais explícitos. Essas conexões funcionam como fontes de informação tanto para o indivíduo quanto para aqueles com os quais ele está conectado, atuando assim como meios de disseminação de conhecimento.

Witt e Rostirola (2019) destacam que os conceitos de Caos, Redes, Nós e Conexões são características distintivas da Teoria Conectivista e sua ação sistêmica, baseados nos princípios propostos por Siemens (2004):

- A diversidade de opiniões é a base da aprendizagem e do conhecimento;
- O processo de aprendizagem envolve a conexão de nós especializados ou fontes de informação;
- A aprendizagem pode estar presente em dispositivos não humanos;
- A habilidade de adquirir mais conhecimento é mais importante do que o que se sabe no momento;
- É essencial cultivar e manter conexões para promover a aprendizagem contínua;
- A capacidade de perceber conexões entre áreas, ideias e conceitos é uma habilidade chave;
- A atualização (conhecimento preciso e atual) é o objetivo de todas as atividades de aprendizagem conectivistas;
- O ato de tomar decisões é, em si, um processo de aprendizagem. Escolher o que aprender e o significado das informações recebidas é ver através das lentes de uma realidade em constante mudança. Mesmo que uma resposta possa ser correta agora, ela pode se tornar errada amanhã devido a mudanças nas circunstâncias que cercam a informação e que influenciam a decisão. (Siemens, 2004, p.6).

Na área da bioquímica, essa abordagem pode ser altamente vantajosa. Inicialmente, o conectivismo estimula o aprendizado por meio de redes, permitindo que os alunos explorem diversas fontes de informação *online*, como vídeos, artigos e fóruns de discussão. Essa variedade de recursos enriquece a compreensão dos conceitos bioquímicos, oferecendo diferentes perspectivas e abordagens.

Além disso, o conectivismo fomenta a colaboração entre os estudantes. Grupos de estudo *online* podem servir como ambientes nos quais os alunos compartilham conhecimentos e resolvem desafios juntos, promovendo a troca de ideias e o desenvolvimento de habilidades interpessoais (Souza Júnior, 2022).

Outro ponto crucial é a ênfase no aprendizado contínuo, destacada pelo conectivismo. Na bioquímica, um campo onde novas descobertas e tecnologias surgem constantemente, é fundamental que os alunos desenvolvam a habilidade de aprender de forma independente e adaptativa ao longo de suas trajetórias acadêmicas e profissionais (Ordoñez, 2023).

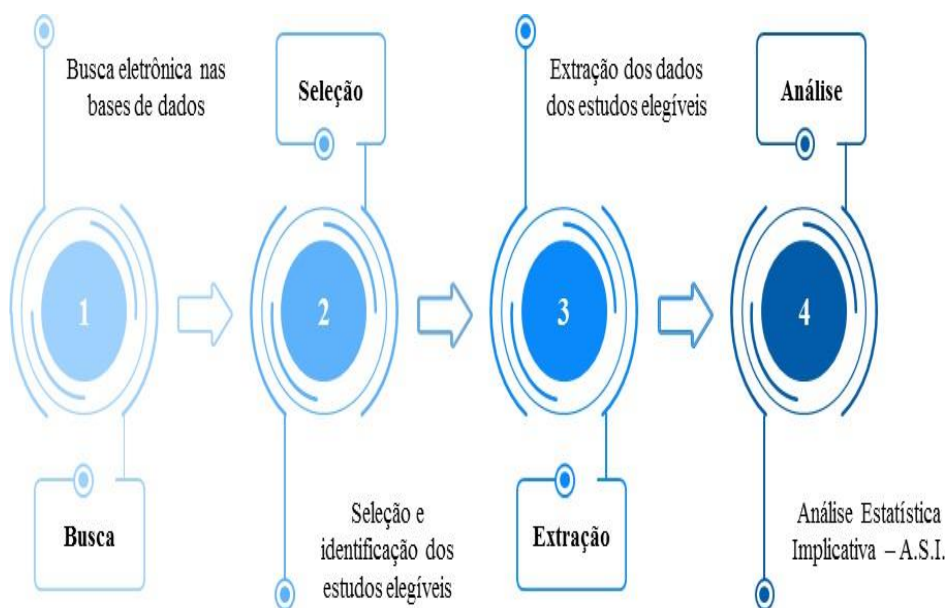
Por fim, o conectivismo permite a personalização do processo de aprendizado, possibilitando que os alunos selecionem os recursos e atividades que melhor se adequem às suas necessidades e interesses individuais. Isso pode aumentar a motivação e o engajamento dos alunos no estudo da bioquímica, tornando a aprendizagem mais significativa e relevante para eles (Wilches Vega, 2021).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Revisão sistemática

Esta pesquisa utiliza métodos mistos, combinando as abordagens qualitativa e quantitativa. Segundo Santos et al. (2017), os estudos que empregam métodos mistos permitem compreender o fenômeno investigado de maneira mais ampla, fornecendo entendimentos que não seriam alcançados ao utilizar apenas uma única abordagem. A fim de analisarmos a utilização de recursos tecnológicos digitais direcionados ao processo de ensino e aprendizagem de Bioquímica, foi realizada uma revisão sistemática a partir de artigos originais publicados em dissertações, teses e periódicos indexados nas bases de dados eletrônicas. O presente estudo consistirá em quatro etapas (Figura 5): Busca eletrônica nas bases de dados (etapa 1), seleção e identificação dos artigos elegíveis (etapa 2) extração dos dados dos estudos incluídos na revisão (etapa 3) (Silva; Lins; Leão, 2015), análise estatística implicativa (A.S.I) (etapa 4)

Figura 5: Descritores da Pesquisa



Fonte: Os autores

As etapas supracitadas estão em consonância com os procedimentos propostos por Megid Neto (1999):

- (1) a identificação de trabalhos produzidos na área – tais como dissertações,

teses, artigos publicados em periódicos, relatórios de pesquisa, trabalhos publicados em atas de eventos científicos, entre outros;

(2) a seleção e classificação dos documentos segundo critérios e categorias estabelecidas em conformidade com os interesses e objetivos do pesquisador;

(3) a descrição e análise das características e das tendências do material;

(4) a avaliação dos seus principais resultados, contribuições e lacunas.

#### **4.2 Etapa 1: Entrada - Busca eletrônica nas bases de dados**

As bases de dados consultadas serão Google Acadêmico, Plataforma CAPES, Scielo, Revista Ciência & Educação, Revista DOAJ (Directory of open access journals) e anais dos seguintes eventos: ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências), CONEDU (Congresso Nacional de Educação), CONAPESQ (Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências) e no Simpósio Internacional de Enseñanza de las Ciencias. O período da pesquisa inclui estudos publicados entre os anos de 2014 até 2023, nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola.

#### **4.3 Etapa 2: Processamento - Seleção e identificação dos documentos elegíveis**

Para a identificação dos artigos elegíveis para inclusão na revisão, foi realizada uma triagem inicial pelos títulos, seguida pela análise dos resumos. O objetivo foi identificar os trabalhos que atendessem aos seguintes critérios de inclusão: utilização de ferramentas de RA, enquadramento no recorte temporal estabelecido (2014-2023) e apresentação de resultados sobre o impacto da RA no ensino de bioquímica. Foram excluídos os trabalhos publicados apenas em formato de resumo, aqueles que não se concentram em ferramentas de RA e os que estão fora do recorte temporal estabelecido (2014-2023).

#### **4.4 Etapa 3: Saída - Extração dos dados**

Em posse dos artigos foi feita a extração dos seguintes dados primários:

- Referência da publicação;
- Tamanho da amostra;
- Identificação do recurso tecnológico digital utilizado;
- Identificação dos conteúdos trabalhados;
- Contribuições da aplicação de recursos tecnológicos no ensino de bioquímica;

- Limitações da aplicação de recursos tecnológicos no ensino de bioquímica.

Os descritores selecionados para este estudo estão alinhados com os descritores propostos por Megid Neto (1999) e com os índices de tendências desenvolvidos pelo Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC).

De acordo com Megid Neto (1999), é essencial identificar o ano de publicação para caracterizar o desenvolvimento da produção acadêmica ao longo do tempo, contribuindo para a compreensão de sua evolução histórica. Além disso, o descritor "autor" permite traçar um perfil dos autores, considerando aspectos como sua formação inicial e trajetória acadêmica.

Os dados obtidos foram organizados em uma planilha no Editor de Planilhas do Microsoft Excel, com o objetivo de realizar uma análise estatística posterior, baseada na Análise Estatística Implicativa (A.S.I.), utilizando o software CHIC (Classificação Hierárquica Implicativa e Coesitiva).

Além desses dados, foram extraídas informações metodológicas de cada artigo (dados secundários), com foco em tendências como: procedência dos artigos, ano de publicação, modalidade de ensino, método de abordagem, custo, compatibilidade com sistemas operacionais, acesso à internet, idioma, nível de ensino e aplicação das ferramentas em sala de aula. Esses dados foram tratados por meio da Análise Estatística Implicativa (A.S.I.) e estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados secundários adotados para análise dos artigos

<b>Dado</b>	<b>Descrição</b>
PROCEDÊNCIA DOS ARTIGOS	Identificação das bases de dados de onde o artigo está anexado.
ANO DE PUBLICAÇÃO	Identificação do ano em que o artigo foi publicado.
MODALIDADE DE ENSINO	Identificação sobre qual grupo focal os artigos selecionados aplicam seu objetivo de pesquisa, sendo eles ensino médio, superior ou não informado por parte do artigo.
INSTITUIÇÃO	Identificação do ambiente escolar na qual o desenvolvimento da pesquisa foi desenvolvido, sendo eles em espaços públicos, privados ou não informado por parte do autor.
MÉTODO DE ABORDAGEM	Identificação da aplicação da modalidade de ensino, sendo elas presencial, remota ou híbrido.

CUSTO	Identificação do custo de manuseio da ferramenta digital utilizada nos artigos selecionados, sendo ela gratuita ou não.
COMPATIBILIDADE DE SISTEMA OPERACIONAL	Identificação da compatibilidade de acesso das ferramentas digitais utilizadas nos artigos selecionados, sendo elas android, windows ou ambas as plataformas.
ACESSO A INTERNET	Identificação se a ferramenta digital utilizada necessita de acesso a internet ou não.
IDIOMA	Identificação da linguagem da ferramenta utilizada, podendo ser português ou inglês.
NÍVEL DE ENSINO	Identificação do nível de assunto na qual foi direcionado a aplicação das ferramentas digitais, sendo elas básico ou superior.
APLICAÇÃO DA FERRAMENTA EM SALA DE AULA	Identificação da condução das ferramentas utilizadas nos artigos selecionados, sendo elas aplicadas como conhecimento prévio, fixação do conteúdo, durante a aula e não informado por parte do autor.

Fonte: Os Autores

#### 4.5 Etapa 4: Análise Estatística Implicativa (A.S.I.)

Os descritores selecionados para este estudo estão em consonância com os descritores elaborados por Megid Neto (1998) e com os índices de tendências desenvolvidos pelo Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC). A A.S.I. (Análise Estatística Implicativa) viabiliza a identificação de propriedades e contextos que outras abordagens não permitiriam, mas também revela suas limitações, resultando em novos desafios em torno do conceito-objeto de quase-implicação.

A lógica que sustenta a interpretação dos resultados da Análise Estatística Implicativa é, fundamentalmente, de natureza probabilística. Diante do exposto, esta etapa consistiu na utilização da A.S.I., que sinaliza tendências por meio das relações de implicação "causa-efeito", permitindo inferências baseadas nos descritores escolhidos. No Quadro 2, apresentamos os dados e seus respectivos códigos utilizados na A.S.I.

Quadro 2 - Dados secundários e respectivos códigos utilizados na A.S.I.

Variável	Descrição	Código	Descrição	Código
PROCEDÊNCIA DOS ARTIGOS	SBBQ	Art_Sbbq	TEAR	Art_Tear
	ENPEC	Art_Enpe	IICONIED	Art_Conied
	CTRL+E	Art_Ctrl	UFMS	Art_Ufms
	UFGO	Art_Ufgo	UFF	Art_Uff
	UFMG	Art_Ufmg	IFRS	Art_Ifrs
	UFMT	Art_Ufmt	DIVERSITA	Art_Diver
	BJD	Art_Bjd	R.SOCIETY	Art_Rs
ANO DE PUBLICAÇÃO	2015	A_2015	2020	A_2020
	2016	A_2016	2021	A_2021
	2018	A_2018	2022	A_2022
	2019	A_2019		
MODALIDADE DE ENSINO	E.Médio	Mod_Em	E.Super	Mod_Es
	Não infor	Mod_Ni	-	
INSTITUIÇÃO	Pública	Ins_Pub	Privada	Ins_Pri
	Não infor	Ins_Ni	-	
METODO DE ABORDAGEM	Ens.Presencial	Ens_pres	E.Remoto	Ens_Rem
	E.Hibrido	Ens_Hibri	-	
CUSTO	C.Gratuito	C_Gra	C.Pago	C_PG
COMPATIBILIDADE DE SISTEMA OPERACIONAL	CSO.Android	S_andro	CSO.Windows	S_Win
	CSO.Multiplataforma	S_Multi	-	

ACESSO A INTERNET	App.Online	App_On	App.Offline	App_Off
ESCOLHA DE IDIOMA	Id.Portugues	Id_Por	Id.Ingles	Id_Ing
NIVEL DE ENSINO	Ni.Basico	Ni_Bas	Ni.Superior	Ni_Super
APLICAÇÃO DO APLICATIVO DURANTE A AULA	Apli.Previo	Apli_Pre	Apli.Fixa	Apli_Fix
	Apli.Aula	Apli_Aula	Apli_Não infor	Apli_Ni

Fonte: Os Autores

Portanto, a pesquisa em tela é composta por quatro etapas conforme podemos verificar no Quadro 3 que sintetiza e correlaciona as etapas metodológicas e o referencial teórico adotado para a Revisão Sistemática.

Quadro 3 – Correlação entre as etapas metodológicas e o referencial teórico adotado para a Revisão Sistemática

<b>Etapas da Pesquisa</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>Correlação com a Metodologia</b>
Busca eletrônica nas bases de dados	Megid Neto (1999); Silva, Lins e Leão (2015)	Foi realizada a busca eletrônica nas bases de dados: Google Acadêmico, Plataforma CAPES, Scielo, Revista DOAJ e anais do ENPEC, CONEDU e CONAPESC a partir das palavras-chave: Ensino de Ciências, Tecnologias Digitais e TDIC.
Seleção e identificação dos estudos elegíveis	Megid Neto (1999); Silva, Lins e Leão (2015)	A seleção dos artigos ocorreu em duas etapas: triagem pelos títulos e análise dos resumos. Foram incluídos estudos que utilizaram ferramentas de RA a partir do recorte temporal de 2014-2023, e que apresentaram resultados sobre seu impacto no ensino de Bioquímica.
Extração dos dados dos estudos elegíveis	Megid Neto (1999); Silva, Lins e Leão (2015)	Foram extraídos dos artigos dados como referência da publicação, tamanho da amostra, recurso tecnológico utilizado, conteúdos abordados, contribuições e limitações para o ensino de Bioquímica.

Análise Estatística Implicativa (ASI)	Régnier e Andrade (2020)	Foi realizado o tratamento dos dados por meio da Análise Estatística Implicativa (ASI) utilizando o <i>software</i> CHIC a fim de constatar tendências por meio das relações de implicação “causa-efeito” que permitem fazer inferências através dos descritores escolhidos.
---------------------------------------	--------------------------	--

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa 1, foram realizadas buscas de ferramentas pedagógicas voltadas para o ensino e aprendizagem de conceitos moleculares de bioquímica, com enfoque em abordagens baseadas em RA. Essas buscas foram conduzidas conforme o planejamento descrito na metodologia. No período entre 2014 e 2023, foi identificado um total de 30 artigos.

Na etapa 2, com o objetivo de refinar o foco da pesquisa, foram selecionados 23 documentos elegíveis, os quais abordam como conceito principal os conteúdos relacionados à química e bioquímica e que utilizam a RA como ferramenta central. Os artigos excluídos apresentavam como metodologia a utilização de realidade virtual. Conforme discutido anteriormente, a diferença entre as duas tecnologias reside no fato de que a RV cria um ambiente completamente digital e imersivo, enquanto a RA sobrepõe elementos digitais ao ambiente real, utilizando dispositivos tecnológicos, como smartphones ou óculos especializados. No quadro 4, é apresentado o título dos documentos encontrados e a realidade aumentada correspondente.

Quadro 4- Textos selecionados nas Etapas 01 e 02. Coluna 3/Tipo de documento: D (Dissertação); T (Tese); TE (Trabalho em evento científico); A (Artigo).

Código	Ano	Tipo	Título	RA
T1	2014	T	Dispositivos móveis no ensino de Química: o professor formador, o profissional de informática e os diálogos possíveis.	ChemAR
T2	2015	A	RA no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático.	ARChem
T3	2015	TE	Uma aplicação da RA em laboratórios mistos para ensino de Química.	ChemAugmented
T4	2017	D	Estudo da contribuição da RA para o ensino de Química nos cursos técnicos integrados ao ensino médio no IFG Campus Jataí.	Elements 4D

T5	2017	A	RealityConvert: A tool for preparing 3D models of biochemical structures for augmented and virtual reality.	RealityConvert
T6	2018	TE	Tabela Periódica com RA Aplicada no Processo de Ensino e Aprendizagem de Química.	Aurasma
T7	2018	A	A ciência pelas lentes dos smartphones: o potencial do aplicativo QR CODE no ensino de Química.	QR CODE
T8	2018	TE	QuiRA: An Augmented Reality Application to Support Chemistry Learning.	QuiRA
T9	2018	A	Aplicativos para o ensino e aprendizagem de Química Orgânica.	ChemDraw
T10	2018	TE	Desenvolvimento de um aplicativo para ensino de química usando RA	ARCore
T11	2018	A	O ensino do modelo atômico de Borh em livros texto e uma nova proposta com RA para promover a visualização.	Merge Cube
T12	2018	A	Mobile Augmented Reality Assisted Chemical Education: Insights from Elements 4D.	Elements 4D
T13	2018	A	Developing and Demonstrating an Augmented Reality Colorimetric Titration Tool.	Vuforia
T14	2018	A	Augmented Reality Experimentation on Oxygen Gas Generation from Hydrogen Peroxide and Bleach Reaction.	Elements 4D
T15	2019	TE	Investigação de Novas Estratégias para o Ensino de BioQuímica Estrutural por meio de RA.	ARCore
T16	2019	A	Augmented Immersive Reality (AIR) for Improved Learning Performance: A Quantitative Evaluation.	Augmented Immersive Reality
T17	2020	A	Aplicativos de realidade virtual e RA para o ensino de Química.	Elements 4D

T18	2020	A	Realidade virtual e aumentada: um relato sobre a experiência da utilização das tecnologias no Ensino de Química.	ARKit
T19	2020	A	O uso da RA no ensino de Química sob a ótica de Bachelard: um obstáculo ou uma possibilidade?	Aurasma
T20	2020	A	ARminoGame: Um Jogo Colaborativo com Realidade Aumentada para Ensino de Bioquímica Estrutural.	ARminoGame
T21	2021	A	Using augmented reality technologies for STEM education organization.	360ed's Elements AR
T22	2021	D	Desenvolvimento de projeto em RA para o ensino dos conceitos da cinética química.	Arloon Chemistry
T23	2023	D	Realidad Aumentada como estrategia de aprendizaje de Química para alumnos de primero de bachillerato.	Arloon Chemistry

Fonte: Os autores

Na etapa 3 foi desenvolvido a extração dos dados pré-estabelecidos de acordo com os dados supracitados na etapa da metodologia, a fim de identificar os recursos tecnológicos digitais utilizados e as contribuições da aplicação de recursos tecnológicos no ensino de bioquímica. No Quadro 5, são apresentadas as ferramentas encontradas, acompanhadas de uma breve descrição de suas funcionalidades e suas principais contribuições para o processo de ensino-aprendizagem, destacando como cada recurso auxilia na compreensão dos conceitos bioquímicos.

Quadro 5- Ferramentas de RA e uma Breve Descrição sobre sua Função

Ferramenta	Breve Descrição
360ed's Elements AR	Ferramenta de RA que permite aos usuários explorar elementos químicos de uma maneira interativa e imersiva. Oferece uma experiência educacional permitindo que os alunos visualizem e manipulem modelos tridimensionais de elementos químicos, facilitando a compreensão de conceitos fundamentais da química.

ARChem	Ferramenta de RA projetada para auxiliar no ensino de química. Ele permite aos usuários visualizar modelos tridimensionais de moléculas e reações químicas em um ambiente virtual, oferecendo uma experiência prática e imersiva que facilita a compreensão de conceitos complexos.
ARCore	Plataforma de RA desenvolvida pela Google, projetada para permitir a criação de experiências de AR em dispositivos Android. Com o ARCore, os desenvolvedores podem integrar objetos virtuais em tempo real ao mundo físico por meio da câmera do dispositivo, oferecendo uma experiência imersiva aos usuários.
ARKit	Plataforma de RA desenvolvida pela Apple para dispositivos iOS. Ela permite que os desenvolvedores criem experiências de RA envolventes e interativas, integrando objetos virtuais ao ambiente físico por meio da câmera do dispositivo. Os usuários podem desfrutar de aplicativos e jogos que combinam o mundo real com elementos virtuais de maneira fluida e imersiva.
ARminoGame	Jogo que utiliza RA para permitir que os jogadores interajam com modelos de aminoácidos em um ambiente tridimensional. Os jogadores podem explorar e manipular os aminoácidos, aprendendo sobre suas estruturas e propriedades de uma forma interativa e divertida. Essa ferramenta é especialmente útil para estudantes e entusiastas da biologia molecular interessados em compreender melhor a composição e a função dos aminoácidos.
Arloon Chemistry	É um aplicativo inovador e interativo que revoluciona a maneira como ensinamos aos estudantes a escrever fórmulas químicas inorgânicas. Com o Arloon Chemistry, os alunos aprendem a escrever fórmulas e nomear compostos químicos de forma envolvente e criativa.
Aurasma	É uma plataforma de RA que permite aos usuários criar e visualizar experiências interativas através de dispositivos móveis. Com Aurasma, é possível sobrepor elementos digitais, como vídeos, imagens e modelos 3D, sobre o mundo real, tornando objetos físicos ou locais em pontos de acesso a conteúdos digitais adicionais.
ChemAR	É uma ferramenta de RA voltada para o ensino de química. Ela permite aos usuários visualizar estruturas moleculares em 3D sobrepostas ao ambiente físico, proporcionando uma experiência interativa e imersiva de aprendizado.

ChemAugmented	é uma ferramenta de RA dedicada ao campo da química. Ela oferece aos usuários a capacidade de visualizar modelos moleculares em 3D sobrepostos ao ambiente real por meio de dispositivos como smartphones ou tablets.
ChemDraw	É uma poderosa ferramenta de software utilizada por cientistas e estudantes na área da química para desenhar estruturas moleculares, reações químicas e esquemas relacionados. Com uma ampla gama de recursos e funcionalidades, o ChemDraw permite criar representações precisas e detalhadas de moléculas, facilitando o trabalho de pesquisa, comunicação científica e ensino na área da química.
Elements 4D	É um aplicativo de RA que permite aos usuários explorar elementos químicos em 4D, ou seja, em três dimensões com o elemento tempo adicionado. Com essa ferramenta, os usuários podem visualizar e interagir com modelos tridimensionais de elementos químicos, observar suas propriedades físicas e químicas, e até mesmo realizar experimentos virtuais.
Merge Cube	É um dispositivo de RA em forma de cubo que pode ser usado em conjunto com aplicativos de AR para criar experiências interativas em 3D. Os usuários podem segurar o cubo e explorar diferentes cenários, objetos e conteúdos virtuais que são projetados sobre ele. Ele oferece uma experiência tátil única, permitindo que os usuários manipulem e interajam com os objetos virtuais como se estivessem realmente lá.
QR CODE	É um tipo de código de barras bidimensional que pode armazenar uma grande quantidade de informações, como texto, links, números de telefone e muito mais. Quando digitalizado por um dispositivo compatível, como um smartphone ou tablet, o QR Code pode direcionar o usuário para uma página da web específica
QuiRA	Essa ferramenta combina a tecnologia de códigos QR com RA para proporcionar uma experiência interativa ao usuário. Ao escanear um código QR com um dispositivo móvel equipado com um aplicativo QuiRA, os usuários podem acessar conteúdo digital, como vídeos, imagens ou animações, que são sobrepostos ao mundo real por meio da tela do dispositivo.
RealityConvert	É uma ferramenta de software projetada para converter modelos 3D em formatos compatíveis com RA e realidade virtual (VR). Ele permite que os usuários criem modelos tridimensionais realistas de objetos, estruturas ou ambientes e os integrem em aplicativos ou plataformas de AR/VR.

Vuforia	É uma plataforma de desenvolvimento de RA que fornece ferramentas e recursos para criar experiências interativas e envolventes. Ele permite aos desenvolvedores integrar elementos digitais, como imagens, vídeos e modelos 3D, em ambientes do mundo real por meio de dispositivos móveis, como smartphones e tablets.
---------	---

Fonte: Os autores

Durante a revisão sistemática, foram identificados estudos que utilizam a Tecnologia Digital da Informação e Comunicação (TDIC) em diferentes modalidades de ensino, principalmente no ensino médio e superior, com foco no ensino de bioquímica. Almeida (2017) trabalhou com a ferramenta *Elements 4D* junto a alunos do ensino médio no IFG Câmpus Jataí, contando com a participação de 24 estudantes do terceiro ano. Como retorno, observou-se que a utilização da tecnologia de RA proporcionou interatividade por meio da aplicação, inovação tecnológica no processo de ensino e a possibilidade de visualização de conteúdos de forma mais dinâmica.

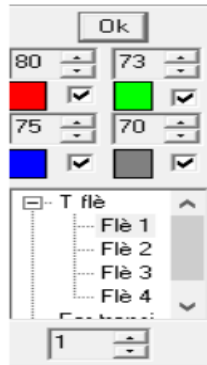
De forma complementar, os estudos de Merino (2018) apresentaram resultados da aplicação da ferramenta *Merge Cube* com a participação de 36 alunos, com idades entre 12 e 13 anos, em uma escola privada subsidiada na região de Valparaíso, no Chile. O objetivo foi abordar os conceitos do modelo atômico de Bohr, e os resultados indicaram melhorias significativas na compreensão dos estudantes sobre o modelo mecânico-quântico, alinhadas aos objetivos de aprendizagem estabelecidos pelo Programa de Estudos Químicos. Além disso, a pesquisa destacou a utilização de tecnologias avançadas, como a RA, para promover a capacidade metavisual dos alunos, facilitar a interpretação de conteúdos complexos e integrar aplicações de RA nas sequências educacionais, proporcionando uma aprendizagem personalizada e interativa em ciências.

### 5.1 TENDÊNCIAS GERAIS DOS ARTIGOS À LUZ DA A.S.I.

Na construção do grafo implicativo consideramos o valor mínimo do índice implicativo como sendo 0,70, tendo em vista o número de variáveis utilizadas procuramos os valores mais altos como forma de seleção das relações mais fortes. As setas foram agrupadas em cores, conforme o valor do índice (Figura 4). Assim, setas de cores diferentes indicam índices de implicação diferentes (vermelho  $\geq 0,80$  > azul  $\geq 0,75$ ; > verde  $\geq 0,73$ ; > cinza  $\geq 0,70$ ). Ressaltamos que os cálculos foram feitos aplicando a

transitividade 1 o que representa implicações mais diretas sem o intermédio de outras variáveis, na figura 6 é possível observar os valores atribuídos para cada cor e a transitividade 1.

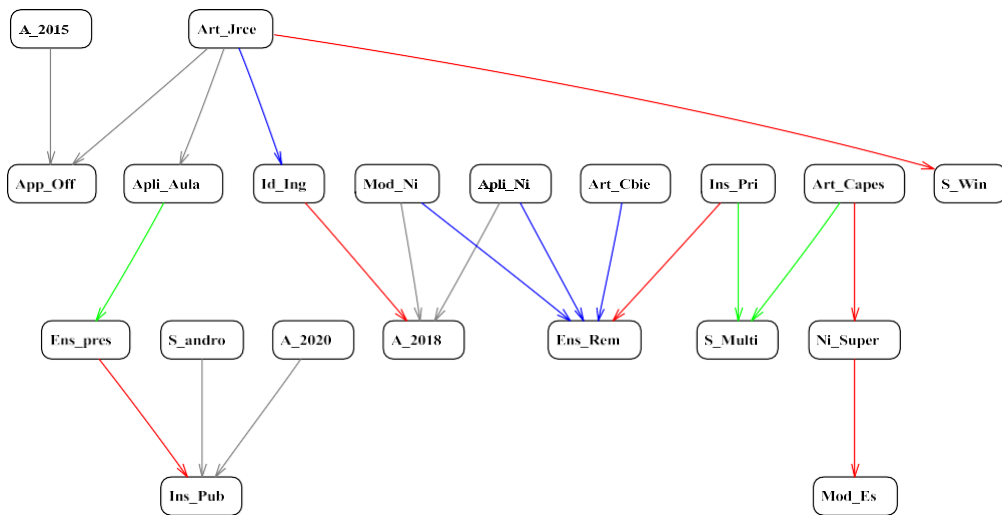
Figura 6: Índice de valores



Fonte: Os autores

Na figura 6 apresentamos o grafo implicativo gerado no CHIC, relacionado aos grupos de maior características de tendências – Procedência dos artigos, Ano de publicação, Aplicação em sala de aula, Idioma, Acesso a internet, Metodo de abordagem, Compatibilidade de sistema opercaional e Modalidade de ensino.

Figura 7: Grafo implicativo das maiores relações entre as variáveis.



Fonte: Os autores

Com base no grafo acima, apresentamos detalhadamente no modo cone as análises:

Código de linguagem computacional:

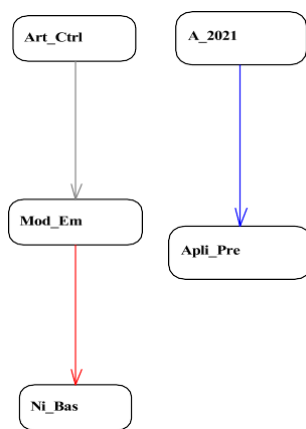
- $A_{2015} \Rightarrow App\_Off \Rightarrow Art\_Jrce \Rightarrow - App\_Off \Rightarrow Apl\_Aula \Rightarrow Id\_Ing \Rightarrow S\_Win$ .

Observamos, diante dessa relação de implicação, que os artigos encontrados no ano de 2015, que utilizam as ferramentas *ArChem* e *ChemAugmented*, se encaixam na categoria de trabalhos com acesso à internet para manuseio no modo offline. Além disso, suas aplicações foram direcionadas exclusivamente para o ensino presencial, com predominância em instituições públicas, utilizando o sistema operacional Android até meados de 2020.

Já os artigos publicados na *Jornacitec* e *CBIE* mostram que, em sua maioria, os aplicativos desenvolvidos possuem linguagem apenas em inglês, com foco em publicações no ano de 2018. Esses aplicativos foram projetados para o ensino remoto, destacando o contexto do período pandêmico vivenciado durante a COVID-19.

Por fim, os artigos da plataforma Capes indicam que ferramentas como *RealityConvert* e *Augmented Immersive Reality* são mais direcionadas para o ensino superior, devido à complexidade das informações trabalhadas na área da bioquímica.

Figura 8: Grafo implicativo das relações entre as variáveis procedência dos artigos, Modalidade de ensino, Nível de ensino, Ano de publicação e Aplicação em sala de aula.



Fonte: Os autores

Código de linguagem computacional:

- Art\_Ctrl  $\Rightarrow$  Mod\_Em  $\Rightarrow$  Ni\_Bas
- A\_2021  $\Rightarrow$  Apli\_Pre

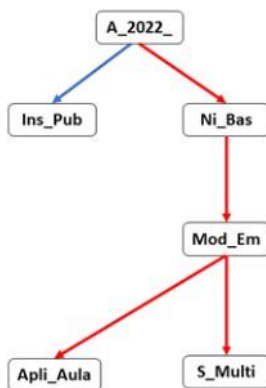
Podemos constatar que os artigos da Ctrl+E trazem consigo publicações mais direcionadas para o ensino médio com o nível do conteúdo trabalhado um pouco mais básico sobre os conceitos bioquímico, com isso temos como exemplo o ArCore e ArminoGamer. Uma informação válida a ser discutido é a predominância do uso das

ferramentas no ano de 2021 serem desenvolvidas e aplicadas de forma presencial nas escolas, e isso se justifica pelo retorno dos alunos as escolas com as devidas medidas rigorosas.

A tecnologia desempenhou um papel fundamental nesse cenário. Ferramentas digitais e plataformas de ensino *online* tornaram-se indispensáveis para garantir a continuidade do aprendizado. Tanto no ensino remoto quanto no híbrido, recursos tecnológicos, como videoconferências, aplicativos educativos e ambientes virtuais de aprendizagem, foram amplamente utilizados para conectar alunos e professores, facilitando o ensino e mantendo o engajamento dos estudantes. A integração da tecnologia na educação tornou-se essencial, destacando sua importância e potencial na adaptação às novas formas de ensino e aprendizagem.

Em 2021, o ensino superior foi significativamente impactado pela pandemia de COVID-19, levando a uma rápida adoção de tecnologias digitais para garantir a continuidade da educação. Essa mudança destacou a importância de os professores se aperfeiçoarem no uso de novas tecnologias para ensinar de forma eficaz a geração de "nativos digitais." Aprofundar-se em metodologias de ensino digital e dominar ferramentas tecnológicas tornou-se essencial para criar ambientes de aprendizagem mais interativos e personalizados, aumentando o engajamento dos alunos e atendendo às suas necessidades individuais. Investir no desenvolvimento profissional contínuo em tecnologias educacionais se tornou crucial para oferecer uma educação de qualidade no mundo atual.

Figura 9 Grafo implicativo das relações entre as variáveis Ano de publicação, Instituição, Nível de ensino, Modalidade de ensino, Aplicação da ferramenta em sala de aula e Compatibilidade do sistema operacional.



Fonte: Os autores

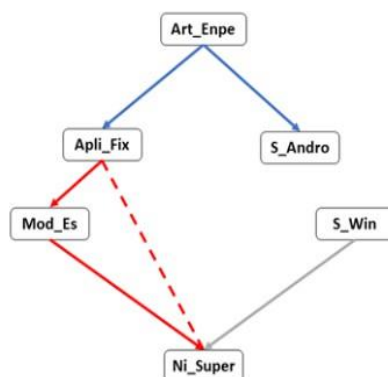
Código de linguagem computacional:

- A\_2022  $\Rightarrow$  Ins\_Pub  $\Rightarrow$  Ni\_Bas
- Ni\_Bas  $\Rightarrow$  Mod\_Em
- Mod\_Em  $\Rightarrow$  Apli\_Aula  $\Rightarrow$  S\_multi

O ano de 2022 apresentou um expressivo número de publicações de artigos científicos envolvendo o uso de ferramentas de RA no ensino de bioquímica. Esse aumento pode estar diretamente relacionado ao contexto educacional pós-pandêmico, quando instituições de ensino, pesquisadores e professores buscaram soluções inovadoras para minimizar os prejuízos causados pelo período de aulas remotas. Durante a pandemia, houve uma aceleração na adoção de tecnologias digitais para o ensino, e a RA emergiu como uma alternativa eficaz para tornar as aulas mais interativas e dinâmicas. Esse movimento, associado à necessidade de inovação no ensino, impulsionou o desenvolvimento de recursos pedagógicos que integram RA, promovendo maior engajamento e compreensão dos conceitos bioquímicos por parte dos estudantes.

Outro fator significativo foi o crescimento da aplicação de ferramentas de RA no nível de ensino médio. A inclusão dessas tecnologias em sala de aula mostrou-se eficaz para abordar conteúdos considerados complexos, como conceitos moleculares e bioquímicos, por meio de uma abordagem prática e visual. Professores relataram que o uso de RA durante as aulas não apenas facilitou a compreensão dos alunos, mas também aumentou sua motivação e participação nas atividades propostas. Esse cenário reflete uma tendência de maior investimento em tecnologias educacionais no ensino médio, evidenciando o potencial da RA para transformar a aprendizagem em experiências mais concretas e significativas.

Figura 10 Grafo implicativo das relações entre as variáveis Procedência do artigo, Aplicação da ferramenta em sala de aula, Modalidade de ensino, Nível de ensino, Compatibilidade do sistema operacional.



Fonte: Os autores

Código de linguagem computacional:

- Art\_Enpe  $\Rightarrow$  Apli\_Fix  $\Rightarrow$  S\_Andro
- Apli\_Fix  $\Rightarrow$  Mod\_Es  $\Rightarrow$  Ni\_Super
- S\_Win  $\Rightarrow$  Ni\_Super

Os artigos publicados na ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências) revelaram um direcionamento predominante para o uso de ferramentas de RA no ensino superior, com foco específico na formação inicial e continuada de professores. Essas publicações destacam que a RA não apenas facilita a compreensão de conteúdos complexos, mas também prepara futuros educadores para integrarem tecnologias inovadoras em suas práticas pedagógicas. A abordagem prática e interativa da RA permite que professores em formação vivenciem situações reais de ensino, simulando cenários de sala de aula e experimentações que auxiliam no desenvolvimento de metodologias mais dinâmicas e eficazes.

A aplicação da RA no ensino superior também desempenha um papel fundamental na promoção da alfabetização tecnológica dos futuros professores. Em um cenário educacional cada vez mais digital, a familiaridade com ferramentas tecnológicas é essencial para que esses profissionais se tornem capazes de criar experiências de aprendizagem mais envolventes e alinhadas às demandas das novas gerações. Além disso, ao utilizar RA em sua formação, os professores têm a oportunidade de refletir sobre a aplicabilidade dessas ferramentas em diferentes níveis de ensino, desde o ensino básico até o superior, contribuindo para a democratização do acesso às tecnologias educacionais e para a melhoria da qualidade do ensino em diversos contextos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as ferramentas de RA no ensino de conceitos moleculares identificando suas contribuições. Os resultados mostraram que, em um cenário educacional em constante mudança, a aplicação das TDICs, especialmente a realidade aumentada, tem ganhado um espaço significativo na percepção de alunos e professores.

A integração de ferramentas de RA nas práticas pedagógicas transformou a dinâmica da sala de aula, promovendo abordagens inovadoras que oferecem interatividade, personalização e acesso a recursos diversos. Alunos, frequentemente nativos digitais, têm respondido positivamente à inclusão dessas ferramentas, mostrando maior engajamento e motivação com conteúdos apresentados de forma visual e interativa.

As ferramentas de Realidade Aumentada (RA) possuem um grande potencial para transformar a dinâmica da sala de aula, tornando-se um diferencial no ensino. Sua integração nas práticas pedagógicas possibilita abordagens inovadoras que promovem interatividade, personalização e acesso a recursos imersivos, enriquecendo a experiência de aprendizado. Alunos, especialmente os nativos digitais, demonstram maior engajamento e motivação ao interagir com conteúdos apresentados de forma visual e dinâmica, o que reforça o impacto positivo da RA no processo de ensino-aprendizagem.

A pesquisa utilizou o software CHIC para analisar os dados coletados, complementado por análises baseadas em conexões e distâncias usando estruturas gráficas no contexto teórico da A.S.I Esses gráficos ajudaram a articular as relações entre variáveis e temas, revelando tendências ocultas em um vasto conjunto de dados. A análise estatística implicativa proporcionou uma abordagem quantitativa, utilizando elementos probabilísticos e estatísticos, contribuindo significativamente para uma visão sistêmica e articulada dos dados.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Sergio Henrique de et al. Estudo da contribuição da realidade aumentada para o ensino de química nos cursos técnicos integrados ao ensino médio no IFG câmpus Jataí. 2017.

Alves, A. F., Felipe, C., Martins, J., Machado, L. S. (2019a) “Uso da Realidade Aumentada como Estratégia para o Ensino de Bioquímica Estrutural”. In: **Revista Tecnologias na Educação 31: art 7.**

ALVES, Alan Ferreira; DOS SANTOS MACHADO, Liliane; FELIPE, Cícero Francisco Bezerra. Arminogame: Um jogo colaborativo com realidade aumentada para ensino de bioquímica estrutural. In: **Anais do V Congresso sobre Tecnologias na Educação.** SBC, 2020. p. 482-491.

Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Gatto, G. J. (2012). Bioquímica (7ª ed.). **Artmed.**

CARDOSO, Raul GS et al. Uso da realidade aumentada em auxílio à Educação. **Anais do Computer on the Beach**, p. 330-339, 2014.

COELHO, Marcos Antônio. Conectivismo: Uma nova teoria da aprendizagem para uma sociedade conectada. **SAPIENS-Revista de divulgação Científica**, v. 1, n. 1, 2019.

DEMO, Pedro. Educar pela pesquisa. 7. ed. Campinas: Autores Associados, 2011

DE OLIVEIRA, Paolla Rafaelly Barbosa; DE SOUZA ARAÚJO, Rosângela Vidal. As Redes Sociais nas aulas de Bioquímica: Um instrumento de Interação e Aprendizagem Significativa. In: **Congresso sobre Tecnologias na Educação (Ctrl+ e).** SBC, 2021. p. 396-402.

DIAS, G.; et al. Desenvolvimento de Ferramentas Multimidiáticas para o Ensino de Bioquímica. **Revista PRÁXIS**, vol 5, nº. 9, p.25-30, 2013.

FAVA, R. Educação 3.0. 1. ed. São Paulo: **Saraiva**, 2014.

FREITAS, A. L. P. Bioquímica: do cotidiano para as salas de aula. Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural. **CBME InFormação**, n.11, 2006.

FERREIRA, Adriana Oliveira; LIMA, Cláuciene Aparecida; HORNINK, Gabriel Gerber. O ensino-aprendizagem online de Bioquímica e as ferramentas de mediação: um estudo de caso. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 1, p. 5-23, 2014.

FURTH, B. Handbook of augmented reality. Florida: Springer, 2011.

GABRIEL, M. Educ@r: a (r)evolução digital na educação. 1. ed. São Paulo: **Saraiva**, 2013.

HENRIQUES, L. R; KONING, I. F. M; DIAS, B. K. M; BAGNO, F. F; SANTOS, R. C. V; LEITE, J.P. V. Bioquímica nas escolas: uma estratégia educacional para o estudo da Ciência no Ensino Médio. *Revista ELO - Diálogos em Extensão*, v.5, n.3, dez. 2016.

HERPICH, F.; BOS, A.; KUHN, I.; GUARESE, R. L. M.; TAROUCO, L. M. R.; WIVES, L.; ZARO, M. A. Atividade cerebral no uso de recursos educacionais em realidade aumentada: uma análise da atenção do aprendiz. In: **BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION (SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO-SBIE)**. 2018. Anais [...], p. 1858. 2018.

JERALD, Jason. *The VR book: human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool, 2015.

Kirner, C. (2008) “Evolução da Realidade Virtual no Brasil”. In: X Symposium on Virtual and Augmented Reality, João Pessoa, PB, **SBC**, p. 1-11.

KIRNER, Claudio. **Realidade Virtual e Aumentada**. 2011.

KENSKI, M. V., *Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação*. Campinas: **Papirus**, 2012.

LEE, H.; LONGHURST, M.; CAMPBELL, T. Teacher learning in technology professional development and its impact on student achievement in science. **International Journal of Science Education**, v. 39, n. 10, p. 1282-1303, 2017.

LEDERMAN, Norman G. (orgs.). *Handbook of research on science education*. **New York: Routledge**, 2007.

LEITE, B. S. Aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada para o ensino de Química. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 6, p. e097220-e097220, 2020

LIEBIG, Justus von. *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. 1841.

Machado, A. C. T. (2011) “Novas formas de produção de conhecimento: Utilização de ferramentas da web 2.0 como recurso pedagógico”. **Revista Udesc Virtual**, v. 1, n. 2.

MERINO, Cristian et al. O ensino do modelo atômico de Borh em livros texto e uma nova proposta com realidade aumentada para promover a visualização. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, 2018.

MEGID NETO, J. Tendências da pesquisa acadêmica sobre o ensino de ciências no nível fundamental. 1999. 365 f. Tese (Doutorado) – **Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas**, 1999.

MITRE, Sandra Minardi et al. *Metodologias ativas de ensino-aprendizagem na formação*

profissional em saúde: debates atuais. **Ciência & saúde coletiva**, v. 13, p. 2133-2144, 2008.

ORDOÑEZ, Edith Consuelo Muõz. **Desenvolvimento de material pedagógico em química computacional para auxiliar o aprendizado de química orgânica e bioquímica**. 2023.

PhET Interactive Simulations. Concentração & Solubilidade. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/concentration](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/concentration). Acesso em: 12/10/2024

PRENSKY, M., "Não me atrapalhe, mãe - estou aprendendo!": Como os videogames estão preparando nossos filhos para o sucesso no século XXI - e como você pode ajudar! São Paulo: **Editora Phorte**, 2010.

QUEIROZ, A. S.; DE OLIVEIRA, C. M.; REZENDE, F. S. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático. **Revista**

Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação, v. 1, **n. 2**, 2015.

RODRIGUES, Rafael Cunha; URAKAWA, Marcio Tomio; SANTOS PALHETA, Pedro Henrique. Aplicação da Realidade Aumentada em Marketing. **Engenharia de Computação em Revista**, v. 1, n. 1, 2011.

SIEMENS, George et al. Conectivismo: **Uma teoria de aprendizagem para a era digital**. 2004.

SIEMENS, George (2004). **Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age**.

SILVA, I. M., LINS, W. C. B., & LEÃO, M. B. C. (2015). Uma revisão sistemática sobre a aprendizagem baseada em problemas aplicada ao ensino de química. **Anais: II COINTER PDVL**.

SOUZA JÚNIOR, Airton Araújo de. **Ensino híbrido gamificado de componentes curriculares de bioquímica com foco em sala de aula invertida**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Tiffin, J. and Terashima, N. (**Editors**), "Hyper-reality: Paradigm for the Third Millennium", Routledge, 2001

TORI, Romero; KIRNER, Claudio. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. Porto Alegre: **SBC**, v. 1, 2006.

Vargas LHM. A Bioquímica e a Aprendizagem Baseada em Problemas. **RBEBBM**. 2001.

Witt, D.T.; Rostirola S.C. Conectivismo Pedagógico: novas formas de ensinar e aprender no século XXI. **Revista Thema**, v.16, n.4, p. 1012-1025. 2019.

WILCHES-VEGA, Juan Diego. Teoría del Conectivismo en el Proceso de Aprendizaje en Red de la Respiración Celular. **Revista Docentes 2.0**, v. 12, n. 1, p. 143-150, 2021.