



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Ipojuca

Coordenação de Licenciatura em Química

Curso de Licenciatura em Química

VIRGINIA MARLENE CORREIA

**APLICAÇÕES EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO, NA
QUÍMICA E NO ENSINO DE QUÍMICA: uma Revisão Sistemática de Literatura**

Ipojuca

2021

VIRGINIA MARLENE CORREIA

**APLICAÇÕES EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO, NA
QUÍMICA E NO ENSINO DE QUÍMICA: uma Revisão Sistemática de
Literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Ipojuca, como requisito para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo do Anjos

Ipojuca

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do IFPE – Campus Ipojuca

C824a Correia, Virgínia Marlene
Aplicações em inteligência artificial na educação, na química e no ensino de química: uma revisão sistemática de literatura/ Virgínia Marlene Correia.-- Ipojuca, 2021.
50f.: il.-

Trabalho de conclusão (Licenciatura em Química) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. *Campus Ipojuca*, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Anjos

1. Inteligência artificial. 2. Educação. 3. Ensino de Química. I. Título
II. Anjos, Luiz Carlos Araújo dos.

CDD 371.3

**APLICAÇÕES EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO, NA
QUÍMICA E NO ENSINO DE QUÍMICA: uma Revisão Sistemática de
Literatura**

Trabalho aprovado. Ipojuca, 04 de novembro de 2021.

Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo do Anjos (Presidente-Orientador)
Instituto Federal de Pernambuco

Prof^a Ma. Danyella Jakelyne Lucas Gomes (Membro Externo)
Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho

Prof. Dr. Alberto Antônio da Silva (Membro Interno)
Instituto Federal de Pernambuco

Ipojuca
2021

Dedicatória

Dedico este trabalho, aos meus filhos, esposo, aos meus pais, às minhas irmãs e aos meus sogros, que com muito amor e paciência, não hesitaram e nem mediram esforços para que eu chegasse à essa etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu esposo por se dedicar e incentivar em qualquer coisa que me proponho a fazer.

Aos meus sogros que me apoiaram em todo percurso da minha formação.

A minha mãe e irmãs, que sempre se preocuparam em me manter motivada diante das dificuldades.

Ao meu pai por tudo que ele representou e representa em minha vida, mesmo não estando mais entre nós.

A minha amiga M^a de Fátima e aos amigos da minha irmã Cláudia, agora meus também, Eliane de Medeiros, Roberto de Barros, Daniele Arraes e Leandro Salgado, por terem em momentos importantes colaborado para que eu prosseguisse nessa jornada acadêmica.

Ao professor Me. Marcelo Amorim por me proporcionar oportunidades de crescimento profissional, por seu apoio e valiosos conselhos durante minha formação.

Ao professor Dr. Luiz Carlos A. dos Anjos, pela orientação para a realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho. Muito obrigada!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar como a Inteligência Artificial tem sido utilizada na Educação, na Química e no Ensino de Química, identificando suas aplicações e contribuições, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, para a construção de um portfólio de artigos online com acesso gratuito, a fim de fornecer suporte informativo para professores e estudantes da Licenciatura em Química, que queiram conhecer os termos, conceitos, questões, aplicações e resultados, ou ainda que busquem desenvolver práticas com o uso da Inteligência Artificial no setor educacional. Esta pesquisa foi realizada com o intuito de não esgotar esse tema, mas abrir caminho para reflexão e disseminação, de forma a promover a busca por uma Educação cada vez mais preocupada e ativamente adaptada às necessidades e mudanças da sociedade.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Educação. Ensino de Química

ABSTRACT

The major goal of this work was to verify how Artificial Intelligence has been used in Education, Chemistry and Chemistry Teaching, identifying its applications and contributions, through a Systematic Literature Review, gathering various open access articles in a portfolio, which provides a alternative resource for teachers and students of Chemistry Education, who seek to broaden their knowledge in related terms, concepts, questions, applications and results, or even who are interested in developing practices with the use of Artificial Intelligence in the educational field. This research has not aimed to exhaust the mentioned theme, but to pave the way for reflection and dissemination, in order to promote the search for an Education that is increasingly concerned and actively adapted to the needs and changes of society.

Keywords: Artificial Intelligence. Education. Chemistry Teaching.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Método SSF	14
Quadro 2: Protocolo de Pesquisa	15
Quadro 3: Portfólio Final	17
Quadro 4: Principais respostas sobre as questões de pesquisa	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo geral:	7
2.2 Objetivos específicos:	7
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
3.1 O que é Inteligência Artificial (IA)?	8
3.2 Inteligência Artificial na Educação	11
3.3 Inteligência Artificial na Química	12
3.4 Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino de Química	13
4 METODOLOGIA	14
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	15
5.1 O uso da IA na Educação	24
5.1.1 Sistemas Tutores Inteligentes	26
5.1.2 Aprendizado de Máquina (<i>Machine Learning</i>)	27
5.1.3 Massive Open Online Courses (MOOCs)	29
5.1.4 Chatbot	31
5.1.5 Robótica Educacional	32
5.2 O uso da IA na Química	33
5.3 O uso da IA no Ensino de Química	37
6 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Quando pensamos em Inteligência Artificial (IA), acreditamos que seja algo para um futuro distante. Ainda não nos damos conta de como essa tecnologia vem sendo aplicada em diferentes esferas da atividade humana, como nos setores industriais, comerciais, educacionais, entre outros, que já a utilizam como ferramenta para otimização de processos, análise de dados complexos e personalização (CHASSIGNOL *et al.*, 2018).

O uso da Inteligência Artificial na Educação tem sido objeto de estudo de pesquisa acadêmica há mais de 30 anos. Deixando de ser apenas um enredo para filmes hollywoodianos de ficção científica, para fazer parte do nosso dia a dia, tornando-se também uma realidade nas salas de aula. A fim de apoiar a educação e a aprendizagem, este campo faz investigações onde quer que ocorra, em salas de aula ou locais de trabalho. Relacionando a interdisciplinar IA às ciências da aprendizagem (educação, psicologia, neurociência, linguística, sociologia e antropologia), com objetivo de promover o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem adaptativos e outras ferramentas em IA para Educação, que sejam flexíveis, inclusivas, personalizadas, participativas e eficazes (LUCKIN *et al.*, 2016).

A IA vem sendo aplicada em diversos setores, entre eles o químico, que inicialmente foi fomentado pela necessidade de acelerar a descoberta de medicamentos e reduzir seus enormes custos, bem como, acelerar novos lançamentos no mercado. Contudo as aplicações da IA na química não se restringiram à descoberta de novas drogas, partindo assim, para previsão de propriedade da molécula, projeção de molécula, retrossíntese, previsão do resultado da reação, previsão de condições de reação, e otimização da reação química, entre outras (BAUM *et al.*, 2021).

É crescente a presença das novas tecnologias entre os jovens estudantes, uma realidade em que nem sempre a formação inicial ou continuada de professores consegue acompanhar tais avanços, pois já vem enrijecida por velhos moldes pedagógicos. Surgindo a necessidade de integrar essas tecnologias aos modelos de ensino, sendo assim, inúmeras iniciativas e pesquisas quanto à utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação –

TICs, buscam agregá-las aos programas de formação de professores, permitindo que esses profissionais conheçam e se familiarizem com essas ferramentas, ou até, em caso de aprender a utilizá-las, passem a agregá-las à sua prática docente (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Nesse contexto, considerando o uso da IA, tanto para a Educação, como para a Química, a presente pesquisa busca identificar quais são as suas aplicações e como estão sendo utilizadas também no Ensino de Química.

Considerando a ideia de Rosa e Grotto (2016, p.3) de que, “a construção de novos significados está relacionada ao reconhecimento pelo professor de que ele é um educando. Que aprende e precisa aprender a cada novo instante”. Esta pesquisa buscou criar através de uma Revisão Sistemática de Literatura, um portfólio de artigos *online* com livre acesso, que permita aos professores e estudantes da Licenciatura em Química, leigo ou não, quanto às tecnologias em Inteligência Artificial para Educação, Química e para o Ensino de Química, se atualizarem sobre o tema, seja por intermédio dos resultados apresentados nesse trabalho ou por consulta aos artigos indicados no portfólio. Pretende-se através desta pesquisa expor os termos, os conceitos, as questões e as aplicações abordadas pelas mais recentes pesquisas dessas áreas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Investigar as utilizações e os resultados do uso da Inteligência Artificial na Educação, na Química e no Ensino de Química, para a construção de um portfólio de artigos *online* com livre acesso.

2.2 Objetivos específicos:

- Investigar quais aplicações em Inteligência artificial estão sendo utilizadas na Educação e na Química.
- Identificar como a IA pode ser aplicada no Ensino de Química, e o que pode ser alcançado.
- Identificar as questões que estão sendo levantadas pelos pesquisadores em relação ao uso da IA na Educação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho toma por base em quatro conceitos: Inteligência Artificial, Inteligência Artificial na Educação, Inteligência Artificial na Química e Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino de Química. Estes serão inicialmente esclarecidos, e em seguida, utilizados como lente de análise para responder às questões levantadas na pesquisa.

3.1 O que é Inteligência Artificial (IA)?

De forma superficial e simples, apenas para fins didáticos precisa-se esclarecer alguns termos que neste trabalho serão abordados. Podemos começar por sistemas computacionais, em que existem dois tipos, os tradicionais e os inteligentes. Segundo Casagrande (2019), os sistemas computacionais tradicionais, seguem o processo de uma sequência de passos pré-determinados, ou seja, um algoritmo, um exemplo prático de tal processo percebemos em nosso dia a dia, quando cozinhamos ou lavamos a louça ou até mesmo quando escovamos os dentes, para realizar estas tarefas precisamos seguir uma sequência pré-determinada de passos, que uma vez aprendida, executamos de maneira praticamente automática. Assim também acontece com os sistemas computacionais tradicionais, mas de uma forma limitada, pois eles reproduzem apenas aquilo para o qual fora previamente programado. Podemos utilizar também como exemplo os sistemas utilizados por instituições de ensino, tais como sistemas de gestão ou acadêmico, em que estão pré-programados para executar sempre as mesmas tarefas, por exemplo, calcular as notas semestrais dos alunos através da média aritmética. Estes sistemas não irão “aprender” algo diferente, a não ser que sejam reprogramados. Já os sistemas computacionais inteligentes possuem a propriedade de aprender continuamente, o que pode aproximá-los da capacidade humana, sendo a IA o expoente para esse tipo de sistema.

Em relação ao computador, *hardware* e *software* são duas partes distintas necessárias para seu funcionamento, em relação à primeira, refere-se à parte física da máquina (as peças) ou um conjunto de unidades que constituem um

sistema de processamento de dados (KEEN, 1996). A segunda refere-se à parte lógica da máquina (os programas) (FERNANDES, 2002). O *software* é a parte programável de um sistema de computador. É um elemento central que cria uma estrutura complexa e flexível, conferindo funções, benefícios e valor ao sistema. Mas outros componentes também são essenciais como: plataformas de *hardware*, meios de informação e comunicação, outros tipos de documentos, bancos de dados e até manuais que compõem o sistema de automação (PAULA FILHO, 2003).

Um outro termo bastante utilizado quando se fala em IA é algoritmo, podem ser dadas muitas definições para a palavra, mas atualmente está muito ligada à computação, porém este termo não depende necessariamente de estar associado a mesma, pois também é utilizado em outras áreas, como em administração e engenharia. Algoritmo é definido como “um procedimento passo a passo para a solução de um problema”, ou ainda, “uma sequência detalhada de ações a serem executadas para realizar tarefas” (MEDINA e FERTIG, 2005, p.13). Desta maneira as ações necessárias para fazer as atividades corriqueiras do dia a dia como preparar um bolo (receita culinária), podem ser consideradas um algoritmo, sendo assim, para executá-lo não precisa necessariamente ser por meio de um computador ou outro tipo de autômato, nós seres humanos os executamos a todo tempo. Porém, o que distingue um algoritmo executado por uma pessoa, de um executado por um computador, é a precisão. Por exemplo, se uma pessoa executar um algoritmo descrito por ela para ir de carro até o trabalho ela pode dizer “se o tráfego estiver ruim, pegue uma rota alternativa”, a diferença está no fato de que ela sabe o que quer dizer “tráfego ruim”, já um computador não saberá. Portanto, um conjunto de etapas descritas com precisão são necessárias para que um computador execute corretamente um algoritmo (CORNEN, 2014). Assim Zanetti, Iseppi e Cassese (2019, p. 2, tradução nossa), consideram que:

Todo software é baseado em algoritmos: listas de instruções usadas para resolver um problema. As instruções para resolver o problema simples "como você faz uma xícara de chá?" é um algoritmo, apresentado em linguagem natural (uma linguagem usada naturalmente por humanos), em comparação com linguagens de programação, usadas por computadores. Visto que AI é um software inteligente, é baseado em algoritmos.

Em 1941, Alan Turing, matemático, lógico, criptoanalista e cientista da computação britânico, pioneiro na Inteligência Artificial e na Ciência da Computação, propôs um modelo teórico conhecido como "Máquina de Turing" usado para simular qualquer forma de computação algorítmica. Turing pesquisava sobre o conceito de "Inteligência Mecânica" e em 1947 as primeiras menções do termo "Inteligência Computacional" foram feitas por ele. Logo em seguida, em 1950, publicou um estudo em que abordava exclusivamente a Inteligência Artificial. Turing não considerava correto especular se as máquinas poderiam pensar, ao invés disso, propõe que deveríamos perguntar se elas poderiam se comportar como os humanos. Baseado em uma brincadeira chamada de "Jogo da Imitação", onde uma pessoa finge ser a outra, ele cria um teste conhecido como Teste de Turing, em que nele é sugerido uma variedade de perguntas envolvendo um computador e um ser humano. Quanto mais perguntas a máquina responder sem que a outra pessoa suspeite de se tratar de um computador, mais parecido com um humano ela seria. Desde então o Teste Turing é usado para demonstrar a capacidade de Inteligência artificial de máquinas e programas (RODRÍGUEZ e BRITO, 2017; TURING, 1937, 1949).

No ano de 1956, durante uma conferência sediada no Dartmouth College, o professor de matemática John McCarthy, utiliza o termo Inteligência Artificial para designar o novo campo de pesquisa, a reunião acadêmica foi organizada para permitir uma discussão aberta sobre a construção de computadores para desempenhar tarefas ligadas à cognição, incluindo abstração e uso de linguagem. A conferência é considerada um divisor de águas e influenciou os trabalhos futuros no campo da IA (HARASIN, 2015).

Quando pensamos em IA, uma das primeiras ideias que vem à nossa mente é a de um supercomputador com uma incrível capacidade de processamento e com um comportamento altamente adaptativo, chegando muito próximo das capacidades e habilidades humanas ou até mesmo superando-as. Elaine Rich (1988), define a IA como uma área de pesquisa que investiga maneiras de permitir que o computador execute tarefas que até o momento os humanos desempenham melhor. Ao longo das últimas décadas surgiram várias definições para a Inteligência Artificial, entre elas a do precursor John McCarthy (2007, p.2, tradução nossa),

É a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes, especialmente programas de computador inteligentes. Está relacionada à tarefa semelhante de usar computadores para entender a inteligência humana, mas a IA não precisa se limitar a métodos que são biologicamente observáveis.

Assim, Rouhiainen (2018) toma também como a capacidade dos computadores de fazer atividades que normalmente implicam a necessidade de inteligência humana, ou seja, máquinas capazes de utilizar algoritmos e aprender com os dados, usando-os em tomadas de decisão, da mesma forma que um ser humano faria, mas a diferença está no fato desses dispositivos baseados em IA, analisarem um grande volume de informações de uma só vez, sem precisar de descanso e ainda com uma proporção de erro muito pequena.

3.2 Inteligência Artificial na Educação

Segundo Aldosari (2020), a Inteligência Artificial é uma das mais modernas aplicações proeminentes dos sistemas de informação, um campo de conhecimento que tem como objetivo estudar e compreender a natureza da inteligência humana e suas simulações, para assim favorecer a geração de computadores inteligentes que através de sua programação os permitam realizar muitas tarefas que necessitam de uma alta capacidade de inferência, dedução e percepção.

O uso de IA na educação (ou termo inglês, *Artificial Intelligence in Education* - AIED), pode ser definido como um campo de pesquisa que há três décadas busca por tecnologias educacionais mais 'inteligente', ou seja, por ferramentas que permitam a abertura do que às vezes é referido como “a caixa preta da aprendizagem”, em que a partir delas é possível a compreensão mais detalhada e profunda de como é realmente gerada a aprendizagem (HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019; TIMMS, 2016).

Sobre a Inteligência Artificial aplicada à Educação podemos afirmar que:

É uma área de pesquisa multi e interdisciplinar, pois contempla o uso de tecnologias da IA em sistemas cujo objetivo é o ensino e a aprendizagem. Dessa forma, sistemas educacionais são um campo de aplicação e testes para as tecnologias da IA. (VICARI, 2018, p.12)

O campo da AIED é derivado e inovador, abrange estudos sobre sistemas de passo a passo instrutivos personalizados, sistemas instrucionais e de diálogos, análise da escrita do aluno, agentes inteligentes em jogos baseados em ambientes, *chatbots* de suporte ao aluno, entre outros. Além desses, ainda explora a aprendizagem e as práticas educacionais para o desenvolvimento de ferramentas baseadas em IA para ajudar a compreender a aprendizagem e outras questões que foram investigadas por muito tempo pelas ciências da aprendizagem e que podem vir a ser aplicadas nas salas de aula. O uso da AIED, pode ainda, apoiar funções administrativas, como horários de aulas e funcionários, agendamento, gerenciamento de instalações, finanças, cibersegurança, etc (HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019).

3.3 Inteligência Artificial na Química

A Inteligência Artificial atualmente está presente em diversos domínios da sociedade, e seus métodos são empregados em diversas tarefas, desde o reconhecimento de fala humana à operação de carros autonomamente. Esses métodos advindos essencialmente da sua capacidade de aprender com os dados, que em muitas vezes estão relacionados às técnicas em IA de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* - ML) ou até mesmo Aprendizado Profundo (*Deep Learning* - DL) (GASTEIGER, 2021).

A IA está intrinsecamente ligada à capacidade das máquinas de agir de maneiras aparentemente inteligentes, ou seja, tomando decisões, respondendo a novas entradas sem ser explicitamente programado para isso, pois os sistemas de IA são projetados para usar modelos baseados em dados para fazer previsões. Diferentemente dos programas de computador tradicionais que geram saídas de acordo com conjuntos explícitos de instruções. Assim, os modelos de IA em geral são treinados primeiramente com conjuntos de dados representativos com valores de saída conhecidos, "aprendendo" a relacionar entrada-saída. Com isso, podem ser usados os modelos treinados resultantes para prever valores de saída de dados semelhantes aos dos conjuntos de treinamento ou até mesmo para gerar novos dados. Portanto os problemas envolvendo dados com relações complexas de entrada e saída que são difíceis

ou impraticáveis para modelar procedimentalmente, são uma oportunidade para a IA (BAUM *et al.*, 2021).

O conhecimento químico partiu inicialmente de dados, sendo colocados todos juntos e, em seguida, analisados, promovendo a compreensão da química. Químicos realizam experimentos para obter dados sobre produtos químicos ou propriedades físicas, em atividades biológicas ou reações químicas. A IA pode ser aplicada a várias tarefas no campo da química, onde conjuntos de dados complexos estão frequentemente presentes, como por exemplo, a previsão por meio de equações baseadas em dados empíricos ou usando cálculos teóricos, para a solubilidade de um novo composto, ou ainda na previsão de propriedades químicas, físicas ou biológicas, no design de propriedades orgânicas, sínteses e na elucidação de estruturas moleculares (BAUM *et al.*, 2021; GASTEIGER, 2021).

3.4 Tecnologias da Informação e Comunicação no Ensino de Química

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), oferecem diversas possibilidades em soluções envolvendo Inteligência Artificial, tecnologias de Internet das Coisas (*IoT*, do inglês *Internet of Things*), *Big Data*, dentre outras (BERNARDINI; BARCELOS; DA CRUZ, 2020). A presença e utilização das TICs no ambiente educacional vem sendo tema crescente de diversas investigações (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Quanto ao Ensino de Química por meio de tecnologias da informação e comunicação, Dionízio *et al.* (2019, p. 12-13), afirmam que:

A aplicabilidade de diversas TICs disponíveis tem tido sucesso e tem sido bem recebidas pelos alunos, já que são amantes das tecnologias. Aplicativos de jogos, tabela periódica, calculadoras químicas, desenhos de moléculas diversas têm auxiliado as aulas, tornando-as mais atrativas e, conseqüentemente, mais significativas. O uso desses aplicativos aliados ao ensino de Química tem trazido mais descontração, interação, diversão, interesse e inovação para as aulas de Química, garantindo um aprendizado mais contextualizado e efetivo.

A Química, pode ser caracterizada como uma ciência experimental e o seu ensino aborda conceitos abstratos, e que podem ser de difícil compreensão por parte dos alunos (ATIKNS, 1999). Dessa forma, a utilização de TICs com a

aplicação de softwares voltados à educação, permitem a visualização de fenômenos químicos, contribuindo para a produção de aulas cada vez mais interativas, tornam os resultados do processo de aprendizagem mais expressivos (TAVARES; SOUZA; CORREIA, 2013; LEAL *et al.*, 2020).

4 METODOLOGIA

Para nortear a análise das publicações, na construção do portfólio, buscou-se por artigos que permitissem responder os seguintes questionamentos: (a) Quais são as aplicações em IA para a Educação, a Química e para o Ensino de Química? (b) Que tipo de resultados tem sido observado com a utilização da IA nestas três áreas? (c) Quais questões estão sendo investigadas em relação ao uso da IA na Educação?

Com o intuito de compreender o uso da Inteligência Artificial na Educação e na Química e em especial no Ensino de Química, bem como também responder às questões de pesquisas levantadas, tomou-se como base a Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Segundo Galvão e Ricarte (2019), a RSL é uma forma de pesquisa, guiada por protocolos específicos, com o objetivo de compreender ou dar alguma logicidade a uma gama de corpus documental, com foco na possibilidade de reprodução por parte de outros pesquisadores, explicitando assim, as estratégias de busca empregadas para a seleção dos artigos, os critérios de exclusão e inclusão, os processos de análise dos mesmos, bem como os dados bibliográficos encontrados nas bases consultadas.

Esta revisão sistemática foi realizada nos meses de abril a julho de 2021, para a sua elaboração foi adotado o método *Systematic Search Flow* (SSF), desenvolvido por Ferenhof e Fernandes (2016), segundo estes autores, permite a replicação das pesquisas de uma forma mais fácil, evitando assim, a desvantagem do viés do pesquisador na escolha de artigos, comum em outros métodos de revisão literatura, como por exemplo na revisão narrativa. Este trabalho em sua execução seguiu as 4 fases e as 8 atividades propostas pelo método SSF (FERENHOF; FERNANDES, 2016), que estão descritas no quadro 1.

Quadro 1 - Método SSF

Fases	Atividades
Fase I - Definição do protocolo de pesquisa	<ol style="list-style-type: none"> 1. definição da estratégia de busca; 2. consultas nas bases de dados; 3. organização do portfólio; 4. definição dos critérios de seleção dos documentos; 5. composição do portfólio bibliográfico.
Fase II - Análise	<ol style="list-style-type: none"> 6. consolidação dos dados obtidos na primeira fase, destrinchamento dos resultados obtidos, análise bibliométricas das publicações.
Fase III - Síntese	<ol style="list-style-type: none"> 7. síntese e sistematização dos dados e conhecimentos mais relevantes obtidos a partir da análise documental.
Fase IV - Escrever	<ol style="list-style-type: none"> 8. redação do trabalho.

Fonte: A autora (2021) a partir de (FERENHOF e FERNANDES, 2016)

Tais fases contribuíram para a sistematização e organização dos dados produzidos, que serão aprofundados no tópico seguinte, logo em seguida os resultados serão apresentados e discutidos.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como mencionado anteriormente esta pesquisa foi executada seguindo o método SSF. A fase 1 compreende cinco atividades, que definiram o protocolo de pesquisa, que serão descritas a seguir no quadro 2.

Quadro 2 - Protocolo de Pesquisa

Fase I- Definição do Protocolo de Pesquisa	
Atividade 1 Estratégia de busca	<p>A estratégia de busca utilizou os termos em inglês “Artificial Intelligence”, “applications”, “Education”, “Chemistry Teaching” e “Chemistry”. Foram feitas combinações entre os termos, juntamente com o operador booleano “AND”. Adotou-se critérios de inclusão e exclusão como: ano de publicação (selecionando aqueles publicados entre 2016-2021, este critério foi ampliado p para os artigos relacionados à aplicação da IA no Ensino de Química, devido a escassez de resultados, sendo selecionando aqueles publicados entre 1990-2021); artigos que contivessem em seu título, resumo, palavras-chave ou corpo do texto, os termos da pesquisa; artigos disponíveis gratuitamente e aqueles publicados nos idiomas inglês, português e espanhol.</p>
Atividade 2 Consulta em Base de Dados	<p>A base de dados escolhida foi o Google <i>Scholar</i>, por trazer em seus resultados artigos de outras bases como ERIC, SciELO, ResearchGate, entre outras. As <i>querys</i> de pesquisa foram montadas na base de dados de forma a recuperar os termos nos campos de palavras-chave, resumo e título: “Artificial Intelligence” AND “Application” AND “Education”; “Artificial Intelligence” AND “Application” AND “Chemistry” e “Artificial Intelligence” AND “Chemistry Teaching”. Em uma busca exaustiva foram selecionados o total de 121 artigos com acesso gratuito ao corpo do texto completo.</p>

Atividade 3 Organização das bibliografias	Utilizou-se para a organização e leitura das bibliografias o <i>software</i> Mendeley Desktop, um gerenciador de referências gratuito que permite anotações, gestão, leitura e compartilhamento das fontes bibliográficas.
Atividade 4 Seleção e Padronização dos Artigos	Nesta atividade foi feita a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave de todos os 121 artigos, filtrando aqueles que estivessem alinhados ao tema da pesquisa. Após a filtragem restaram 82 artigos.
Atividade 5 Composição do Portfólio	Foi feita a leitura parcial dos textos selecionados, excluindo as publicações desalinhadas ao objetivo da pesquisa, ficando 57 artigos. E por último, mais uma filtragem com a leitura completa dos textos para excluir os que não demonstraram aderência ao tema de investigação, excluindo assim, os documentos que foram selecionados anteriormente por possuir termos que remetesse ao tema pesquisado no título, no resumo ou nas palavras-chave. Sendo selecionados para compor o portfólio final 43 artigos.

Fonte: Dados da pesquisa.

Na fase II (atividade 6), a partir da análise dos documentos selecionados, obteve-se a composição do portfólio bibliográfico final. Logo na sequência, foi elaborada a Matriz do Conhecimento sugerida por Ferenhof e Fernandes (2016), que auxiliou a próxima etapa, a fase III (atividade 7), em que os dados das publicações foram exportados do *software* de gerenciamento bibliográfico para uma planilha no Excel, possibilitando com base nos objetivos da pesquisa a extração dos principais dados.

Com o intuito de responder as perguntas norteadoras desta RSL, após a leitura dos artigos e extração dos dados principais com o auxílio da Matriz do Conhecimento, foram criadas categorias de classificação temática, em que os artigos ficaram enquadrados por assuntos similares, para análise, discussão e

composição do portfólio: (1) O uso da IA na Educação, (2) O uso da IA na Química, (3) O uso da IA no Ensino de Química.

No quadro 3, encontra-se o portfólio final contendo todos os artigos selecionados, as temáticas nas quais ficaram vinculados e seus respectivos *links* de acesso.

Quadro 3 - Portfólio Final

Portfólio Final				
Autores	Ano	Título	Temática	Link de acesso
ALDOSARI, S.A.M.	2020	<i>The future of higher education in the light of artificial intelligence transformations</i>	1	https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n3p145
ARTRITH, N. <i>et al.</i>	2021	<i>Best practices in machine learning for chemistry</i>	2	http://dx.doi.org/10.1038/s41557-021-00716-z
BARROS, D. M. V; GUERREIRO, A. M.	2019	Novos desafios da educação a distância: programação e uso de Chatbots	1	https://doi.org/10.5335/rep.v26i2.8743
BAUM, Z. J. <i>et al.</i>	2021	<i>Artificial Intelligence in Chemistry: Current Trends and Future Directions</i>	2	https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00619
BROWN, N. <i>et al.</i>	2020	<i>Artificial intelligence in chemistry and drug design</i>	2	https://doi.org/10.1007/s10822-020-00317-x
CAMPOS, L. F. A. A; LASTÓRIA, L. A. C. N.	2020	Semiformação e inteligência artificial no ensino	1	https://doi.org/10.1590/1980-6248-2018-0105
CHASSIGNOL, M. <i>et al.</i>	2018	<i>Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview</i>	1	https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.233

CHEN, L; CHEN, P; LIN, Z.	2020	<i>Artificial Intelligence in Education: A Review</i>	1	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510
DOGHAIMAT, D. et al.	2018	<i>Molecules and Machine Learning: Image Classification for an AR-Enabled Chemistry Classroom</i>	3	http://www.ccsce.org/research_contest/Addendum2018.pdf#page=7
FLOGIE, A; ABERSEK, B.	2021	<i>Artificial Intelligence in Education</i>	1	https://doi.org/10.5772/intechopen.96498
GASTEIGER, J.	2020	<i>Chemistry in Times of Artificial Intelligence</i>	2	https://doi.org/10.1002/cphc.202000518
GREEN, C. P; ENKVIST, O; PAIRAUDEAU, G.	2018	<i>The convergence of artificial intelligence and chemistry for improved drug discovery.</i>	2	https://doi.org/10.4155/fmc-2018-0161
HOLMES, W; BIALIK, M; FADEL, C.	2019	<i>Artificial Intelligence In Education Promises and Implications for Teaching and Learning</i>	1	http://bit.ly/AIED-
HUANG, J; SALEH, S; LIU, Y.	2021	<i>A review on artificial intelligence in education</i>	1	https://doi.org/10.36941/AJIS-2021-0077
JORDAN, A. M.	2018	<i>Artificial Intelligence in Drug Design - The Storm before the Calm?</i>	2	https://doi.org/10.1021/acsmedchemlett.8b00500
JOSHI, S; RAMBOLA, R. K; CHURI, P.	2021	<i>Evaluating artificial intelligence in education for next generation</i>	1	https://doi.org/10.1088/1742-6596/1714/1/012039
JOSS, L; MÜLLER, E. A.	2019	<i>Machine Learning for Fluid Property Correlations: Classroom Examples with MATLAB</i>	3	https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00692

KENGAM, J.	2020	<i>Artificial Intelligence in Education</i>	1	https://doi.org/10.1002/0470845015.caa011m
KISHIMOTO, A; BUESSER, B; BOTEÁ, A.	2018	<i>AI meets chemistry</i>	2	https://doi.org/10.31226/osf.io/va5zr
LUZZI, F. <i>et al.</i>	1998	Assistente Inteligente para suporte ao Ensino de Química Orgânica	3	http://www.ufrgs.br/niee/eventos/RIBIE/1998/pdf/com_pos_dem/120.pdf
LUCKIN, R. <i>et al.</i>	2016	<i>Intelligence Unleashed. An argument for AI in Education</i>	1	https://www.researchgate.net/publication/299561597_Intelligence_Unleashed_An_argument_for_AI_in_Education
MEUWLY, M.	2021	<i>Transformative Applications of Machine Learning for Chemical Reactions.</i>	2	http://arxiv.org/abs/2101.03530
MURPHY, Robert F.	2019	<i>Perspective Expert insights on a timely policy issue Artificial Intelligence Applications to Support K-12 Teachers and Teaching: A Review of Promising Applications, Opportunities, and Challenges</i>	1	https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep19907.pdf
PÁNTYA, R; ZSAKÓ, L.	2008	<i>Computer-based intelligent educational program for teaching chemistry</i>	3	http://cyber.bibl.u-szeged.hu/index.php/actcybern/article/view/3740
PARREIRA, A; LEHMANN, L; OLIVEIRA, M.	2021	O desafio das tecnologias de inteligência artificial na Educação: percepção e avaliação dos professores.	1	https://doi.org/10.1590/s0104-40362020002803115

PEIRETTI, F; BRUNEL, J. M.	2018	<i>Artificial Intelligence: The Future for Organic Chemistry?</i>	2	https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01773
PENCE, H. E.	2020	<i>How Should Chemistry Educators Respond to the Next Generation of Technology Change?</i>	3	http://dx.doi.org/10.3390/educsci10020034
POPENICI, S. A.D.; KERR, S.	2017	<i>Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education</i>	1	https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8
PREUSS, E; BARONE, D. A. C; HENRIQUES, R. V. B.	2020	Uso de técnicas de Inteligência Artificial num Sistema de Mesa Tangível.	1	https://doi.org/10.5753/cbie.wie.2020.439
RODRIGUEZ, L.G de la C; BRITO, V. S. M.	2017	<i>La inteligencia artificial en la educacion superior. Oportunidades y amenazas</i>	1	https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.399
ROLL, I; WYLIE, R.	2016	<i>Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education</i>	1	https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3
SELLWOOD, M. A.; AHMED, M; SEGLER, M. H.S.; BROWN, N.	2018	<i>Artificial intelligence in drug discovery</i>	2	https://doi.org/10.4155/fmc-2018-0212
SIMOMUKAY, E.	2018	Experiência na construção pedagógica de bots para o Ensino de Química	3	https://periodicos.unemat.br/index.php/relva/article/view/3404/2721
STRUBLE, T. J. et al.	2020	<i>Current and Future Roles of Artificial Intelligence in Medicinal Chemistry Synthesis</i>	2	https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b02120

SUBRAHMANYA M, V. V; SWATHI, K.	2018	<i>Artificial Intelligence and Its Implications in Education</i>	1	https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4763-2.ch014
TANG, A. <i>et al.</i>	2007	<i>Learning Reaction Mechanisms through Qualitative Simulation: Towards the Qualitative Reasoning Approach</i>	3	https://www.academia.edu/download/2672794/2hya2cfznk1lokxp.pdf#page=81
TANG, A; ZAIN, S; ABDULLAH, R.	2010	<i>Development and Evaluation of a Chemistry Educational Software for Learning Organic Reactions Using Qualitative Reasoning</i>	3	https://www.researchgate.net/publication/234119337_Development_and_Evaluation_of_a_Chemistry_Educational_Software_for_Learning_Organic_Reactions_Using_Qualitative_Reasoning
TIMMS, M.J. L.	2016	<i>Letting Artificial Intelligence in Education Out of the Box: Educational Cobots and Smart Classrooms</i>	1	https://www.researchgate.net/publication/290648563_Letting_Artificial_Intelligence_in_Education_Out_of_the_Box_Educational_Cobots_and_Smart_Classrooms
URIARTE, A. P. <i>et al.</i>	2020	<i>ReAQ : An Intelligent Tutoring System with Augmented Reality Technology Focused on Chemistry</i>	3	https://www.researchgate.net/publication/353588645_ReAQ_An_Intelligent_Tutoring_System_with_Augmented_Reality_Technology_Focused_on_Chemistry
VICARI, R. M.	2018	Tendências em Inteligência Artificial na Educação no período de 2017 a 2030	1	http://acervodigital.sistemaindustria.org.br/bitstream/uniep

				ro/259/1/Sumario_tendencias_web.pdf
ZANETTI, M; ISEPPI, G; CASSESE, F. P.	2019	<i>A “psychopathic” Artificial Intelligence: the possible risks of a deviating AI in Education</i>	1	https://doi.org/10.2478/rem-2019-0013
ZHANG, K; ASLAN, A. B.	2021	<i>AI technologies for education: Recent research & future directions</i>	1	https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025
ZHAVORONKOV, A.	2018	<i>Artificial Intelligence for Drug Discovery, Biomarker Development, and Generation of Novel Chemistry</i>	2	https://doi.org/10.1021/acs.molpharmacuet.8b00930

Fonte: dados da pesquisa

A partir da análise dos artigos do portfólio final foi possível constatar que houve um destaque para o ano de 2018 com 11 publicações, correspondendo a 26% das publicações selecionadas para compor o portfólio final, denotando a atualidade do assunto. Apesar de 36 artigos estarem publicados em inglês, 6 em português e 1 em espanhol, os países de origem das pesquisas são bastantes variados, como por exemplo, Austrália, Arabia Saudita, Rússia, Brasil, Equador, Malásia, Índia, China, Estados Unidos da América, Reino Unido e outros países da Europa, o que torna perceptível o interesse mundial pela temática. No que diz respeito à classificação por temáticas, 22 artigos enquadraram-se para o uso da IA na Educação, 12 para o uso da IA na Química e 9 para o uso da IA no Ensino de Química, evidenciando a tendência em relação às pesquisas sobre a IA na Educação. Durante a pesquisa na base de dados Google Scholar, foi utilizado os termos para busca, “*Artificial Intelligence*” AND “*Chemistry Teaching*”, ampliou-se o critério de ano de publicação de 2016 a 2021, para de 1990 a 2021, com objetivo de alcançar mais publicações, mesmo com esse esforço, foram apenas localizados 33 artigos, sendo que 18 deles não possuíam livre acesso, limitando ainda mais a amostra em um total de 15 artigos, restando assim, 9 artigos após todas as filtragens, demonstrando a escassez de pesquisa para esses termos.

O foco principal desta revisão foi investigar de que forma a IA vem sendo utilizada na Educação e na Química, para assim, relacioná-la ao Ensino de Química. A fim de elencar o que foi exposto pelo portfólio, de uma forma geral e não aprofundada, demonstrando brevemente as aplicações, resultados e questões dentro desses contextos, respondendo assim às perguntas norteadoras (a), (b) e (c), contudo, cabe a análise e discussão dos artigos selecionados.

5.1 O uso da IA na Educação

Os artigos citados neste tópico 5.1 apresentam aplicações, análises, pesquisas ou revisões teóricas sobre o uso da Inteligência Artificial na Educação. O enorme potencial e o progresso da IA para várias aplicações no setor de Educação é crescente, com projeções de grandes impactos para os processos de ensino e aprendizagem, nas últimas décadas, diversas tecnologias foram desenvolvidas e incorporadas a esses processos, contudo ainda é modesto o uso da IA nos sistemas que apoiam a educação. Portanto, os sistemas educacionais são um campo para testes e aplicações das tecnologias em IA (KENGAM, 2020; LUCKIN *et al.*, 2016; POPENICE e KERR, 2017; VICARI, 2018; SUBRAHMANYAM e SWATHI, 2020).

Respondendo inicialmente à questão norteadora (c), dentre os trabalhos que compõem o portfólio desta pesquisa, foi possível identificar algumas questões que estão sendo levantadas pelos pesquisadores quanto ao uso da IA na Educação, porém nem sempre eram o objeto de estudo principal das pesquisas. A seguir citaremos as mais recorrentes, como:

- A Inteligência Artificial poderá futuramente substituir os professores nas salas de aula? (CAMPOS; LASTÓRIA, 2020; CHASSIGNOL *et al.*, 2018; FLOGIE; ABERSEK 2021; LUCKIN *et al.*, 2016; PARREIRA; LEHMANN; OLIVEIRA, 2021; POPENICE; KERR, 2017; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; JOSHI; RAMBOLA; CHURI, 2021; ROLL; WYLIE, 2016; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020; ZHANG; ASLAN, 2021);

- Quais os impactos atuais e futuros frente ao uso da IA nas diferentes modalidades de Educação? (ALDOSARI, 2020; BARROS; GUERREIRO, 2019; CAMPOS; LASTÓRIA, 2020; CHASSIGNOL *et al.*, 2018; CHEN L.; CHEN P.; LIN, 2020; KENGAM, 2020; PARREIRA; LEHMANN; OLIVEIRA, 2021; POPENICE; KERR, 2017; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; TIMMS, 2016);
- Como a IA pode melhorar e transformar a educação? Quais as promessas, possibilidades e aplicações da IA para o ensino e aprendizagem? (CHASSIGNOL *et al.*, 2018; HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019; LUCKIN *et al.*, 2016; MURPHY, 2019; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; ROLL; WYLIE, 2016; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020; TIMMS, 2016; VICARI, 2018);
- Quais as vantagens, desvantagens, problemas e desafios quanto ao uso da IA na Educação? (ALDOSARI, 2020; CHEN L.; CHEN P.; LIN, 2020; HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019; KENGAM, 2020; MURPHY, 2019; TIMMS, 2016; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020; ZHANG; ASLAN, 2021);
- Quais as mudanças no papel do professor com a utilização da IA nas salas de aula? (FLOGIE; ABERSEK 2020; LUCKIN *et al.*, 2016; PARREIRA; LEHMANN; OLIVEIRA, 2021; POPENICE; KERR, 2017; RODRÍGUEZ e BRITO, 2017; ROLL e WYLIE, 2016; TIMMS, 2016);
- A IA pode ser uma ameaça à sociedade ou à Educação? (FLOGIE; ABERSEK 2020; CHASSIGNOL *et al.*, 2018; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; ZANETTI; ISEPPI; CASSESE, 2019);
- Quais os dilemas éticos relacionados à IA na Educação? (FLOGIE; ABERSEK, 2020; PREUSS; BARONE; HENRIQUES, 2020; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; ZHANG e ASLAN, 2021).

Percebe-se que essas questões são bem relevantes e denotam a preocupação por parte dos pesquisadores quanto às mudanças de paradigmas na educação devido ao uso da IA.

Em resposta às questões norteadoras (a) e (b), apresenta-se a seguir as aplicações e resultados abordados pelas pesquisas sobre a utilização da IA para Educação, Química e Ensino de Química.

As aplicações de inteligência artificial abrangem diversas áreas da vida, com um destaque importante para a área educacional. Nos artigos selecionados foi possível identificar algumas formas dessas aplicações e resultados em IA que buscam oferecer a possibilidade de aprendizagem mais interessante, personalizada, flexível e inclusiva, entre elas, os **Sistemas de Tutoria Inteligente (*Intelligent Tutoring Systems*)** (CHASSIGNOL *et al.*, 2018; CHEN; CHEN; LIN, 2020; HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019; KENGAM, 2020; LUCKIN *et al.*, 2016; MURPHY, 2019; PREUSS; BARONE; HENRIQUES, 2020; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; JOSHI; RAMBOLA; CHURI, 2021; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020; VICARI, 2018; ZANETTI; ISEPPI; CASSESE, 2019; ZHANG; ASLAN, 2021), o **Aprendizado de máquina (*Machine Learning*)** (CAMPOS; LASTÓRIA, 2020; CHEN; CHEN; LIN, 2020; FLOGIE; ABERSEK 2021; KEMGAM, 2020; LUCKIN *et al.*, 2016; MURPHY, 2019; POPENICE; KERR, 2017; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020; VICARI, 2018; ZANETTI; ISEPPI; CASSESE, 2019; ZHANG; ASLAN, 2021), os **Massive Open Online Course (MOOCs)** (CHASSIGNOL *et al.*, 2018; POPENICI; KERR, 2017; RODRÍGUEZ e BRITO, 2017; VICARI, 2018;), os **Chatbots** (BARROS; GUERREIRO, 2019; CHEN; CHEN; LIN, 2020; SIMOMUKAY, 2018; ZHANG; ASLAN, 2021), e a **Robótica Educacional Inteligente** (HUANG; SALEH; LIU, 2021; TIMMS, 2016; VICARI, 2018;), porém essas aplicações utilizam as tecnologias em IA de formas distintas.

5.1.1 Sistemas Tutores Inteligentes

A aplicação em IA para Educação, mais abordada pelos autores dos artigos, foram os Sistemas de Tutoria Inteligente (STI), sendo abordado em 62% das publicações para esse tema. STI são sistemas de computador inteligentes, voltados para o ensino e aprendizagem, com foco no ensino personalizado

(KEGAM, 2020; VICARI, 2018). Estes sistemas atribuem às atividades de aprendizagem que melhor se adaptam às necessidades cognitivas do aluno, fornecendo *feedback* específico para o mesmo, sem que haja a presença de um professor, para que eles aprendam a controlar sua própria aprendizagem e desenvolvam habilidades de autorregulação (LUCKIN *et al.*, 2016; MURPHY, 2019; PREUSS; BARONE; HENRIQUES, 2020; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; JOSHI; RAMBOLA; CHURI, 2021; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020; ZANETTI; ISEPPI; CASSESE, 2019; ZHANG; ASLAN, 2021).

Os STIs fornecem tutoria individualizada para cada aluno, com base nos dados de conhecimento especializado sobre o assunto, estratégias pedagógicas e as particularidades do estudante. Determinam um caminho, um passo a passo ideal através da aprendizagem, sugerindo materiais e atividades, guiado pelos sucessos e equívocos do aluno. Diante do progresso, o sistema automaticamente vai ajustando o nível de dificuldade e fornecendo orientações ou dicas, adaptando e personalizando a aprendizagem, visando garantir de forma eficaz que o aluno seja capaz de aprender o assunto, portanto, os STIs constroem modelos que auxiliam no processo de ensino e aprendizagem (CHASSIGNOL *et al.*, 2018; CHEN; CHEN; LIN, 2020; HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019; PREUSS; BARONE; HENRIQUES, 2020). Com esse sentido, estes sistemas estão sendo usados para ensinar várias disciplinas, como, ciências, matemática, artes da linguagem e outras (RODRÍGUEZ; BRITO, 2017).

5.1.2 Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*)

Em 1956, um subcampo da Inteligência Artificial é definido como Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*-ML), seguindo inicialmente ideias behavioristas, mas que agora ressurgem repaginadas com princípios construtivistas, propondo parcialmente o deslocamento da autoridade do professor para as tecnologias que processam os dados dos alunos, no que antes eram atividades elaboradas por docentes, como planos de aulas e de estudos personalizados, passaram a ser feitos via técnicas de inteligência artificial e

algoritmos (CAMPOS; LASTÓRIA, 2020; KEMGAM, 2020; LUCKIN *et al.*, 2016; MURPHY, 2019; SUBRAHMANYAM; SWATHI, 2020), ou seja, nas palavras de Campos e Lastória, (2020, p. 4), “[...] por ferramentas estatísticas que automatizam parte da escolha, organização e prescrição dos conteúdos a serem ensinados de acordo com as necessidades educacionais específicas de cada aluno”.

Flogie e Aberšek (2021), apontam que não há inteligência sem aprendizado, e que a aprendizagem não só ocorre obviamente em humanos, mas em quase todos os seres vivos. E chama de aprendizado natural aquilo que um sistema vivo aprende, porém quando o aprendiz se trata de um computador (ou máquina) é chamado de aprendizado de máquina, tendo este último, o propósito de desenvolver métodos para uma melhor compreensão da aprendizagem natural e da inteligência, para assim, facilitar a resolução de problemas algorítmicos que requer conhecimento específico.

O Aprendizado de Máquina utiliza técnicas de aprendizagem para aprender e melhorar a percepção, a resolução heurística de problemas, a compreensão da linguagem, o raciocínio e a prova de teoremas. Estas técnicas possuem capacidades para processar com eficiência e reconhecer padrões complexos em grandes conjuntos de dados com milhares de algoritmos, para construir modelos de previsões e aplicar os padrões recém descobertos em situações que não foram incluídas ou cobertas por um projeto inicial, mais especificamente aplicar novas relações a novas situações por meio do processamento de dados (CHEN; CHEN; LIN, 2020; FLOGIE; ABERSEK 2021; MURPHY, 2019; POPENICE; KERR, 2017; ZANETTI; ISEPPI; CASSESE, 2019).

No contexto educacional o Aprendizado de Máquina pode ser usado para identificar desde os primeiros anos escolares ao ensino superior, as relações entre as características dos alunos e suas tendências quanto a sua frequência, créditos ganhos e pontuações de teste iniciais, sendo este dados considerados variáveis preditoras ou recursos de entrada para o sistema, que através da análise destes dados pode descobrir se há sinais precoces de que um aluno tem alguma dificuldade ou se provavelmente desistirá dos estudos futuramente, possibilitando antecipação de algum tipo de intervenção por parte dos

educadores (LUCKIN *et al.*, 2016; MURPHY, 2019; VICARI, 2018; ZHANG; ASLAN, 2021).

Os sistemas de computação complexos que utilizam algoritmos de Aprendizado de Máquina, desempenham um papel essencial em todas as áreas de IA e abrem uma nova era para instituições de educação em nível superior, pois além de realizarem processamento de tarefas complexas, de tomar decisões apropriadas sobre o conteúdo de aprendizagem a ser fornecida ao aluno, podem servir a pessoas com todos os tipos de habilidades e serem empregados no ensino e aprendizagem (LUCKIN *et al.*, 2016; POPENICE; KERR, 2017).

5.1.3 Massive Open Online Courses (MOOCs)

Os cursos *online* abertos ou MOOCs, sigla em inglês para *Massive Open Online Courses*, tem como objetivo atingir um grande público (VICARI, 2018). Quando falamos em “cursos abertos”, entendemos que para participar não é exigida nenhuma taxa ou requisito, podendo assim, o aluno com acesso à Internet em qualquer lugar do mundo se inscrever. Esses fatores permitiram às universidades comercializar seus cursos *online* em uma abrangência global, resultando em uma grande aderência por parte do público, porém o número de tutores não aumentou na mesma proporção. O que inicialmente parecia uma proposta generosa, tornou-se um problema para os professores, considerando a capacidade humana de se envolver ativamente com uma enorme quantidade de alunos de diversos países, com diferentes fusos horários, habilidades e taxas de progressos de aprendizagens.

Com isso os professores em turmas grandes tinham dificuldades em realizar avaliações, fornecer *feedback* personalizado construtivo, ou seja, auxiliar de forma eficaz o progresso de experiência dos alunos. MOOCs como Edx e Coursera ou plataformas autodirigidas como a Khan Academy, possuem milhares de usuários que geram milhões de dados, por isso utilizam Inteligência Artificial para analisar dados e encontrar padrões de comportamento que facilitem a identificação de lições mais eficazes, atividades que requeiram intervenção, experiências de aulas combinadas, caminhos de aprendizagem

personalizados e individualizados. Portanto, contribui para a motivação ou "gancho" do aluno, o que aumenta as taxas de conclusão dos cursos e otimiza o processo instrucional, de uma forma que até recentemente não teria sido possível (CHASSIGNOL *et al.*, 2018; POPENICI; KERR, 2017; RODRÍGUEZ; BRITO, 2017; VICARI, 2018;). Assim Vicari (2018, p. 50) afirma:

MOOCs tendem a ser personalizados para melhor atender a cada aluno, incluindo aqui a personalização do conteúdo educacional através de Objetos de Aprendizagem, Recursos Educacionais Abertos, Smartbooks e avaliações personalizadas que vão fornecer itinerários de aprendizagem customizados para cada aluno.

Segundo Vicari (2018), os MOOCs geram uma grande quantidade de dados e a partir disso surgiram novas tecnologias no contexto educacional como *Big Data* e *Learning Analytics*, vinculadas aos MOOCs, para recuperar e analisar estes dados. *Big data* é a área do conhecimento que estuda como tratar, um vasto e complexo conjunto de dados armazenados, grandes demais para serem analisados por sistemas tradicionais. Este termo geralmente refere-se a Análise de Dados (*Data Analytics*), que consiste em um processo avançado para extração de valor de dados com maior precisão, descobrindo informações úteis que podem levar a tomada de decisões com mais confiança e ainda favorecer a redução de custos e riscos, para uma maior eficiência operacional. Continuando no contexto educacional, *Data Analytics* deu origem a Análise de Aprendizagem (*Learning Analytics*), que busca compreender e otimizar a aprendizagem, através da análise, coleta, medição e relatório de dados sobre os estudantes e seus contextos. Todas essas tecnologias surgiram vinculadas aos MOOCs, mas podem ser utilizadas tanto na Robótica quanto nos Sistemas Tutores Inteligentes ou até mesmo nos Sistemas de Gestão da Aprendizagem (*Learning Management System*, LMS). Quanto ao objetivo dessas tecnologias:

[...] é buscar entender o que acontece com o comportamento dos alunos durante os cursos. Essas tecnologias permitem, por exemplo, prever pontos de um curso onde os alunos encontram maiores dificuldades ou tendências para o abandono. Como essas informações servem para os sistemas tomarem decisões ou apontar pontos para que os humanos tomem decisões em relação aos conteúdos e/ou organizações dos cursos[...] (VICARI, 2018, p. 25)

5.1.4 Chatbot

Chatbot (ou *Chatterbot* ou Tutor Virtual) é um *software* que tem como objetivo simular um ser humano durante uma conversação, ou seja, responde às perguntas de tal forma, que não aparente ser um programa de computador que está a conversar com a pessoa. Dependendo da área de atuação, o tipo e as características dos *Chatbots* podem variar entre, os que são baseados em IA e os que são baseados em regras. No que concerne aos *Chatbots* baseados em IA, utilizam o Processamento de Linguagem Natural para fazer recomendações, responder a perguntas, e executar ações (BARROS; GUERREIRO, 2019; CHEN; CHEN; LIN, 2020). Portanto, aprendem durante sua atuação, desenvolvendo a capacidade de responder a perguntas complexas. Já os baseados em regras, possuem uma ação limitada, não tendo capacidade de aprendizagem e só podem atuar dentro das regras previamente definidas. Esta tecnologia vem sendo aplicada não só na Educação, mas em diversos setores da sociedade, como o *Marketing* Digital, Indústria Financeira, Recursos Humanos, Comércio Eletrônico, Saúde e Turismo (BARROS; GUERREIRO, 2019).

Barros e Guerreiro (2019) consideram a programação dos *Chatbots* muito importante para os processos educativos, em especial para a soluções de problemas enfrentados por instituições de ensino superior como o atendimento personalizado, conteúdos ajustados a cada processo de aprendizagem e o acompanhamento do desempenho de cada estudante. Facilitando as aplicações técnicas, permitindo a personalização, a redução de tempo e custos. Contudo, os *Chatbots* ainda possuem algumas limitações, mesmo utilizando inteligência artificial e, conseqüentemente, podendo “aprender” a se comportar de maneira similar a um humano em uma conversa, não podem realizar atividades além das quais fora “programado”, a operacionalização de suas atividades depende exclusivamente do conjunto de regras (algoritmo), que ao surgir alguma situação ou contexto imprevisto, pode dar respostas confusas e desconexas, devido a falta de capacidade de improvisação e de compreensão, ou seja, *Chatbots* não são humanos, por isso, ainda não é possível que reproduzam, na totalidade, as

variantes de uma conversa humana, ou ainda, que imprimam sentimentos como, humor, empatia, ironia, sarcasmo, alegria ou tristeza.

5.1.5 Robótica Educacional

A técnica em IA encubida na construção de dispositivos que executem operações físicas semelhantes a seres bióticos é definida como Robótica. As pesquisas em robótica atualmente exploram como os robôs podem ajudar no trabalho doméstico, nas tarefas cotidianas dentro de uma casa, de uma grande indústria ou de uma sala de aula, sendo elas tarefas simples ou especializadas. Com a popularização da tecnologia Robótica Educacional e a prospecção de que robôs farão cada vez mais parte de vários aspectos de nossas vidas, parece inevitável a utilização destes por parte também do setor educacional e em função da diminuição dos custos desse tipo de tecnologia se tornará mais presente nos currículos das escolas, inclusive no ensino fundamental e médio. Dotados com diferentes tecnologias de Inteligência Artificial em funções como visão, escuta, reconhecimento de voz, reconhecimento de emoção que analisa expressões e tons, pensamento e comunicação, os robôs atraem atenção devido a atribuição de valor educacional, seu desenvolvimento neste setor visa especialmente o cultivo de alunos, capacidade analítica, criatividade e habilidade prática (HUANG; SALEH; LIU, 2021; RODRIGUEZ; BRITO, 2016; TIMMS, 2016; VICARI, 2018).

Timms (2016), projeta que nos próximos anos os professores continuarão a supervisionar e promover o aprendizado entre os alunos, mas que robôs colaborativos educacionais auxiliarão nas salas de aula, em sua pesquisa fornece exemplos de trabalhos atuais em robótica. Destaca o potencial dos robôs em captar e reter atenção dos alunos, mantendo os alunos envolvidos e interessados, visto que a atenção é um precursor da aprendizagem.

Vicari (2018), considera que os robôs educacionais que utilizam os Sistemas Afetivos/Emocionais através de diferentes tecnologias em IA para detectar ou expressar emoções e reconhecer estados afetivos (alegria, tristeza, frustração, desânimo, humor, etc), será uma tendência na Educação, pois essa tecnologia permitirá a utilização de informações para personalizar o processo de

aprendizagem através do que as máquinas capturam e traduzem dos diferentes estados afetivos dos alunos.

Tornar os alunos especialistas em robótica não é necessariamente intuito da Robótica Educacional, os robôs podem ensinar aos alunos, programação, resolução de problemas, matemática, lógica e até mesmo biologia, mas também, favorecer o desenvolvimento de competências tais como pensamento lógico, dedutivo, autonomia, iniciativa, responsabilidade, autoestima, entre outras (CHASSIGNOL *et al.*, 2018; RODRÍGUEZ E BRITO 2016).

5.2 O uso da IA na Química

Dentre os trabalhos selecionados para compor o portfólio, notou-se que a técnica em IA, Aprendizado de Máquina (*Machine Learning-ML*) tem sido a mais empregada em tarefas relacionadas à química, como em:

- ferramentas estatísticas para trabalho de pesquisa em química (ARTRITH *et al.*, 2021; BROWN *et al.*, 2020; MEUWLY, 2021; STRUBLE *et al.*, 2020);
- no desenvolvimento e *design* de drogas (BROWN *et al.*, 2020; GREEN; ENKVIST; PAIRAUDEAU, 2018; JORDAN, 2018; KISHIMOTO; BUSSER; BOTEVA, 2018; SELLWOOD *et al.*, 2018; STRUBLE *et al.*, 2020; ZHAVORONKOV, 2018);
- no planejamento de síntese e retrosíntese de moléculas (BROWN *et al.*, 2020; GASTEIGER, 2021; GREEN; ENKVIST; PAIRAUDEAU, 2018; KISHIMOTO; BUSSER; BOTEVA, 2018; MEUWLY, 2021; PEIRETTI; BRUNEL, 2018; SELLWOOD *et al.*, 2018; STRUBLE *et al.*, 2020);
- na previsão de resultados para reações químicas em termos de produtos, rendimentos ou taxas de reação (BROWN *et al.*, 2020; MEUWLY, 2021; GASTEIGER, 2021; GREEN; ENKVIST; PAIRAUDEAU, 2018; KISHIMOTO; BUSSER; BOTEVA, 2018; PEIRETTI; BRUNEL, 2018; STRUBLE *et al.*, 2020).

Durante o processo de busca pelos artigos que abordassem o uso da IA na Química, percebeu-se que a maioria dos resultados obtidos na base de dados, referia-se a Química Medicinal, relacionada à descoberta de novas drogas e que a aplicação da Inteligência Artificial tem progredido em vários campos da Química em especial no setor farmacêutico (BAUM *et al.*, 2021; BROWN *et al.*, 2020; GASTEIGER, 2021; GREEN; ENGVIST; PAIRAUDEAU, 2018; KISHIMOTO; BUSSER; BOTEA, 2018; LEONARD *et al.*, 2021; SELLWOOD *et al.*, 2018; STRUBLE *et al.*, 2020; ZHAVORONKOV, 2018).

Desde 1960 os métodos de computador foram introduzidos na química com o propósito de converter dados em informações e gerar conhecimento (GASTEIGER, 2021). Meuwly (2021), discute aplicações que vão desde dinâmicas de reação de pequenas moléculas até plataformas para planejamento de reações e fala sobre as técnicas baseadas em Aprendizado de Máquina, como podem ser interessantes para trabalhar em problemas que envolvem computação e experimentos, de como essa técnica tem o potencial para desenvolver sistemas integrados que otimizam os sistemas de reação química em especial a respeito da “função de perda”, para maximização dos rendimentos.

Segundo Gasteiger (2021), aos serem desenvolvidos os métodos de computador para o processamento de dados e geração de conhecimento, simultaneamente foram desenvolvidos métodos que auxiliam os químicos em questões fundamentais, como a previsão de propriedades químicas, físicas ou biológicas, o *design* de propriedades orgânicas e a elucidação da estrutura das moléculas. Surgindo assim, a Químioinformática que utiliza métodos de Inteligência Artificial para descoberta de drogas, controle do processo, química analítica, química orgânica, pesquisa de agroquímicos, ciência dos alimentos, ciência regulatória, ciência dos materiais e ciência dos alimentos. A Químioinformática torna acessível uma grande quantidade de dados e informações, que quando convertidos em conhecimento, favorece a compreensão da química e acelerar a inovação (BAUM *et al.*, 2021; BROWN *et al.*, 2020; GASTEIGER, 2021; GREEN; ENGVIST; PAIRAUDEAU, 2018; KISHIMOTO; BUSSER; BOTEA, 2018).

Green, Engkvist, Pairaudeau (2018), acreditam que a validação experimental de *design* em IA para Química Medicinal rendeu resultados promissores que agora garantem investimentos por parte do setor farmacêutico,

que assim como muitos outros, está considerando o potencial da Inteligência Artificial para resolver os principais problemas que afetam a produtividade na descoberta de medicamentos.

De acordo com Sellwood *et al.* (2018), os desafios do Aprendizado de Máquina relacionado à Química para descoberta de drogas e medicamentos envolvem tarefas como identificação de alvos de drogas, identificação dos compostos principais, otimização de projetos, identificação de rotas sintéticas para realizar composição da matéria, seleção da representação de estrutura para capturar o máximo de substâncias químicas e bio características lógicas para chegar o mais próximo possível da realidade, entre outras. Nesse contexto, a IA muitas vezes pode ser considerada como um recurso "mágico" que produzirá uma saída perfeita independente de sua entrada. No entanto, a IA não é a resposta para todos os desafios, sendo apenas uma ferramenta muito útil que pode projetar autonomamente uma nova droga se usada corretamente ou quem sabe futuramente replicar a síntese total de produtos naturais complexos. Porém uma rápida triagem de rotas sintéticas para moléculas de rotina já é algo bem tangível, podendo ajudar a aumentar a compreensão atual da Química Medicinal e impulsionar novas descobertas de medicamentos (GREEN; ENKVIST; PAIRAUDEAU, 2018; ZHAVORONKOV, 2018).

Uma das mais importantes tarefas em Química Orgânica é a síntese de moléculas orgânicas. A abordagem de um químico para resolver esta tarefa é baseada na experiência, na heurística e em regras práticas. Contudo, para síntese manual de moléculas orgânicas, é necessário não apenas projetar uma molécula-alvo, mas também examinar as vias de reação para sintetizá-la. Geralmente para avaliar a sintetizabilidade de um alvo proposto, os químicos trabalham de trás para frente, começando com a molécula que desejam criar e, em seguida, analisam o processo de retró síntese, algo que requer amplo conhecimento químico, por fim, com os reagentes prontamente disponíveis e as sequências de reações definidas, pode ser produzido o alvo inicialmente proposto. Este processo pode se tornar algo demorado e penoso devido à necessidade de se avaliar centenas ou até milhares de moléculas e ainda sofrer limitações devido ao viés do pesquisador que pode preferir trabalhar com os compostos de sua preferência ou somente com aqueles que possuem

acessibilidade sintética, como isso os resultados geram soluções não otimizadas ou falhas nas vias de reação devido a erros humanos.

Uma alternativa para atenuar estes efeitos é a utilização dos *softwares* de retrosíntese baseados em Aprendizado de Máquina, que possuem a capacidade de analisar milhões de reações de forma mais rápida em comparação com o método tradicional, além de gerarem análises com alto percentual de precisão e rotas sintéticas hipotéticas, fornecem um conjunto mais focado de compostos como ponto de partida para o planejamento das rotas sintéticas (BROWN *et al.*, 2020; GASTEIGER, 2021; GREEN; ENGVIST; PAIRAUDEAU, 2018; KISHIMOTO; BUESSER; BOTEVA, 2018; MEUWLY, 2021; PEIRETTI e BRUNEL, 2018; SELLWOOD *et al.*, 2018; STRUBLE *et al.*, 2020).

Para avaliar a viabilidade de uma reação, um químico pode procurar por transformações semelhantes, lendo a literatura e determinando se o método sintético irá generalizar para os substratos de interesse. Em comparação com os modelos de retrosíntese, os modelos de síntese direta são mais simples de avaliar quantitativamente. A previsão de reação é uma tarefa importante para o planejamento de síntese auxiliado por computador (*Computer Aided Synthesis Planning-CASP*), baseado em Aprendizado de Máquina, aprendem a realizar a mesma generalização quando treinados em um amplo conjunto de reações, assim, inferem regras de reação a partir de uma lista predefinida de regras ou modelos (BROWN *et al.*, 2020; MEUWLY, 2021; GASTEIGER, 2021; GREEN; ENGVIST; KISHIMOTO; BUESSER; BOTEVA, 2018; PAIRAUDEAU, 2018; PEIRETTI; BRUNEL, 2018; STRUBLE *et al.*, 2020).

A IA e a Química, ambas em seus respectivos campos, obtiveram desenvolvimentos e avanços promissores, no entanto, Kishimoto, Buesser e Boteva (2018, p.7981), afirmam que “A IA na química precisará, em sua essência, dominar os princípios de trabalho dos cientistas modernos, o Método Científico”, pois por mais que o método de descoberta científica aparente ser simples, ainda é desafiador, pois consiste em fazer observações e perguntas, propor hipóteses, projetar experimentos para provar hipóteses, coletar e analisar os dados dos experimentos, para assim obter conclusões que levam a novas teorias. Artrith *et al.* (2021), aborda os elementos necessários para treinar modelos confiáveis, repetíveis e reproduzíveis. E recomenda um conjunto de diretrizes para trabalhos em Química que utilizam o Aprendizado de Máquina.

5.3 O uso da IA no Ensino de Química

Professores de Química estão presenciando uma nova geração de tecnologias instrucionais que utilizam Inteligência Artificial, Computação em Nuvem, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV) e tantas outras que impactam diretamente no ensino e levam o aprendizado para além da sala de aula (PENCKE, 2020). Dificilmente teremos o ensino sem algum tipo de suporte que auxilie no que está sendo exposto e que permita ao aluno constatar ou testar aquilo que está sendo ensinado. Podemos usar como exemplo o Ensino de Química que necessita de recursos muito além da experimentação como ferramenta instrucional para o estudo dos fenômenos, uma vez que não é realmente possível ao aluno visualizar os conceitos abstratos, os compostos químicos, as reações, etc (LUZZI *et al.*, 1998).

Os artigos expostos a seguir fazem parte do portfólio e descrevem técnicas para melhorar os processos de ensino e aprendizagem em Química através do uso de tecnologias computacionais focadas em técnicas de Inteligência Artificial.

Doghaimat *et al.*, (2021), usando uma ferramenta de Aprendizado de Máquina Automatizado (AutoML), treinam e usam esse modelo em tempo real, juntamente com um aplicativo de Realidade Aumentada (RA), com objetivo de ajudar os alunos a entenderem as estruturas moleculares. Utilizando em conjunto RA, IA e ML, o aplicativo executa imagens através do modelo treinado, rotula, e usa esse rótulo para gerar um modelo 3D interativo da molécula, além de transformar compostos 2D em 3D, gerando as representações em Realidade Aumentada.

Joss e Müller (2019), apresentam um exercício em sala de aula voltado para os estudantes do primeiro e segundo ano de engenharia química. A tarefa consiste na produção de uma correlação engenharia/tipo, para prever o ponto de ebulição normal de compostos orgânicos a partir de um conjunto de dados completos com mais de 6.000 compostos. Esses dados são processados por meio de Redes Neurais Artificiais (RNA), Redes Naturais Computacionais (RNC) e ML, para fornecer uma correlação qualidade/engenharia. As declarações de

problemas, arquivos de dados para o desenvolvimento do exercício e soluções são fornecidas dentro do ambiente MATLAB, *software* interativo de alta performance que possui uma excelente Interface Gráfica de Usuário permitindo aos alunos e pesquisadores configurar uma RNA e explorar mais ideias, adequado para aplicativos de Aprendizado de Máquina, com vários recursos integrados e ferramentas de ensino *online*. Os autores acreditam na existência de um futuro para a incorporação da ciência de dados nas atividades principais de um engenheiro químico, algo que está se tornando muito atual e que as oportunidades de incorporar essas ferramentas em *design* e engenharia estão florescendo.

Em seu trabalho Luzzi *et al.* (1998), descreve os aspectos técnicos e teóricos do funcionamento do Wöhler, um *software* educacional baseado na arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente para suporte ao processo de ensino-aprendizagem no ensino de Química Orgânica, com objetivo de auxiliar o aluno a testar hipóteses acerca das possibilidades na combinação de diferentes átomos e moléculas. Permite manipular, construir e analisar moléculas de acordo com as questões formuladas, na forma de pequenos problemas a serem resolvidos, permite também obter informações a respeito da nomenclatura, dos tipos de ligações e da classificação das diferentes funções carbônicas, através de um sistema de ajuda construído na forma de uma aplicação hipermídia. Levando em consideração os conhecimentos de cada aluno-usuário, ele avalia o desempenho e o progresso do aluno.

Na produção de Pántya e Zsakó (2008), apresentam um material educacional inteligente para ser utilizado no Ensino de Química, baseado em Prolog, uma linguagem de programação associada à Inteligência Artificial e linguística computacional, para resolver diferentes problemas químicos relacionados a cálculo de números quânticos, descrição das configurações eletrônicas dos átomos, determinação dos números de oxidação e eletronegatividade. Os autores argumentam que este material educacional inteligente, além de melhorar o Ensino de Química, inspira os alunos a criar sistemas baseados em regras ao se depararem com problemas do cotidiano.

Pence (2020), em seu artigo faz uma revisão geral das novas tecnologias em salas de aula como os *smartphones*, computação em nuvem, Inteligência artificial, Realidade Virtual e Realidade Aumentada, tentando esclarecer sobre o

surgimento de um novo tipo de ambiente de aprendizagem. O autor destaca que o uso dessas tecnologias pode isolar socialmente os alunos mesmo quando na presença de seus colegas, por isso ressalta a necessidade de se integrar o construtivismo social diante desses avanços tecnológicos.

Simomukay (2018), em seu trabalho apresenta uma metodologia para a criação de um Sistema de Tutoria Inteligente na qual o aluno, ao dialogar com o bot, ou seja, de um agente (*software*) baseado em Inteligência Artificial programado para imitar uma conversação humana, tendo o aluno a oportunidade de adquirir um conteúdo químico utilizando o conhecimento previamente alimentado no bot, que atua como um assistente educacional no Ensino de Química. O autor ainda, com o objetivo de difundir o uso da tecnologia de bots na Educação, realiza uma discussão sobre os desafios da programação a nível pedagógico.

Tang *et al.* (2007), demonstram o uso da abordagem em Raciocínio Qualitativo (QR) uma técnica de Inteligência Artificial, juntamente com a ontologia da Teoria do Processo Qualitativo (QPT) para representar a intuição química e o conhecimento, modelar, simular e explicar os comportamentos químicos dos mecanismos de reações orgânicas. Os autores sugerem um protótipo de um simulador baseado na tecnologia QR, uma ferramenta cognitiva para promover a aquisição da compreensão conceitual sobre os mecanismos de reação orgânica, denominado Raciocínio Qualitativo em Mecanismo Orgânico (*Qualitative Reasoning in Organic Mechanism - QRIOM*).

Em seguida, Tang, Zain e Abdullah (2010), implementam a estrutura conceitual descrita no trabalho anterior e discutem os resultados de uma simulação e avaliação quanto ao uso da ferramenta (QRIOM) por parte dos alunos. Os autores acreditam que a representação e a abordagem computacional, quando aplicada à construção e simulação de modelos por meio de QR, pode levar a uma compreensão mais profunda e sistemática dos fenômenos e processos químicos. Assim, apontam os resultados como promissores, diante da percepção positiva dos alunos quanto ao uso da ferramenta, que em geral melhorou seus conhecimentos e permitiu que percebessem ou conhecessem a própria capacidade de raciocínio.

No artigo dos mexicanos Uriarte *et al.* (2020), é apresentada uma ferramenta de aprendizagem, que combina um Sistema de Tutoria Inteligente e Realidade Aumentada voltada para a disciplina de Química no ensino médio, denominada ReAQ. Com objetivo de promover a identificação de elementos químicos, reconhecimento de símbolos e nomenclaturas, visualização de formas físicas e descrições, para assim, facilitar o aprendizado do aluno por meio da interação, visualização tridimensional e adaptação dinâmica do conteúdo em tempo real com base nas habilidades dos mesmos.

Percebe-se a partir desses trabalhos, a busca por uma ampliação da compreensão conceitual dos conteúdos químicos abordados em sala de aula, através de ferramentas tecnológicas baseadas em IA.

6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados por este trabalho tiveram como base uma Revisão Sistemática de Literatura conduzida pelas questões norteadoras, conforme mostra o quadro 4.

Quadro 4 - Principais respostas sobre as questões de pesquisa

Questão	Respostas
(a) Quais são as aplicações em IA para Educação, para a Química e para o Ensino de Química?	Educação: Sistemas de Tutoria Inteligente; Aprendizado de máquina; Massive Open Online Course (MOOCs) e Robótica Educacional Inteligente. Química: Aprendizado de Máquina. Ensino de Química: Sistemas de Tutoria Inteligente e Aprendizado de Máquina.

<p>(b) Que tipo de resultados tem sido observado com a utilização da AI nestas três áreas?</p>	<p>Educação: ensino personalizado; <i>feedback</i> individualizado; colaboração nas tomadas de decisões; otimização de processamento e análises de dados educacionais.</p> <p>Química: otimização de processamento e análises de dados; soluções para problemas que envolvem computação e experimentos químicos; previsão de resultados para reações químicas; ferramentas estatísticas para trabalhos de pesquisas; desenvolvimento e design de drogas; planejamento de síntese e retrossíntese de moléculas.</p> <p>Ensino de Química: IA associada a outras tecnologias em sala de aula para promoção da compreensão mais profunda e sistemática dos fenômenos e processos químicos, ajudando a melhorar o ensino e a aprendizagem.</p>
<p>(c) Quais questões estão sendo investigadas em relação ao uso da IA na Educação?</p>	<p>A Inteligência Artificial poderá futuramente substituir os professores nas salas de aula?</p> <p>Quais os impactos atuais e futuros frente ao uso da IA nas diferentes modalidades de Educação?</p> <p>Como a IA pode melhorar e transformar a educação? Quais as promessas, possibilidades e aplicações da IA para o ensino e aprendizagem?</p> <p>Quais as vantagens, desvantagens, problemas e desafios quanto ao uso da IA na Educação?</p> <p>Quais as mudanças no papel do professor com a utilização da IA nas salas de aula?</p> <p>A IA pode ser uma ameaça à sociedade ou à Educação?</p> <p>Quais os dilemas éticos relacionados à IA na Educação?</p>

Fonte: dados da pesquisa

Conforme visto no quadro 4, percebe-se que IA não se apresenta em uma única técnica, sendo diversificada, em que cada uma delas tem suas especificidades, porém objetivos em comum, como a tomada de decisão, previsão de resultados, otimização de processamento e análises de dados.

No que concerne ao uso da IA na Educação, denota-se o quão avançados estão os estudos nesse tema e quão são importantes as questões levantadas para a reflexão e busca por uma Educação cada vez mais preocupada e ativamente adaptada às necessidades e mudanças da sociedade.

Em relação ao uso da IA na Química, os resultados apontaram para setor farmacêutico, especialmente no desenvolvimento de novos medicamentos, em que os avanços atribuídos são de suma importância para a Química em geral, pois envolve a geração e avaliação de um grande número de compostos químicos. Isso permite a formulação de informações e conhecimentos que podem ser utilizados para quaisquer outros fins, como por exemplo no Ensino de Química, como conteúdo em sala de aula.

Quanto ao uso da IA no Ensino de Química, notou-se que essa tecnologia pode ser associada a outras como por exemplo em *Softwares* Educacionais e Realidade Aumentada, com intuito maior de promover a compreensão mais profunda e sistemática dos conceitos abstratos, dos fenômenos e processos químicos por parte dos alunos, contribuindo para o processo de ensino-aprendizagem. Dos 9 artigos selecionados que foram enquadrados na temática (3), apenas dois são de autores brasileiros, o que denota a escassez de estudos sobre este tema no Brasil, mesmo não sendo algo relativamente muito novo, visto que um dos dois artigos foi publicado a mais de vinte anos, no caso o trabalho de LUZZI *et al.* (1998).

Pretende-se a partir dos resultados obtidos e do portfólio gerado, elaborar futuramente um livro eletrônico (*e-book*) direcionado para professores e estudantes da Licenciatura em Química, com objetivo de abordar de forma eficiente e didática sobre práticas inovadoras a partir do uso da IA no Ensino Química.

REFERÊNCIAS

- ALDOSARI, Share Aiyed M. The future of higher education in the light of artificial intelligence transformations. **International Journal of Higher Education**, v. 9, n. 3, p. 145–151, 1 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n3p145>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- ARTRITH, Nongnuch *et al.* Best practices in machine learning for chemistry. **Nature Chemistry**, v. 13, n. 6, p. 505–508, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41557-021-00716-z>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- ATKINS, P. Chemistry: the great ideas. **Pure and Applied Chemistry**. v. 71, p. 927–929, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1351/pac199971060927>. Acesso em: 13 maio 2021.
- BARROS, D. M. V.; GUERREIRO, A. M. Novos desafios da educação a distância: programação e uso de Chatbots. **Revista Espaço Pedagógico**, v. 26, n. 2, p. 410–431, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rep.v26i2.8743>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BAUM, Z. J. *et al.* Artificial Intelligence in Chemistry: Current Trends and Future Directions. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 61, n. 7, p. 3197–3212, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00619>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- BERNARDINI, F.; BARCELLOS, R.; da CRUZ, M. M. Inteligência Artificial no Governo Eletrônico de Cidades: possibilidades e desafios. **Computação Brasil**, 2020. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/comp-br/article/download/1793/1627/5270>. Acesso em: 10 de jul. 2021.
- BROWN, N. *et al.* Artificial intelligence in chemistry and drug design. **Journal of Computer-Aided Molecular Design**, v. 34, n. 7, p. 709–715, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10822-020-00317-x>. Acesso em: 16 jul. 2021.
- CAMPOS, L. F. A. de A.; LASTÓRIA, L. A. C. N. Semiformação e inteligência artificial no ensino. **Pro-Posições**, v. 31, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2018-0105>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- CASAGRANDE, R. **Inteligência Artificial e a Educação além da curva**. Curitiba, PR: Edição do autor, 2019.
- CHASSIGNOL, M. *et al.* Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. **Procedia Computer Science**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.233>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian, Artificial Intelligence in Education: A Review. **IEEE Access**, v. 8, p. 75264–75278, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>. Acesso em: 16 abr. 2021.

DOGHAIMAT, Dana *et al.* Molecules and Machine Learning: Image Classification for an AR-Enabled Chemistry Classroom. *In: ANNUAL SOUTHEASTERN CONFERENCE*, 32., 2018, Salem. **Anais [...]**. Salem, 2018. p.7-9. Disponível em: http://www.ccscse.org/research_contest/Addendum2018.pdf#page=7. Acesso em: 16 jun. 2021.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina**, Florianópolis, v. 21, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>. Acesso em: 28 maio 2021.

FERNANDES, J. O que é um programa (software)?. **Portal da UNB**, 2002. Disponível em: <https://cic.unb.br/~jhcf/MyBooks/iess/Software/oqueehsoftware.html>. Acesso em: 10 abr. 2021.

FLOGIE, A.; ABERSEK, B. Artificial Intelligence in Education. **Intech**, p. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.96498>. Acesso em: 16 abr. 2021.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão Sistemática da Literatura: conceituação, produção e publicação. **LOGEION: Filosofia da informação**, Rio de Janeiro, v. 6 n. 1, p.57-73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>. Acesso em: 30 de jun. 2021.

GASTEIGER, J. Chemistry in Times of Artificial Intelligence. **ChemPhysChem**, v. 21, n. 20, p. 2233–2242, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cphc.202000518>. Acesso em: 30 abr. 2021.

GREEN, C. P.; ENKVIST, O.; PAIRAUDEAU, G. The convergence of artificial intelligence and chemistry for improved drug discovery. **Future Medicinal Chemistry**, v. 10, n. 22, p. 2573–2576, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4155/fmc-2018-0161>. Acesso em: 14 jun. 2021.

HARASIN, L. Educação Online e as implicações da Inteligência Artificial. **Revista da FAEBA - Educação e Contemporaneidade**. v. 24, n. 44, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21879/faeeba2358-0194.v24.n44.1818>. Acesso em: 12 abr. 2021.

HOLMES, W.; BIALIK, M.; FADEL, C. Artificial Intelligence In Education Promises and Implications for Teaching and Learning. **The Center for Curriculum Redesign**, 2019. Disponível em: <http://bit.ly/AIED>. Acesso em: 17 maio 2021.

HUANG, J.; SALEH, S.; LIU, Y. A review on artificial intelligence in education. **Academic Journal of Interdisciplinary Studies**, v. 10, n. 3, p. 206–217, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.36941/AJIS-2021-0077>. Acesso em: 16 jul. 2021.

JORDAN, A. M. Artificial Intelligence in Drug Design - The Storm before the Calm? **ACS Medicinal Chemistry Letters**, v. 9, n. 12, p. 1150–1152, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsmchemlett.8b00500>. Acesso em: 16 jul. 2021.

JOSHI, S.; RAMBOLA, R. K.; CHURI, P. Evaluating artificial intelligence in education for next generation. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1714, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1714/1/012039>. Acesso em: 16 jul. 2021.

JOSS, L.; MÜLLER, E. A. Machine Learning for Fluid Property Correlations: Classroom Examples with MATLAB. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 4, p. 697–703, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00692>. Acesso em: 10 jul. 2021.

KEEN, P. G. W. **Guia gerencial para a tecnologia da informação: conceitos essenciais e terminologia para empresas e gerentes**. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

KENGAM, J. Artificial Intelligence in Education. **Encyclopedia of Computational Chemistry**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0470845015.caa011m>. Acesso em: 15 jun. 2021.

KISHIMOTO, A.; BUESSER, B.; BOTEVA, A. **AI meets chemistry**. 32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2018, p. 7978–7982, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31226/osf.io/va5zr>. Acesso em: 13 maio 2021.

LEAL, *et al.* As TICs no Ensino de Química e suas contribuições na visão dos alunos. **Brazilian Journal of Development**, 2020. Disponível em: [10.34117/bjdv6n1-265](https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-265). Acesso em: 18 de maio 2021.

LUCKIN, R. *et al.* **Intelligence Unleashed. An argument for AI in Education**. London: Pearson, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299561597_Intelligence_Unleashed_An_argument_for_AI_in_Education. Acesso em: 21 abr. 2021.

LUZZI, F. *et al.* Assistente inteligente para suporte ao ensino de química orgânica. In: Congresso RIBIE, 4., 1998, Brasília. **Anais [...]**. Disponível em: http://www.ufrgs.br/niee/eventos/RIBIE/1998/pdf/com_pos_dem/120.pdf Acesso em 13 de maio 2021.

McCARTHY, J. What is artificial intelligence?. **Computer Science Department Stanford University**, 2007. Disponível em: <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai.html>. Acesso em: 16 abr. 2021.

MEDINA, M.; FERTIG, C. **Algoritmos e programação: teoria e prática**. São Paulo: Novatec, 2005.

MEUWLY, M. Transformative Applications of Machine Learning for Chemical Reactions. **Cornell University**, 2021. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2101.03530>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MURPHY, R. F. Perspective Expert insights on a timely policy issue Artificial Intelligence Applications to Support K-12 Teachers and Teaching A Review of Promising Applications, Opportunities, and Challenges. **Rand Corporation**, 2019. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep19907.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2021.

OLIVEIRA, T. A. L. *et al.* **Formação Continuada de professores de Química para o uso das Tecnologias**: uma Revisão Sistemática de Literatura. Universidade Estadual de Maringá, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22408/rev30201813101-13>. Acesso em: 4 jul. 2021.

PÁNTYA, R.; ZSAKÓ, L. Computer-based intelligent educational program for teaching chemistry. **Acta Cybernetica**, v. 18, n. 4, p. 595–613, 2008. Disponível em: <http://cyber.bibl.u-szeged.hu/index.php/actcybern/article/view/3740>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PARREIRA, A.; LEHMANN, L.; OLIVEIRA, M. O desafio das tecnologias de inteligência artificial na Educação: percepção e avaliação dos professores. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, 22 Feb. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-40362020002803115>. Acesso em: 4 de jul. 2021.

PAULA FILHO, W. de P. **Engenharia de software**: fundamentos, métodos e padrões. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PEIRETTI, F; BRUNEL, J. M. Artificial Intelligence: The Future for Organic Chemistry? **ACS Omega**, v. 3, n. 10, p. 13263–13266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01773>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PENCE, H. E. How Should Chemistry Educators Respond to the Next Generation of Technology Change?. **Education Sciences**. v. 10, n. 2, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/educsci10020034>. Acesso em: 16 jun. 2021.

POPENICI, S. A. D.; KERR, S. Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. **Research and Practice in Technology Enhanced Learning**, v. 12, n. 1, 1 dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8>. Acesso em: 8 maio 2021.

PREUSS, E; BARONE, D. A. C.; HENRIQUES, R. V. B. Uso de técnicas de Inteligência Artificial num Sistema de Mesa Tangível. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (CBIE) 9.; WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA (WIE), 26., 2020, Evento Online. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020 . p. 439–448. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/cbie.wie.2020.439>.

RICH, Elaine. **Inteligência Artificial**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

RODRIGUEZ, G. de la C. L.; BRITO, S. M. V. La inteligencia artificial en la educación superior. Oportunidades y amenazas. **INNOVA Research Journal**, v. 2, n. 8.1, p. 412–422, 15 sep. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.399>. Acesso em: 30 abr. 2021.

ROLL, I; WYLIE, R. Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 26, n. 2, p. 582–599, 1 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ROSA, M. P. A; GROTTTO, E. M. B. Ensino de Química: uma Proposta Didática mediada pelas TICs. **Revista de Ciências Humanas**. v. 9, n. 13. 2008. Disponível em: <http://revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/view/388/700>. Acesso: 21 de abr. 2021.

ROUHIAINEN, L. **Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro**. Grupo Planeta, 2018.

SELLWOOD, M. A. *et al.* Artificial intelligence in drug discovery. **Future Medicinal Chemistry**, v. 10, n. 17, p. 2025–2028, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4155/fmc-2018-0212>. Acesso em: 16 jul. 2021.

SIMOMUKAY, E. Experiência na construção pedagógica de bots para o Ensino de Química. **RELVA**, Juara/MT/Brasil, v. 5, n. 2, p. 17-24, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/relva/article/view/3404>. Acesso em: 15 jul. 2021.

STRUBLE, T. J. *et al.* Current and Future Roles of Artificial Intelligence in Medicinal Chemistry Synthesis. **Journal of Medicinal Chemistry**, v. 63, n. 16, p. 8667–8682, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b02120>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SUBRAHMANYAM, V. V; SWATHI, K. **Artificial Intelligence and Its Implications in Education**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4763-2.ch014>. Acesso em: 16 jul. 2021.

TANG, Alicia. *et al.* Learning reaction mechanisms through qualitative simulation: towards the qualitative reasoning approach. **Proceeding of the 2nd International Conference on Informatics**. v. 1, p. 78–84, 2007. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/2672794/2hya2cfzknk1lokxp.pdf#page=81>. Acesso em: 13 jul. 2021.

TANG, Alicia; ZAIN, Sharifuddin; ABDULLAH, Rukaini. Development and Evaluation of a Chemistry Educational Software for Learning Organic Reactions Using Qualitative Reasoning. **International Journal of Education and**

Information Technologies, v.1, p.129-138, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/234119337_Development_and_Evaluation_of_a_Chemistry_Educational_Software_for_Learning_Organic_Reactions_Using_Qualitative_Reasoning. Acesso em: 13 jul. 2021.

TAVARES, R.; SOUZA, R. O. O.; CORREIA, A.O. Um estudo sobre a TIC e o Ensino de Química. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLÓGICA-SIMTEC, 4., 2013, Aracaju. **Anais [...]** Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7198/S2318-34032013001059>. Acesso em: 24 abr. 2021.

TIMMS, M. J. Letting. Artificial Intelligence in Education out of the Box: Educational Cobots and Smart Classrooms. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 26, no. 2, p. 701–712, 1 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0095-y>. Acesso em: 28 abr. 2021.

TURING, A. M. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. **Proceedings of the London Mathematical Society**, ed. 1, v. 2, n. 42, p.230-265, 1937. Disponível em: <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>. Acesso em: 16 abr. 2021.

TURING, A. M. **Alan Turing's Manual for the Ferranti Mk. I**. University of Manchester, 1949. Transcrito por: Robert S. Thau, 2000. Disponível em: <http://curation.cs.manchester.ac.uk/computer50/www.computer50.org/kgill/mark1/RobertTau/turing.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

URIARTE, A. P. *et al.* ReAQ : An Intelligent Tutoring System with Augmented Reality Technology Focused on Chemistry. *Research in Computing Science*. **Research in Computing Science**. v. 149, n. 12, p. 49–56, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353588645_ReAQ_An_Intelligent_Tutoring_System_with_Augmented_Reality_Technology_Focused_on_Chemistry. Acesso em: 16 abr. 2021.

VICARI, R. M. **Tendências em Inteligência Artificial na Educação no período de 2017 a 2030**. Brasília: SENAI, 2018. Disponível em: http://acervodigital.sistemaindustria.org.br/bitstream/uniepro/259/1/Sumario_tendencias_web.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

ZANETTI, M; ISEPPI, G.; CASSESE, F. P. A “psychopathic” Artificial Intelligence: the possible risks of a deviating AI in Education. **Research on Education and Media**, v. 11, n. 1, p. 93–99, 1 Jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/rem-2019-0013>. Acesso em: 5 jul. 2021.

ZHANG, K.; ASLAN, A. B. AI technologies for education: Recent research & future directions. **Computers and Education: Artificial Intelligence**, v. 2, p. 100025, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>. Acesso em: 16 jul. 2021.

ZHAVORONKOV, A. Artificial Intelligence for Drug Discovery, Biomarker Development, and Generation of Novel Chemistry. **Molecular Pharmaceutics**,

v. 15, n. 10, p. 4311–4313, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.8b00930>. Acesso em: 16 jul. 2021.

8. Folha de validação dos orientadores

TERMO DE ENTREGA DO PROJETO DE PESQUISA (TCC)

Encaminho à Maristela Maria Andrade da Silva, professora do componente curricular de TCC, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Ipojuca, o projeto de pesquisa, título, APLICAÇÕES EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO, NA QUÍMICA E NO ENSINO DE QUÍMICA: uma Revisão Sistemática de Literatura, elaborado pelo(a) estudante Virginia Marlene Correia do Curso Superior Licenciatura em Química, momento em que atesto que o referido projeto de pesquisa está em condições técnicas de ser enviado para sala do classroom e para ser arquivado na pasta do estudante de TCC, para fins de avaliações futuras (CPA, MEC).

Ipojuca, 09 de Maio de 2021.

Nome completo do(a) orientador(a): Luiz Carlos Araújo dos Anjos.

Assinatura digital do(a) orientador(a) (através do portal gov.com).