EGAS MONIZ SCHOOL of HEALTH & SCIENCE | INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICAL NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA E NO SETOR DA SAÚDE

Trabalho submetido por
Tiago Miguel dos Santos Calapez
para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Farmacêuticas

novembro de 2024

EGAS MONIZ SCHOOL of HEALTH & SCIENCE | INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA E NO SETOR DA SAÚDE

Trabalho submetido por
Tiago Miguel dos Santos Calapez
para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Farmacêuticas

Trabalho orientado por
Professor Doutor Miguel Garcia

novembro de 2024

Dedicatória

Ao meu avô Zé e à minha avó Isabel que são os pilares da minha vida.

"Não há sucesso sem sacrifício e não há conquista sem luta"

Agradecimento

Primeiramente à minha família, e em especial ao meu pai, à minha mãe e aos meus avós, expresso o meu profundo agradecimento por tudo o que me proporcionaram ao longo deste percurso que me fez chegar até aqui. Acima de tudo e o mais importante, agradeço por todos os valores que me transmitiram e que fazem de mim a pessoa que sou hoje. Obrigado por serem a minha base e os meus pilares, por todos os conselhos e todo o apoio, sem vocês não teria conseguido.

Quero agradecer à minha namorada, Joana, por todo o apoio incondicional que me deu e por me dar sempre força e motivação para alcançar os meus objetivos e de me ensinar quase tanto como este curso me ensinou. Obrigado por ouvires todas as minhas frustrações e festejos ao longo deste percurso e por viveres isto como se fosse teu.

A todos os professores e profissionais de saúde que se cruzaram comigo ao longo do percurso, por todos os conhecimentos transmitidos e por contribuírem de forma ativa para a minha formação.

À Egas Moniz e a todas as amizades que me proporcionou, Martim, Ema, Raquel, Mariana, Laura, Beatriz, são pessoas que levo para a vida fora da faculdade. Agradeço por todos os momentos vivenciados, por me ajudarem a crescer enquanto pessoa, pelas noitadas a estudar, pelos conselhos e acima de tudo por tornarem estes 5 anos inesquecíveis. Obrigado por fazerem parte desta jornada que levarei sempre comigo.

Por fim, aos meus amigos, em especial ao Pedro e ao David por sempre me apoiarem, por me darem os melhores conselhos, por viverem esta jornada comigo, pelo vosso incentivo e acima de tudo pela vossa amizade. São parte da minha família e por isso só vos tenho a agradecer por contribuírem para o processo evolutivo que é a minha pessoa e por estarem sempre lá para mim quando preciso desde sempre.

A todos, o meu sincero agradecimento,

Tiago Calapez

Resumo

Atualmente, num mundo conhecido pela era digital, espera-se que tudo seja o mais tecnológico possível e a área da saúde não pode ser exceção. A inteligência artificial (IA) surge, neste contexto, como uma das inovações tecnológicas mais promissoras, com um grande potencial transformador para revolucionar o setor da saúde e em especial a indústria farmacêutica. Deste modo, esta dissertação analisa o impacto da inteligência artificial no setor da saúde e na indústria farmacêutica, abordando a transformação que esta tecnologia proporciona em todo o ciclo de vida do medicamento, desde a descoberta e desenvolvimento de fármacos até à sua distribuição e consequente chegada ao consumidor final.

Com base numa revisão da literatura já existente, esta dissertação explora como a IA, através da utilização de algoritmos de machine learning e deep learning, pode acelerar a descoberta e desenvolvimento de medicamentos, identificando novas moléculas, prevenindo efeitos adversos, personalizando tratamentos e otimizando os ensaios clínicos, aprimorando a sua seleção e o recrutamento de pessoas. A implementação da IA não só reduz a duração da etapa mais longa do ciclo de vida do medicamento, como também melhora a eficiência operacional da produção e distribuição do mesmo.

Além disso, este estudo aborda o papel da IA nas farmácias comunitárias, onde esta tecnologia eleva a qualidade do atendimento, tornando-o mais personalizado e centrado no utente. Através da análise de dados permite identificar padrões promovendo um serviço mais eficaz e eficiente, ajustado às necessidades de cada utente.

Conclui-se que, apesar dos desafios existentes relativos à implementação da IA, como as questões tecnológicas, éticas e regulamentares, a adoção responsável desta tecnologia possibilita e contribui para um sistema de saúde mais completo e eficaz, proporcionado grandes avanços científicos no setor da saúde.

Palavras-chave: Inteligência artificial, Indústria Farmacêutica, Farmácia Comunitária, desenvolvimento de medicamentos.

Abstract

Nowadays, in a world known for it's digital age, everything is expected to be as technological as possible and the health sector is no exception. Artificial intelligence (AI) emerged in this context as one of the most promising technological innovations, with great potential to revolutionize the health sector and especially the pharmaceutical industry. This dissertation analyzes the impact of artificial intelligence on health sector and pharmaceutical industry, addressing the transformation that this technology brings to the entire life cycle of medicines, from the discovery and development of drugs to their distribution and consequent arrival at the end consumer.

Based on a review of the current literature, this dissertation explores how AI, using machine learning and deep learning algorithms, can accelerate the discovery and development of drugs, identify new molecules, prevent adverse effects, personalize treatments and optimize clinical trials, improving their selection and people's recruitment. The implementation of AI not only reduces the duration of the longest stage of the drug's life cycle, but also improves the operational efficiency of it's production and distribution.

In addition, this study addresses the role of AI in community pharmacies, where this technology raises the quality of care, making it more personalized and user centered. Through data analysis, patterns can be identified, promoting a more effective and efficient service, tailored to the needs of each user.

In conclusion, despite the existing challenges in implementing AI, such as technological, ethical and regulatory issues, the responsible adoption of this technology enables and contributes to a more complete and effective health system, providing major scientific advances in health sector.

Keywords: Artificial Intelligence, Pharmaceutical Industry, Community Pharmacies, drug development.

Índice

Resumo *1*

Abstract *3*

Índice de Figuras *7*

Lista de Abreviaturas *9*

1 Introdução *10*

2 Metodologia *12*

3 Desenvolvimento *14*

3.1 Inteligência Artificial na Saúde **14**

3.1.1 Definição da Inteligência Artificial 14

3.1.2 Origem e evolução da Inteligência Artificial 16

3.1.3 Aplicações da Inteligência Artificial no setor da Saúde 23

3.2 Inteligência Artificial na Indústria Farmacêutica **25**

3.2.1 Visão geral: Contextualização da Indústria farmacêutica 25

3.2.2 Impacto da Inteligência artificial na descoberta, desenvolvimento e otimização de medicamentos 29

3.2.3 Impacto da inteligência artificial nos Ensaios Clínicos 35

3.2.4 O impacto da IA na otimização e automatização dos processos de produção de medicamentos 39

3.2.5 A Inteligência Artificial e a Farmacovigilância 43

3.3 Impacto da IA na distribuição de medicamentos **45**

3.4 O impacto da IA nas farmácias comunitárias **49**

3.5 Desafios na implementação da Inteligência Artificial no Setor da Saúde e da Indústria Farmacêutica **52**

4 Conclusão *56*

5 Bibliografia *58*

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução temporal das pesquisas do termo "Inteligência artificial" a nível global, nos últimos 5 anos. 21

Figura 2 - Evolução temporal das pesquisas do termo "Inteligência artificial" em Portugal, nos últimos 5 anos. 22

Lista de Abreviaturas

EPA - Environmental Protection Agency

FDA - Food and Drug Administration

IA- Inteligência Artificial

MOM - Módulos multidimensionais

PPE – Profilaxia pós-exposição

VIH - Vírus da imunodeficiência humana

1 Introdução

Atualmente, num mundo conhecido pela era digital, espera-se que tudo seja o mais tecnológico possível e a saúde não pode ser exceção. Tem-se assistido a um desenvolvimento contínuo e acentuado relativamente à tecnologia, nomeadamente à inteligência artificial (IA), sendo esta uma inovação promissora com capacidade de transformar diversos setores da sociedade. A constante evolução da inteligência artificial tende a revolucionar o panorama da saúde e em especial da indústria farmacêutica.

A inteligência artificial (IA) é um termo que se refere à simulação de inteligência humana por parte de um sistema ou máquina. IA é a capacidade que um sistema tem em replicar competências do ser humano como o pensamento lógico, a perceção, aquisição de conhecimentos ou a criatividade. A IA permite a resolução de problemas a partir de sistemas de informação onde estão incorporados um grande conjunto de dados e com estes desempenhar várias tarefas (Xu et al., 2021).

A convergência da IA com a área da saúde poderá certamente desencadear uma transformação significativa em diversos campos da saúde, dos quais se destacam: a indústria farmacêutica, a distribuição de medicamentos ou a farmácia comunitária, sendo estes os principais assuntos a explorar nesta dissertação.

Na indústria farmacêutica, a inteligência artificial já está a revolucionar este setor intervindo na descoberta e desenvolvimentos de novos medicamentos. A IA, a partir do machine learning, é usada para identificar novas moléculas no tratamento de doenças, a partir da análise de uma grande quantidade de dados. Esta também ajuda na identificação de alvos terapêuticos, bem como a prever efeitos secundários e até na personalização de tratamentos. Este avanço proporcionado pela inteligência artificial não só acelera o processo de descoberta e desenvolvimento de medicamentos, bem como possibilita que novas terapêuticas cheguem mais rápido ao mercado e que o custo associado a estas seja significativamente mais reduzido. A IA para além de ser usada na descoberta e desenvolvimento de medicamentos, também é amplamente usada na otimização de processos de produção, na gestão da cadeia de abastecimento, contribuindo para um aumento da eficácia e eficiência operacional assegurando uma distribuição mais precisa dos medicamentos (Choudhary et al., 2023).

Relativamente às farmácias comunitárias, a inteligência artificial tem o potencial de revolucionar esta área da saúde. Com a integração desta tecnologia avançada, os farmacêuticos são capacitados com ferramentas inovadoras que permitem, a partir de uma grande base dados, criar padrões e tendências que promovem um atendimento mais eficaz

e personalizado ao utente. Com este progresso tecnológico, não só a melhoria de qualidade e eficiência num atendimento, como também, a partir de sistemas baseados em inteligência artificial, há a possibilidade de ajudar a antecipar a necessidade de medicamentos, gerindo de forma mais eficiente os stocks e consequentemente garantir que os medicamentos estão disponíveis sempre que um utente precisar. Usando este tipo de tecnologia seria possível uma melhor monitorização dos utentes a longo prazo, gerindo adequadamente a medicação dos mesmos contribuindo para uma melhor adesão às terapêuticas (Gude, 2023).

Em geral, no setor da saúde, a inteligência artificial segue a mesma linha de tendência que foi referida anteriormente, estando-se a mostrar uma ferramenta transformadora e impactante. Não só na melhoria da qualidade de cuidados de saúde prestados aos doentes ou utentes como aumentando a eficácia, eficiência e contribuindo para a sustentabilidade do sistema de saúde.

Apesar de todas as vantagens mencionadas anteriormente, aquando da implementação e uso da inteligência artificial, esta também traz desafios e obstáculos, nomeadamente, questões éticas que estão relacionadas com a segurança e privacidade dos dados, bem como o alto investimento dos complexos sistemas de IA e aceitação por parte de todos os profissionais de saúde.

Assim, esta monografia tem como principal objetivo explorar o impacto significativo que a inteligência artificial tem na área da saúde, dando especial destaque tanto à intervenção da IA na indústria farmacêutica como à intervenção nas farmácias comunitárias e na distribuição de medicamentos. Nesta dissertação pretende-se analisar como a IA pode revolucionar estes setores, identificando possíveis barreiras a enfrentar, tal como, possíveis oportunidades que possam surgir. Por meio de uma análise pormenorizada da literatura existente, esta monografia poderá facultar uma visão abrangente de como a inteligência artificial pode impactar todo o sistema de saúde e consequentemente os cuidados de saúde.

2 Metodologia

Na presente monografia, o método adotado para realizar a revisão da literatura foi a pesquisa nos motores de busca Pubmed, Medscape, ScienceDirect e Web of Science. A recolha teve como principal objetivo trabalhos publicados, essencialmente, a partir do ano 2020. No entanto, também foram considerados alguns trabalhos de anos anteriores, que fazem sentido no decorrer da produção da monografia. As palavras-chave utilizadas foram: Artificial Intelligence, Pharmaceutical Industry, Community Pharmacies, drug development

3 Desenvolvimento

3.1 Inteligência Artificial na Saúde

3.1.1 Definição da Inteligência Artificial

A inteligência artificial está a emergir como uma das tecnologias revolucionárias no século XXI e prevê-se cada vez mais um impacto acentuado e crescente no que diz respeito à intervenção desta tecnologia na sociedade.

De acordo com o dicionário oficial da língua portuguesa, a definição de inteligência artificial é:

> "Ramo *da ciência da computação que estuda o desenvolvimento de sistemas computacionais com base no conhecimento sobre a inteligência humana"* (*Inteligência Artificial - Dicionário Online Priberam de Português*, 1990).

No entanto, o conceito de inteligência artificial é amplo e estende-se para além da definição formal que provém no dicionário de língua portuguesa oficial. O conceito desta tecnologia baseia-se na simulação de inteligência humana por parte de um sistema ou máquina, com capacidade de replicar as competências do ser humano como o pensamento lógico, a perceção, aquisição de conhecimentos ou criatividade, entre outros (*O Que é a Inteligência Artificial e Como Funciona? | Temas | Parlamento Europeu*, 2023).

A capacidade de um sistema conseguir simular uma variedade de comportamentos humanos, permite um aperfeiçoamento destas competências, aumentando uma eficácia e eficiência contribuindo para resolver várias situações. As características que diferenciam as capacidades da inteligência artificial do ser humano são essencialmente duas: o processamento de dados em larga escala, permitindo analisar grandes volumes de informação, em conjunto com o acesso a muitas fontes de informação diferentes ao mesmo tempo (*Inteligência Artificial: Oportunidades e Desafios | Temas | Parlamento Europeu*, 2023). A outra competência diferenciadora é a capacidade de aprender sem intervenção humana, designado por machine learning ou aprendizagem automática, existindo um aprimoramento do seu conhecimento a partir de padrões estabelecidos e de uma base de dados. Para perceber o impacto que a inteligência artificial pode ter no futuro, primeiro é necessário perceber como esta funciona.

A inteligência artificial funciona através de algoritmos e programas que processam grandes quantidades de dados. O funcionamento desta tecnologia envolve uma recolha de dados, análise dos mesmos e a partir dos algoritmos tomar uma decisão ou

prever algum resultado. Um dos principais mecanismos usados na inteligência artificial é o mecanismo das redes neuronais (neural network), que funcionam de forma semelhante às redes neuronais de um cérebro humano. Cada rede neuronal é constituída por uma camada de neurónios artificiais, sendo que a informação é transmitida entre estes (Coutinho & Da Silva, 2022). Uma neural network é um programa avançado de machine learning que utiliza dados para aprimorar continuamente as decisões que vai tomando, de forma a melhorar a precisão das suas respostas. Uma vez aperfeiçoada este programa é uma ferramenta preponderante na inteligência artificial. As redes neuronais, um subconjunto de machine learning, estão também diversas vezes no centro de deep learning (ou aprendizagem profunda) (Farina et al., 2022). As redes neuronais possibilitam a realização de variadas tarefas complexas, através da sua capacidade de reconhecer padrões e em simultâneo da utilização de grandes bases de dados. Uma neural network permite então reconhecer padrões, classificar e processar dados, intervém diretamente em deep learning e machine learning, sendo assim uma tecnologia fundamental que está na base do recente crescimento explosivo de modelos que geram inteligência artificial. Um dos exemplos práticos mais conhecido de uma neural network é o algoritmo de pesquisas da Google (*What Is a Neural Network? | IBM*, 2022).

Existem essencialmente dois subconjuntos da inteligência artificial para além das redes neuronais (neural network), o machine learning e o deep learning que constituem grande parte de toda a base do crescimento da IA.

Machine learning é uma subdisciplina da inteligência artificial, que se baseia no desenvolvimento de algoritmos e modelos a partir de um grande volume de dados com o objetivo de capacitar os sistemas computacionais a aprenderem de forma autónoma através da sua própria base de dados (Sultana et al., 2023) Existem quatro categorias que são usadas no machine learning: a aprendizagem supervisionada, a aprendizagem não supervisionada, a aprendizagem semi-supervisionada e a aprendizagem por reforço. A aprendizagem supervisionada é fundamental para classificar dados e fazer previsões, a aprendizagem não supervisionada é importante para elaborar padrões e segmentar dados, a aprendizagem semi-supervisionada combina os dois tipos anteriormente mencionados melhorando a precisão deste modelo que é o machine learning, e por fim a aprendizagem por reforço contribui para otimizar processos através de interações com o ambiente em causa, melhorando a eficácia de respostas de machine learning (Teresa et al., 2017).

Deep learning é um segmento da aprendizagem automática que através das várias camadas de neurónios artificiais é capaz de resolver problemas mais complexos e obter

resultados mais precisos, sendo por isso um modelo mais avançado que machine learning. A principal diferença entre estas subdisciplinas da inteligência artificial é a estrutura das redes neuronais subjacentes. O modelo na aprendizagem automática é constituído por uma ou duas camadas de redes neuronais enquanto os modelos da aprendizagem profunda são formados por três ou mais camadas, sendo esta a principal diferença que torna a aprendizagem profunda mais indicada para lidar com dados mais complexos e não estruturados (Sultana et al., 2023).

Após abordar as definições de machine learning e deep learning, é importante contextualizar e clarificar conceitos mais amplos da inteligência artificial. A aprendizagem automática, aprendizagem profunda e rede neuronal simbolizam avanços significativos na capacidade dos sistemas computacionais em instruir-se e processar grandes quantidades de informações complexas, estas pertencem a um tipo específico de inteligência artificial, a inteligência artificial restrita (ou narrow AI). Este tipo de inteligência artificial engloba sistemas de IA que são delineados para realizar tarefas especificas ou restritas, não tendo capacidade cognitiva para executar funções para além das designadas. A inteligência artificial restrita é a mais comum, estando presente em vários exemplos na nossa sociedade, como a Siri ou a Alexa, sendo estas assistentes virtuais baseadas em inteligência artificial, de modo a compreender e executar as tarefas que lhes são requisitadas pelo ser humano. Ao contrário da IA restrita que se foca em realizar tarefas pré-definidas, a inteligência artificial generativa (generative AI) é um tipo de IA que tem como objetivo criar conteúdos através da aprendizagem profunda, que se baseia na aprendizagem contínua do sistema computacional, para conseguir tomar decisões podendo responder de forma eficaz ao pedido ou pergunta dos utilizadores. Com a chegada do ChatGPT em 2022, este tipo de inteligência provou que oferece inúmeros benefícios tanto a nível de produtividade como de criatividade, podendo ser uma ferramenta impactante em muitas áreas da sociedade (Damar et al., 2024).

3.1.2 Origem e evolução da Inteligência Artificial

Em 1943, Warren S. McCulloh e Walter H.Pitts publicaram o primeiro trabalho importante na área emergente que é a inteligência artificial. Estes investigadores desenvolveram um modelo de um neurónio funcional semelhante a um neurónio de um cérebro humano, ajudando a compreender como replicar de forma artificial um cérebro.

Alguns anos depois, em 1950, Marvin L. Minsky e Dean Edmonds desenvolveram a primeira rede neuronal artificial. Alan Turing, no mesmo ano, em 1950, publicou o seu artigo intitulado de "*Computing machinery and intelligence",* que é considerada uma obra fulcral da história da inteligência artificial. Turing, que é considerado o "pai da ciência computacional", neste artigo levantou uma questão pertinente "As máquinas podem pensar?" e devido a esta pergunta decidiu introduzir um teste, conhecido por "Teste de Turing". Este teste sugere que o utilizador (o ser humano) tente distinguir entre um texto elaborado por um ser humano e um texto elaborado por uma máquina, sendo que para este investigador a inteligência de um computador traduz-se na capacidade de conseguir alcançar um nível similar aos humanos relativamente à realização de tarefas. Apesar de este teste ter sido muito discutido na comunidade, foi sem dúvida um marco histórico na área da inteligência artificial (Almeida Francisco, 2019).

Em 1956, surge pela primeira vez o termo "inteligência artificial" mencionado por Jonh McCarthy na conferência da Universidade de Dartmouth. Nesta conferência reuniram-se vários investigadores com o intuito de analisar e trocar ideias de modo a tentar compreender como seria possível uma máquina replicar as capacidades da inteligência humana. A partir desta conferência, nos anos seguintes, muitos investigadores concentraram-se em aplicar a IA para resolver problemas matemáticos, focando-se também no raciocínio automatizado. Entre os primeiros projetos resultantes da conferência, destaca-se o primeiro programa de software de IA, Logic Theorist, criado por Allen Newell, J.C. Shaw e Herbert Simon (Almeida Francisco, 2019). Este programa foi capaz de demonstrar 38 de 52 teoremas da obra "Principia Mathematica", este sucesso precoce fomentou um otimismo entre os pioneiros da inteligência artificial que passaram a acreditar que desenvolver sistemas computacionais inteligentes era uma possibilidade real (Xu et al., 2021). Na década de 1960, Joseph Weizenbaum, desenvolveu o primeiro chatbot (um diálogo com um robô) do mundo. Este chatbot tinha como objetivo simular uma conversa em que este desempenhasse o papel de um terapeuta, produzindo as suas respostas com base nas palavras-chaves que detetava no texto de entrada. A inteligência artificial progrediu bastante na década de 1960, com o desenvolvimento de sistemas mais complexos, muitos consideram, Shakey, como o desenvolvimento mais significativo desse período nesta área. Shakey é um robô capaz de interpretar instruções humanas e executar ações com base nessas instruções. Estas inovações transformaram o panorama da IA, demonstrando que o potencial da inteligência artificial não é uma utopia, mas sim

um campo de estudo que pode apresentar resultados concretos e visíveis (Hirani et al., 2024).

Em 1967, Frank Rosenblatt, desenvolveu o primeiro computador baseado numa rede neuronal capaz de aprender por tentativa e erro, o Mark 1 Perceptron. Um ano depois, Marvin Minsky e Seymour Papert publicaram o livro "Perceptrons", que se tornou uma obra fundamental no campo das redes neuronais, no entanto foi responsável pela suspensão temporária de novas investigações nessa área (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020.). A década de 1970 é designada pelo "primeiro Inverno da IA", o relatório Lighthill criticou a falta de resultados práticos na IA e começaram a surgir desafios no campo da inteligência artificial que tornou visíveis as limitações desta área. A capacidade computacional, além de insuficiente, também era bastante dispendiosa, persistindo a necessidade de compreender o pensamento humano. Perante estas adversidades, o apoio económico foi diminuindo, resultando numa desaceleração significativa dos avanços neste campo (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020.; Xu et al., 2021). Os anos 80 assinalou um renascimento significativo no campo de pesquisa, estimulado por novas abordagens e um interesse renovado na área da IA. Um dos avanços mais impactantes desta década de 1980 foi o desenvolvimento de sistemas especialistas, que se destacam como uma das principais aplicações da IA. Estes sistemas foram idealizados para resolver problemas específicos, ou seja, têm como objetivo simular o conhecimento de um profissional de uma área especifica. Um exemplo considerável é o sistema MYCIN, desenvolvido com o propósito de diagnosticar doenças infeciosas e recomendar tratamentos adequados. O sucesso dos sistemas especialistas comprovaram a aplicabilidade da inteligência artificial, o que contribui para um aumento de investimento e interesse nesta área.

Paralelamente, as redes neuronais que já haviam sido propostas precedentemente, ganharam um novo impulso com a implementação do algoritmo de retropropagação por Geoffrey Hinton. Este algoritmo possibilitou o treino eficiente das redes neuronais em multicamadas, contribuindo para progressos substanciais no reconhecimento de padrões e na aprendizagem automática (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020)(Kaul et al., 2020).

O renascimento da IA nesta década levou a que o financiamento neste campo aumentasse significativamente e empresas como a DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) investisse nesta tecnologia, reconhecendo todo o potencial da inteligência artificial tanto a nível militar como civil. Este suporte financeiro

proporcionou o desenvolvimento de novas tecnologias e de equipas de investigadores altamente especializados, levando então à descoberta e elaboração de linguagens de programação especificas para IA, como por exemplo Prolog e Lisp. Estas linguagens facilitaram o desenvolvimento de algoritmos mais complexos e proporcionaram aos investigadores novas abordagens para a resolução de problemas, ajudando a consolidar esta área com maior rigor científico. A integração da IA no setor empresarial começou a intensificar-se com as empresas a implementar sistemas especialistas para otimizar a eficiência operacional e aperfeiçoar os processos de tomada de decisão. Esta mudança representou um marco histórico, na medida em que a IA começou a ser convertida em produtos disponíveis no mercado, estabelecendo um ciclo virtuoso de inovação e aplicação prática (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020).

Durante as décadas de 1990 e 2000, a inteligência artificial passou por uma fase de renovação e inovação, caracterizada por avanços substanciais em algoritmos e aplicações práticas. Em 1995, a introdução das máquinas de vetor de suporte contribuíram para uma transformação considerável na categorização de texto e no reconhecimento de padrões, estabelecendo novos fundamentos para o avanço de machine learning. Em 1997, desenvolvido pela IBM, o sistema de xadrez Deep Blue alcançou a proeza de derrotar o campeão mundial de xadrez, Garry Kasparov, evidenciando a capacidade das máquinas executarem tarefas cognitivas complexas e avançadas. Este acontecimento não só elevou a visibilidade da IA, como catalisou um aumento significativo a nível de financiamento e de interesse nesta área (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020).

Nos anos 2000, a inteligência artificial começou-se a incorporar de forma mais extensa nas aplicações comerciais, revelando uma evolução visível na sua implementação prática. Em 2006, a investigadora Fei-Fei propôs que a maior limitação da IA era a escassez de dados. Esta perspetiva precipitou uma mudança de paradigma na área da investigação da IA, promovendo o acesso a um maior volume de dados e consequentemente possibilitar a construção de modelos mais eficientes e complexos. Esta transformação, instigada também pelo avanço das redes neuronais, foi fulcral para a consolidação do conceito deep learning, que facilitou progressos substanciais na área como o reconhecimento de imagem ou processamento de linguagem natural, que são essenciais para facilitar a relação entre o humano e a máquina. Este período foi caracterizado pela ascensão de assistentes virtuais, a implementação deste tipo de tecnologias permitiu não só a personalização da experiência do utilizador, mas também evidenciou a crescente relevância da IA em múltiplos setores (Haefner et al., 2021).

Ao longo da década de 2010, verificou-se um crescimento exponencial na implementação de técnicas de deep learning, com particular incidência em campos como o processamento de linguagem natural e visão computacional. A competição ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC), que se iniciou em 2010, demonstrou de forma conclusiva o potencial e a eficácia das redes neuronais. Este evento desafiou modelos de IA a executar a tarefa de classificar milhões de imagens, resultando no desenvolvimento de algoritmos mais complexos e com mais capacidade tecnológica. Em 2012, o modelo AlexNet, que usava um tipo de rede neuronal, alcançou uma redução na percentagem de erro na classificação de imagens de 16%, sendo uma melhoria notável em comparação com os 25% de erro registados no ano anterior. Este feito não só evidenciou a superioridade do deep learning em tarefas de análise de imagem, mas também estabeleceu um novo referencial no campo da investigação da inteligência artificial (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020; Haefner et al., 2021).

O ano 2014 foi igualmente importante, com a introdução e desenvolvimento de inovações tecnológicas que potenciaram e aprimoraram os modelos de IA, com foco especial para deep learning. No ano 2015, foi publicado o artigo "Deep Learning" por Yann LeCun, Yoshua Bengio e Geoffrey Hinton, que se tornou uma referência central na literatura científica no campo da inteligência artificial e que consolidou o conceito de deep learning como um dos pilares desta inovadora tecnologia (Lecun et al., 2015).

Um dos mais recentes desenvolvimentos marcantes na história da IA é a introdução da arquitetura Transformer, em 2017, que revolucionou o processamento da linguagem natural (PLN). Este modelo é baseado num mecanismo de atenção seletiva, possibilitando a criação de modelos como o GPT e o BERT, que demonstraram um desempenho substancialmente superior em diversas tarefas de PLN, incluindo análise de texto, produção de texto e tradução automática. A evolução exponencial da IA reflete uma tendência crescente da automatização e eficiência de múltiplos setores, destacando a capacidade aprimorada para processar quantidades massivas de dados e extrair informação relevante dos mesmos. O avanço progressivo da IA também incluiu o desenvolvimento de algoritmos baseados na aprendizagem por reforço, que mostraram resultados distintos em contextos complexos, sublinhando a capacidade da IA a adaptar-se em novos desafios e de aprender (AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence, 2020).

Atualmente, a IA está cada vez mais integrada no nosso quotidiano, estando presente de várias formas. O acesso a uma vasta quantidade de dados e o aumento do investimento em pesquisa e desenvolvimento da IA, contribui para o progresso da tecnologia proporcionando o surgimento de inovações que permitem soluções mais eficientes e personalizadas e melhora a eficiência operacional em múltiplos setores.
De forma a refletir o crescente interesse e importância da inteligência artificial nesta sociedade contemporânea, é pertinente analisar as tendências de pesquisa utilizando a ferramenta Google Trends. O termo "Inteligência artificial" tem registado um número substancial de pesquisas ao longo do tempo, refletindo não só a curiosidade do público em relação ao tema, como também a preocupação com as implicações e uso desta tecnologia inovadora (Almeida Francisco, 2019).

O gráfico abaixo corresponde a uma pesquisa efetuada no 28 de agosto de 2024 no Google Trends com foco no campo de estudo da inteligência artificial, sendo o propósito desta análise verificar as tendências de pesquisa relativas ao termo "inteligência artificial".

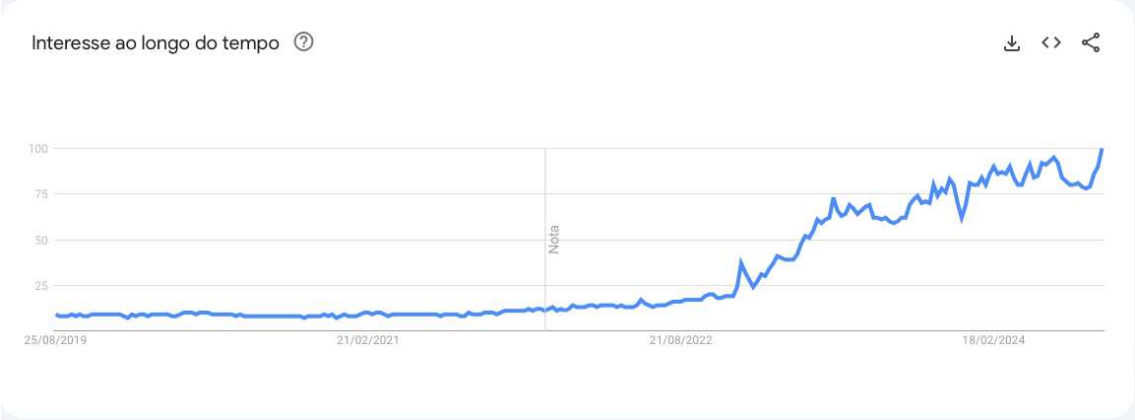

Figura 1 - Evolução temporal das pesquisas do termo "Inteligência artificial" a nível global, nos últimos 5 anos *(*Inteligência Artificial - Explorar - Google Trends*, 2024)*.

A Google Trends é uma ferramenta que possibilita acompanhar a evolução temporal das pesquisas relacionadas com o termo "Inteligência artificial" a nível global. No entanto, é necessário salientar que estes dados obtidos não representam uma amostra abrangente de todas as pesquisas realizadas no Google, pois apenas uma fração representativa é considerada. Na figura 1, é possível observar flutuações nas pesquisas efetuadas entre Agosto de 2019 e Agosto de 2024. O valor 0 não indica a inexistência de pesquisas, mas sim que não houve um número suficiente de pesquisas para avaliar a popularidade naquela altura. O valor 100 representa o expoente máximo de popularidade

do termo em questão, e uma análise minuciosa revela que o pico se verificou entre 25-31 de Agosto.

Com esta ferramenta também é possível identificar os temas que foram simultaneamente pesquisados pelos utilizadores que procuram o termo mencionado anteriormente, dentro dos quais se destacam: Inteligência, chat, ChatGPT, OpenAI e Arte de inteligência artificial. Durante o período analisado, a China destaca-se como o país com o maior volume de pesquisas relacionadas ao tema, seguido Coreia do Sul, Vietname, Etiópia e Mianmar (Almeida Francisco, 2019).

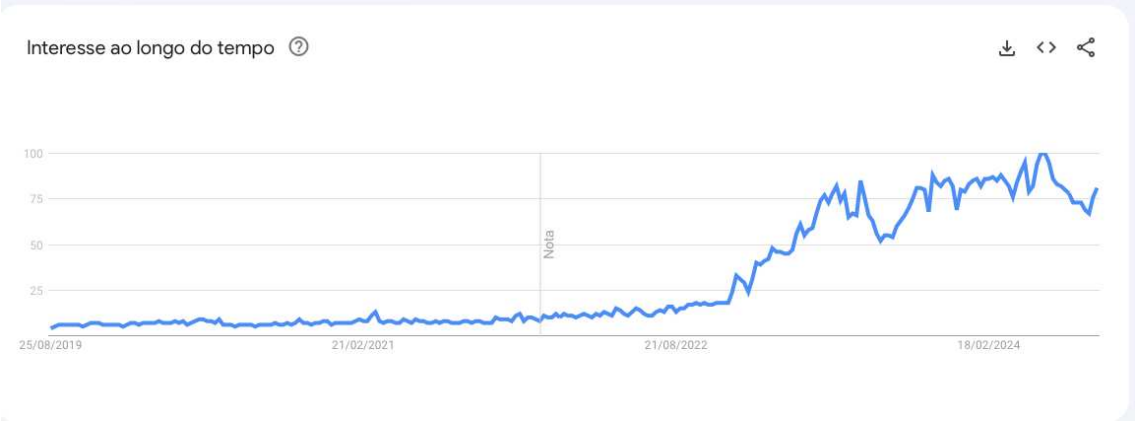

Figura 2 - Evolução temporal das pesquisas do termo "Inteligência artificial" em Portugal, nos últimos 5 anos *(*Inteligência Artificial - Explorar - Google Trends*, 2024)*.

Relativamente a Portugal, observa-se uma tendência crescente de interesse no tema ao longo do tempo. Como anteriormente mencionado, é igualmente exequível analisar os tópicos associados que foram pesquisados em Portugal pelos utilizadores do Google ao procurar pelo referido termo. Os temas identificados são bastante semelhantes aos temas anteriormente referidos a nível global. As localidades de Portugal que registaram mais pesquisas do termo nos últimos 5 anos foram Lisboa, Coimbra, Madeira, Castelo Branco e Porto (Almeida Francisco, 2019).

3.1.3 Aplicações da Inteligência Artificial no setor da Saúde

A inteligência artificial emergiu como uma das tecnologias mais disruptivas do século XXI, tendo um impacto significativo em múltiplos setores, com destaque na área da saúde. As aplicações da IA no campo da saúde são vastas e diversificadas, não se limitam a uma única área, abrangendo desde o diagnóstico de patologias até ao tratamento e monitorização de pessoas com doença. Uma tecnologia desta dimensão tem a capacidade de revolucionar a prática clínica, ao proporcionar soluções que incrementam a precisão do diagnóstico, aumentam a qualidade e eficiência dos serviços prestados resultando num atendimento mais personalizado. Além disso, uma das maiores valências da IA é a habilidade de analisar grandes quantidades de dados, possibilitando analisar dados clínicos contribuindo para intervenções terapêuticas mais eficazes e personalizadas, otimizando processos administrativos. Ao integrar as suas capacidades, a IA contribui para um sistema de saúde mais eficiente, centrado no doente e com mais capacidade de resposta proporcionando uma gestão mais eficaz da saúde pública. Com o progresso da investigação e do desenvolvimento no campo de estudo da inteligência artificial, as suas aplicações práticas estão em constante crescimento, oferecendo novas oportunidades e por isso é essencial analisar as diversas áreas em que a IA está a ser implementada, sublinhando o seu impacto inovador que está a moldar o futuro da saúde.

Um exemplo notável da aplicação da inteligência artificial na saúde é o desenvolvimento do algoritmo com base em IA para a otimização de módulos multidimensionais (MOM), aplicado a um grupo de doentes com leucemia mieloide aguda. Esta abordagem inovadora integra a sensibilidade a fármacos com biomarcadores genéticos, permitindo antecipar e formular um plano terapêutico ajustado às características individuais de cada doente. Através de ensaios de triagem de fármacos e da sequenciação completa do exoma, o MOM demonstrou a sua eficácia ao identificar a resposta dos doentes aos tratamentos personalizados, como os inibidores de FLT3 que mostrou uma melhoria de resposta por parte dos doentes a esta terapêutica (Gimeno et al., 2022).

Uma das mais valias da inteligência artificial, como mencionado anteriormente, é ser capaz de analisar quantidades massivas de dados clínicos, identificando padrões complexos que passariam despercebidos pelos métodos tradicionais, transformando por completo a área do diagnostico médico. Estudos recentes, como a revisão sistemática apresentada do artigo “Artificial intelligence in disease diagnosis: systematic literature

review", demonstram como a IA está a ser aplicada para antecipar diagnósticos como Alzheimer, cancro ou diabetes. Um dos exemplos práticos do impacto da IA neste estudo é o diagnóstico da doença de Alzheimer, doença neurodegenerativa que se caracteriza pela degeneração do tecido do cérebro e consequentemente das funções cognitivas. A deteção precoce desta doença é fulcral para retardar ao máximo a progressão da doença e melhorar a qualidade de vida da pessoa. Um estudo pertinente realizado por Usyal, em 2020, utilizou imagens de ressonância magnética, provenientes da Alzheimer´s Disease Neuroimaging Iniative de forma a analisar a progressão da doença de Alzheimer. Através de modelos de IA foi possível alcançar uma precisão bastante elevada na classificação das imagens, contribuindo para a deteção precoce de alterações cerebrais associadas a esta doença. Dentro da mesma linha de pensamento, neste artigo é mencionado um estudo em que Ljubic e a sua equipa desenvolveram um método inovador em que os modelos de IA analisam os dados de registos médicos eletrónicos que ajudam a diagnosticar a doença de Alzheimer. A pesquisa revelou uma precisão de 90%, sublinhando a capacidade da IA e a importância da utilização de algoritmos de machine learning e deep learning, que não só melhoram a precisão de algoritmos, mas também permite que os profissionais de saúde dediquem mais tempo ao cuidado da pessoa com a doença ao automatizar processos analíticos e administrativos (Y. Kumar et al., 2023).

Além disso, a inteligência artificial vem desempenhando um papel fundamental na monitorização de doentes, conforme evidenciado pelo sistema de monitorização remota de pacientes implementado pelo CHRISTUS Health. Este sistema recorre a um conjunto de dispositivos que inclui um tablet, um monitor de pressão arterial, um oxímetro e uma balança que permite aos doentes comunicar em tempo real com os profissionais de saúde e enviar os seus dados biométricos. A IA é importante ao analisar os dados recolhidos, contribuindo para uma monitorização continua dos parâmetros de saúde do doente. A implementação deste sistema resultou numa redução de 90% de custos associados aos cuidados de saúde, para além de uma diminuição substancial de readmissões hospitalares (A. Kumar et al., 2020).

Assim, a incorporação da IA na saúde não só aprimora a eficácia dos tratamentos, como também redefine a forma como os cuidados de saúde são prestados, promovendo um sistema de saúde mais centrado no doente e suportado por dados.

3.2 Inteligência Artificial na Indústria Farmacêutica

3.2.1 Visão geral: Contextualização da Indústria farmacêutica

A indústria farmacêutica corresponde ao setor empresarial focado no design, desenvolvimento e produção de produtos químicos destinados para o diagnóstico e tratamento de patologias, deficiências ou disfunções, bem como a melhoria de funções biológicas (*Pharmaceutical Industry*, 2024).

A indústria farmacêutica é um setor que assume um papel crucial no mundo contemporâneo, sendo fundamental na promoção da saúde global e no crescimento económico. Ao longo dos anos, o mercado farmacêutico global registou um crescimento bastante expressivo, evoluindo de aproximadamente 390 mil milhões de dólares em 2001 para 1,25 triliões de dólares em 2019. Este aumento retrata a crescente procura e necessidade de medicamentos e tratamentos, evidenciando a relevância da indústria farmacêutica na melhoria da qualidade de vida da população. (González Peña et al., 2021) Em Portugal, no ano de 2019, registou-se um crescimento de 3,6% de vendas de medicamentos face ao ano anterior, o que se traduziu em receitas fiscais que podem ser direcionadas para o financiamento de serviços públicos como a saúde ou a educação. (MICF_Afonso_Coutinho - Importancia Industria, 2020).

A sua relevância económica é bastante significativa, não só pelo envolvimento massivo de receitas como também pela criação de empregos nos diversos setores que constituem a indústria farmacêutica desde a investigação e desenvolvimento de medicamentos, a sua produção, distribuição e logística, regulamentação até ao marketing e vendas. A utilização de fármacos em articulação com medidas complementares no campo da saúde, têm contribuído significativamente para a evolução de diversos indicadores da saúde global, o que se reflete em ganhos substanciais na economia mundial. A indústria farmacêutica é também preponderante no que diz respeito à saúde pública, especialmente em contextos de emergências sanitárias, como foi evidenciado na pandemia da COVID-19. Este setor é responsável pela investigação, desenvolvimento e distribuição de fármacos e vacinas, de modo a prevenir e tratar diversas patologias. O impacto deste setor na saúde pública é bastante visível em diversos campos, desde o desenvolvimento de vacinas que ajudaram a erradicar doenças como a varíola ou poliomielite, até à descoberta de medicamentos inovadores que revolucionaram por completo os planos terapêuticos de patologias como a SIDA ou hepatite B. O efeito deste

setor na saúde global é notório, refletindo-se diretamente na melhoria do sistema de saúde em geral e no aumento da esperança média de vida da população mundial (Cueni, 2022).

A capacidade da indústria farmacêutica responder de forma rápida a crises de saúde global evidencia o quão importante é este setor no sistema de saúde mundial. Como mencionado anteriormente, a pandemia COVID-19 é um exemplo categórico deste fenómeno visto que em muito pouco tempo foram desenvolvidas e distribuídas a nível mundial várias vacinas eficazes. Este acontecimento foi um marco histórico na comunidade científica que foi viabilizado pelo elevado investimento em investigação e desenvolvimento e pelos avanços tecnológicos que permitiram automatizar e acelerar o processo de descoberta das vacinas (Mundy et al., 2023; Sarkis et al., 2021). A indústria não disponibiliza somente medicamentos, mas também desempenha um papel ativo na formação de parcerias público-privadas com o objetivo de fortalecer o sistema de saúde. A abordagem "One Health" é um exemplo de como este setor pode ajudar a mitigar a transmissão de doenças zoonóticas e de promover a segurança sanitária (Saxena et al., 2022).

No entanto, a indústria farmacêutica enfrenta diversos desafios atualmente, sendo um deles, o acesso equitativo dos medicamentos. A disponibilidade de tratamento é vital para a saúde pública, sendo por isso da responsabilidade da indústria assegurar que os medicamentos sejam acessíveis a todas as populações, incluindo as menos desenvolvidas. A implementação de políticas que ajudem a superar esta barreira são fulcrais para que todas as pessoas possam usufruir, independentemente da sua situação socioeconómica, dos cuidados de saúde adequados. A colaboração entre a indústria, os governos e entidades de saúde é fundamental para se conseguir ultrapassar barreiras como esta (González Peña et al., 2021).

Além do acesso a medicamentos, a inovação representa um dos principais desafios da indústria farmacêutica, e simultaneamente é essencial para o sucesso deste setor. A investigação e desenvolvimento de novos fármacos constituem um dos pilares desta indústria possibilitando novos tratamentos para as várias doenças. Um elevado investimento contínuo é indispensável para a criação de novas terapêuticas para que se possa responder às necessidades emergentes da saúde. A capacidade de inovação da indústria tem sido evidenciada ao longo do tempo, como já mencionado, a pandemia COVID-19 é um exemplo claro dessa demonstração. A relação entre a inovação e o acesso aos medicamentos é clara, visto que a aptidão para desenvolver novas terapêuticas depende diretamente da capacidade de investimento na indústria e de traduzir estas

inovações em produtos acessíveis a todas as populações. Ao alinhar as suas ações com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, a indústria farmacêutica pode desempenhar um papel crucial na promoção de um sistema de saúde mais robusto e equitativo. Isto envolve não só o desenvolvimento de novos tratamentos, mas também a garantia de que estes são acessíveis a toda população (Saxena et al., 2022).

Apesar da importância crucial da indústria farmacêutica na promoção da saúde pública e no desenvolvimento económico, este setor enfrenta outros desafios significativos que podem ameaçar o seu progresso contínuo. Estes inúmeros desafios incluem um tema já referido anteriormente, a necessidade de inovação contínua, que não se prende somente pela carência de medicamentos inovadores, mas também pela urgência de adaptação e evolução nas práticas de investigação clínica, nomeadamente, a importância de repensar os modelos dos ensaios clínicos que se baseiam em abordagens inflexíveis e centralizadas. A inovação deve ser orientada também para implementar soluções que otimizem o recrutamento e retenção de doentes em ensaios clínicos, bem como ajudar a encurtar o tempo de descoberta e desenvolvimento de novos medicamentos. Estas soluções devem também otimizar o processo de produção de medicamento, acelerando todo o ciclo do mesmo, desde a investigação até à comercialização (Sarkis et al., 2021)(Arden et al., 2021).

Uma questão critica presente nesta indústria é a gestão de grandes volumes de dados. A indústria tem vindo a lidar cada vez mais com a utilização massiva de dados, o que exige uma adaptação e uma maior capacidade de recolher, processar e analisar as informações pretendidas em tempo real. A transformação destes dados não estruturados em informações organizadas é uma tarefa complexa, pelo que requer uma tecnologia com funcionalidades de processamento analítico avançado (Arden et al., 2021). Além disto, um dos grandes obstáculos na indústria farmacêutica que está relacionado com a inovação são as necessidades médicas não atendidas, que exigem uma abordagem mais estratégica e diferenciada de modo a desenvolver novas terapêuticas. Existem mais de 7000 doenças raras conhecidas, em que 95% das mesmas não tem qualquer tratamento, esta lacuna exemplifica a falta de tratamentos adequados para as várias patologias. Este desafio requer uma reflexão por parte das indústrias farmacêuticas e das entidades de saúde, para que possa existir uma abordagem multidisciplinar de modo a aumentar o financiamento e de estimular a inovação nas respetivas áreas críticas (*Pharmaceutical Strategy for Europe 2 0 2 0*, 2020).

Aliado às necessidades médicas não atendidas, a complexidade crescente dos produtos é uma barreira da indústria farmacêutica contemporânea. Com o avanço da tecnologia e da ciência, a tendência é que se desenvolva terapêuticas cada vez mais avançadas, o que exige um processo de fabrico adaptável a diferentes formulações e especificações. A complexidade é evidente na distinção entre a produção de medicamentos, como os produtos biológicos, com a produção de moléculas mais simples, visto que os produtos mais complexos são produzidos a uma menor escala pois requerem sistemas de produção mais elaborados. Para assegurar a qualidade e segurança dos medicamentos produzidos, é importante reformular os processos de fabrico convencionais, visto que estes podem não ser suficientes para cumprir com as exigências necessárias para a produção de produtos mais complexos. A implementação de tecnologias avançadas, suportadas por modelos matemáticos e ferramentas digitais, permitem otimizar e aumentar a eficiência do processo de produção de medicamentos, bem como a padronização de processos para minimizar a variabilidade entre lotes (Sarkis et al., 2021).

A personalização de tratamentos surge como mais um desafio que a indústria enfrenta atualmente, estando relacionado com a necessidade de inovação contínua e com a crescente complexidade de desenvolvimento de medicamentos. A personalização de tratamento vai mais além do que a inovação, constituindo uma resposta para que os doentes possam ter cuidados de saúde mais eficazes e personalizados. Uma das principais necessidades neste campo é a integração dos avanços científicos em conjunto com as tecnologias inovadoras e com a utilização de um grande conjunto de dados. No entanto, esta abordagem depara-se com várias barreiras, como a dificuldade em aceder a dados clínicos e genéticos e de analisá-los de forma eficiente. O desenvolvimento de uma plataforma segura que reúna todos estes dados é outro obstáculo. Desta forma, a personalização de tratamentos representa uma evolução pretendida para melhorar os cuidados de saúde prestados, mas também leva a uma série de desafios que a indústria tem de ultrapassar (*Pharmaceutical Strategy for Europe 2 0 2 0*, 2020).

Adicionalmente, além dos desafios já mencionados, a falta de formação e de competências especificas de indivíduos no que diz respeito a tecnologias emergentes neste setor constitui uma barreira significativa. A transição digital que a indústria farmacêutica enfrenta envolve tecnologias avançadas como a inteligência artificial ou a análise de dados em larga escala, que requerem profissionais altamente qualificados para operar ou otimizar estas ferramentas de forma eficiente, existindo assim uma dificuldade

na modernização da indústria, o que impede o progresso contínuo em vários setores da mesma (Arden et al., 2021).

Por fim, a regulamentação apresenta um dos maiores obstáculos na indústria, sendo um entrave crítico para a implementação das novas tecnologias emergentes e para o desenvolvimento de novas terapêuticas, que se reflete na demora significativa na disponibilização de novos tratamentos, atrasando a melhoria dos cuidados de saúde e inovação no setor da indústria farmacêutica (Mundy et al., 2023).

3.2.2 Impacto da Inteligência artificial na descoberta, desenvolvimento e otimização de medicamentos

Dada a multiplicidade de desafios que a indústria farmacêutica enfrenta, a inteligência artificial emerge como uma ferramenta essencial para mitigar e superar alguns dos obstáculos. Com o seu elevado potencial para revolucionar diversas áreas da indústria farmacêutica, proporciona soluções inovadoras que podem permitir ultrapassar os vários desafios. A IA com a sua capacidade para analisar grandes quantidades de dados complexos, de identificar padrões e de conseguir prever interações moleculares pode não só impulsionar a investigação e desenvolvimento de novas terapêuticas, como também facilitar a personalização de tratamentos. Além disso, a IA tem o potencial para transformar a forma como os ensaios clínicos são realizados, desde o recrutamento de pessoas, monitorização, análise e recolha de dados em tempo real, até à otimização do processo, reduzindo significativamente o tempo dos ensaios. Neste subcapítulo, o foco será como a IA consegue contribuir para a descoberta, desenvolvimento e otimização de medicamentos (Choudhary et al., 2023).

A aplicação da inteligência artificial permite revolucionar todo o panorama da indústria farmacêutica, promovendo um avanço significativo na área de investigação e desenvolvimento de medicamentos. Habitualmente, o processo de descoberta de novas moléculas é um processo muito lento, demorado e de elevado custo que, historicamente, está associado a abordagens convencionais de tentativa e erro. Durante décadas, a descoberta de novos medicamentos seguiu uma abordagem baseada na análise de uma vasta quantidade de moléculas e da realização de testes laboratoriais minuciosos para avaliar a eficácia e segurança dos compostos candidatos (Choudhary et al., 2023).

Neste contexto, um dos métodos que se destacam é a triagem de alto rendimento, que se baseia numa técnica que permite avaliar, simultaneamente, milhares de compostos químicos com o intuito de identificar aqueles que apresentem a atividade biológica

desejada contra o alvo específico. Este método recorre a sistemas automatizados para possibilitar uma análise em grande escala, no entanto apesar desta capacidade, a complexidade de interações entre as moléculas candidatas e o alvo biológico pode resultar na seleção inadequada de candidatos a fármacos. Este modelo de descoberta é bastante dispendioso tanto em tempo como em custo, tendo uma taxa de sucesso baixa (Lu et al., 2023).

A química combinatória é outra técnica usada para descobrir novos fármacos, esta abordagem caracteriza-se pela criação de um grande número de compostos químicos ao combinar sistematicamente diferentes partes da molécula, como grupos funcionais, para gerar diversas combinações. Este método é bastante útil para explorar a diversidade estrutural das moléculas de modo a criar compostos, contudo é bastante complicado prever a atividade biológica destes e tal como o método anteriormente mencionado, este também é dispendioso e lento (Lu et al., 2023).

Uma das metodologias mais usadas é a descoberta de fármacos baseado em fenótipos, sendo que este método se baseia em observar como modelos biológicos vivos reagem às várias moléculas que são possíveis candidatas. Nesta abordagem, não são inicialmente conhecidos os alvos terapêuticos, mas sim os compostos que causam mudanças fenotípicas e que possam ser úteis para tratar a doença. Embora seja uma abordagem útil, os fármacos identificados requerem uma validação adicional, sendo que a complexidade destas moléculas e a variabilidade de respostas fenotípicas são muito imprecisas. Além disso, a dificuldade em reproduzir as respostas fenotípicas de modelos pré-clínicos em modelos clínicos constitui mais uma limitação deste método (Vora et al., 2023).

Com o avanço das tecnologias de sequenciação e biologia molecular, a descoberta de fármacos baseado em alvos terapêuticos, conhecida como Target-Based Drug Discovery, torna-se cada vez mais prevalente. Esta abordagem foca-se em identificar, primeiramente, os alvos biológicos específicos que possam estar diretamente relacionados com a patologia. Através da análise de dados genómicos e proteómicos, é possível que os investigadores consigam identificar genes ou proteínas que estejam mutados ou sobre expressos em determinadas doenças, o que facilita a seleção de alvos com potencial terapêutico. Apesar de ser uma das abordagens mais prevalentes, esta enfrenta alguns desafios devido à complexidade molecular, aos parâmetros farmacocinéticos e farmacodinâmicos do alvo terapêutico e porque a validação de alvos é bastante lenta e oneroso (Lu et al., 2023).

Com a implementação da IA, esta tecnologia inovadora permite acelerar o processo de descoberta de novos fármacos a partir da utilização de algoritmos de machine learning e deep learning. Estes algoritmos, a partir da sua extensa base de dados científicos, possibilitam identificar mais rapidamente as moléculas mais promissoras e as principais candidatas a novos fármacos (Paul et al., 2021).

Uma das grandes contribuições da IA nesta área é na identificação de alvos terapêuticos, ou seja, identificar qual molécula ou estrutura biológica que será o alvo do tratamento. A identificação do alvo terapêutico pode ser o primeiro passo na descoberta de fármacos, uma vez que a eficácia do medicamento depende diretamente de como este interage com o seu alvo biológico. Como já mencionado, a IA a partir da utilização de algoritmo de machine learning e do acesso a quantidades massivas de dados biológicos, incluindo informação genómica e clínica é capaz de identificar padrões e de estabelecer correlações que não são evidentes através dos métodos usuais. Através desta tecnologia é possível compreender a complexidade das interações biológicas e de sugerir alvos com alta probabilidade de serem relevantes para o tratamento da patologia em questão (Vora et al., 2023). A IA pode utilizar algoritmos como redes neuronais profundas e máquinas de vetor de suporte para analisar esses mesmos conjuntos de dados relacionados com os compostos químicos e as suas atividades biológicas.

Um exemplo prático da utilização desta tecnologia inovadora é o uso da plataforma KinomeX, que utiliza as redes neuronais profundas para identificar a polifarmacologia das quinases com base na sua estrutura química, ou seja, ajuda a prever os compostos que interagem com as diferentes quinases. Esta plataforma utilizou dados de bioatividade de mais 300 quinases, o que permite identificar os alvos principais de um fármaco como possibilita prever algumas interações não desejadas com outras quinases, designadas por off-target, sendo importante para avaliar a seletividade de um fármaco e para desenvolver novos fármacos mais seguros e eficazes (Lu et al., 2023).

Uma das metodologias impactantes que surgiu com a aplicação da IA na identificação de alvos terapêuticos é o "target fishing". Este método utiliza a estrutura química das moléculas candidatas para prever o potencial alvo biológico, correlacionando as características estruturais dos novos compostos com alvos biológicos conhecidos, a IA facilita a deteção de potenciais interações indesejadas. Esta técnica permite acelerar o processo de descoberta e de reduzir os custos da mesma, priorizando moléculas que tenham mais probabilidade de sucesso. A loperamida e a metadona são exemplos de medicamentos em que o seu alvo biológico foi identificado através desta técnica (Vora et

al., 2023). Adicionalmente, a triagem virtual é uma técnica complementar e essencial para aprimorar a seleção de compostos com potencial para se ligar aos seus alvos biológicos específicos. Esta técnica permite realizar uma triagem rápida de uma base de dados que contribui para que os ensaios laboratoriais não sejam tão exaustivos e prolongados. Além disso, métodos como o docking molecular são utilizados na triagem virtual para antecipar como os compostos se ligam aos alvos, facultando uma visão detalhada das interações moleculares. Esta abordagem em conjunto com a utilização de dados biológicos possibilita uma análise mais personalizada e direcionada que leva ao aumento da precisão de seleção de moléculas com maior potencial terapêutico. A triagem virtual é importante para acelerar as fases iniciais da descoberta de fármacos, reduzindo os custos e o tempo das mesmas otimizando o processo de desenvolvimento do fármaco.

Um exemplo notável da aplicação da triagem virtual é o DeepVS, concebido para realizar o docking de 40 recetores e 2950 ligandos, ou seja, 2950 moléculas diferentes foram testadas para ver como interagiam com estes diferentes recetores e se conseguiam ligar-se a estes. Este sistema teve um desempenho excecional ao testar 95000 compostos de controlo para verificar se este modelo de triagem conseguiria distinguir entre os compostos que se ligam aos alvos biológicos e os que não se ligam (Paul et al., 2021).

A aplicação da inteligência artificial na descoberta de fármacos é crucial relativamente à avaliação de toxicidade dos novos compostos, sendo que a utilização de algoritmos de machine learning são mais uma vez bastante importantes devido à capacidade de análise de quantidades massivas de dados. Estes algoritmos podem ser treinados a partir de bases de dados de toxicologia que contêm informações sobre compostos químicos e os seus efeitos adversos associados. Esta capacidade de prever a toxicidade através da identificação de padrões complexos contribui para uma seleção mais segura e eficaz de compostos com maior potencial terapêutico (Lu et al., 2023).

Um exemplo demonstrativo do impacto da IA na previsão da toxicologia é o sistema DeepTox, que utiliza características químicas especificas para prever a toxicidade de uma molécula com elevada precisão. O DeepTox permite identificar propriedades químicas associadas a efeitos tóxicos a partir da análise de 2500 características associadas a grupos toxicóforos, sendo uma técnica diferenciada em comparação com métodos tradicionais. Tox21 Data Challenge é mais um exemplo da aplicação da IA, com o envolvimento de entidades como National Institutes of health, Environmental Protection Agency (EPA) e Food and Drug Administracion (FDA), demonstrou eficácia da IA em contribuir para a

previsão de toxicidade de mais 12000 compostos, incluindo substâncias ambientais e fármacos (Paul et al., 2021).

Como já foi mencionado, um dos desafios que a indústria farmacêutica enfrenta é a alternativa terapêutica em doenças cujo tratamento apresenta limitações, ou seja, as necessidades médicas não atendidas. Com a aplicação da IA, este setor, inevitavelmente, entra numa constante inovação, sendo um exemplo simples e impactante o reposicionamento de fármacos. Esta técnica consiste na descoberta de novas indicações terapêuticas para medicamentos já aprovados, reduzindo custos envolvidos e acelerando o processo de novas terapêuticas. O reposicionamento de fármacos é uma forma de maximizar o uso de medicamentos já desenvolvidos, aproveitando o facto de estes já terem passado por avaliações rigorosas e minuciosas de segurança e eficácia. A IA pode analisar os dados biomédicos destes fármacos com objetivo de conseguir expandir o potencial terapêutico dos medicamentos já existentes (Vora et al., 2023).

Para além das vantagens anteriormente referidas da aplicação da IA na descoberta e desenvolvimento de novos medicamentos, destaca-se também o seu papel na otimização de formas farmacêuticas. Mais uma vez, a capacidade da inteligência artificial em conseguir analisar e processar uma grande quantidade de dados através de algoritmos de machine learning revela-se fundamental, permitindo uma abordagem mais precisa e eficaz no desenvolvimento de medicamentos. A IA facilita a identificação das características ideais para a formulação de medicamentos, possibilitando que os investigadores explorem várias combinações entre as substâncias ativas e os excipientes. Esta capacidade de prever os resultados destas combinações é fulcral para a otimização de formas farmacêuticas de modo a adaptar as necessidades especificas de cada doente, aumentando a eficácia terapêutica e reduzindo a variabilidade de resposta ao fármaco. A otimização da forma farmacêutica visa melhorar a biodisponibilidade, solubilidade e estabilidade dos fármacos (Lu et al., 2023). Para atingir este objetivo, a integração da IA permite a simulação de diferentes tipos de formulações a partir de técnicas como a análise de superfície de respostas que relaciona as várias variáveis e o seu impacto nas formulações, utilizando também algoritmos que incluem dados genéticos. A aplicação de modelos baseados na inteligência artificial e na otimização de formulações permite desenvolver de forma eficiente sistemas de veiculação de fármacos, permitindo uma libertação controlada e direcionada dos mesmos. Estes algoritmos consideram variáveis como os mecanismos de libertação do fármaco, as suas propriedades físico-químicas e as suas características de formulação com o intuito de estimar a libertação de fármaco ao

longo do tempo e identificar formulações que minimizem os efeitos adversos e maximizem a eficácia terapêutica (Vora et al., 2023).

A personalização de dosagem de fármacos é outro domínio que pode ser revolucionado pela inteligência artificial. O avanço das áreas científicas aliado à implementação de tecnologias inovadoras, possibilita que a adaptação de uma dosagem do medicamento de acordo com as características genéticas de um individuo seja cada vez mais uma realidade. A IA facilita esta personalização ao analisar os dados genéticos, clínicos e o perfil de resposta ao medicamento, sendo que este perfil depende da absorção, distribuição, metabolização e eliminação de cada individuo (Sarkar et al., 2023). A aplicação de algoritmos de machine learning e deep learning tem mostrado um potencial significativo relativamente à previsão das características de absorção, distribuição, metabolização e excreção (Sarkar et al., 2023). Alguns exemplos de algoritmos de machine learning usados para prever estes parâmetros farmacocinéticos são algoritmos como a floresta aleatória, redes neuronais e máquinas de vetores de suporte, em que a partir da utilização deste tipo de tecnologia é possível prever a biodisponibilidade e eliminação de um fármaco. Esta tecnologia pode ser combinada com modelos matemáticos que simulam como um fármaco atua no corpo humano, tendo em conta fatores fisiológicos e anatómicos, permitindo a extrapolação de dados pré-clínicos para a aplicação em seres humanos.

A inteligência artificial tem sido utilizada para prever alguns parâmetros farmacocinéticos como a área sob a curva (AUC) e a concentração plasmática ao longo do tempo, utilizando modelos de regressão linear como Gradient Boostin Machines e LASSO (Vora et al., 2023). Estes modelos foram usados para prever a área sob a curva de fármacos como a rifampicina, resultando numa análise eficiente e aprimorando a seleção de variáveis relevantes. Outro exemplo da utilização de IA é o algoritmo XGBoost que possibilitou estimar a área sob a curva de fármacos como o tacrolímus e o micofenolato de mofetil, mostrando-se eficaz na previsão de dados farmacocinéticos, apesar de não conseguir determinar com precisão a dose ideal (Vora et al., 2023). Ao prever a área sob a curva e a concentração plasmática ao longo do tempo é possível ajustar as doses de fármacos de forma personalizada e individual para que cada doente receba a quantidade ideal de medicamento, de modo a aumentar o potencial terapêutico e reduzindo os riscos de toxicidade.

A complexidade de dados in vivo é bastante superior em comparação com os parâmetros farmacocinéticos in vitro, sendo que a aplicação de tecnologias como machine

learning simplifica a análise e interpretação desses dados. Além disso, a utilização de modelos de IA proporciona a oportunidade de simular diversos cenários, como diferentes vias de administração e possíveis interações medicamentosas (Vora et al., 2023).

Com base no exposto, torna-se evidente que a inteligência artificial tem o poder para reformular o panorama da descoberta e desenvolvimento de medicamentos. A IA é uma tecnologia com competência para processar e analisar grandes volumes de dados complexos, prever interações e otimizar processos de desenvolvimento de fármacos, de forma a revolucionar a indústria farmacêutica. A sua aplicação nas várias fases da descoberta e desenvolvimento do medicamento proporciona soluções inovadoras que não só aceleram estas etapas, mas também aumentam a precisão e segurança do fármaco, reduzindo possíveis efeitos adversos e contribuindo para a personalização de terapêuticas. Assim, a IA afirma-se como uma ferramenta indispensável enfrentar diversos desafios, promovendo a inovação e avanços terapêuticos ajustados à necessidade de cada doente, reduzindo os custos associados a estes avanços (Choudhary et al., 2023).

3.2.3 Impacto da inteligência artificial nos Ensaios Clínicos

Após analisar como a inteligência artificial pode revolucionar a descoberta e desenvolvimento de novos medicamentos, é igualmente importante explorar o seu impacto numa etapa critica como os ensaios clínicos. Esta fase, considerada umas das mais dispendiosas e prolongadas do ciclo do medicamento, enfrenta vários desafios como a monitorização de doentes em tempo real, a complexidade de recrutamento de indivíduos, análise eficiente de dados e resultados e a elevada taxa de falhas, sendo que apenas 1 em cada 10 compostos que entram nos ensaios clínicos é que chegam ao mercado (Harrer et al., 2019). O custo médio associado a um ensaio clínico mal sucedido pode variar entre 800 milhões e 1,4 bilhões de dólares, resultando em perdas financeiras substanciais (Lu et al., 2023). A utilização de algoritmos de machine learning e deep learning, já bastante abordada no contexto da descoberta e desenvolvimento de novos fármacos, também se aplica nos ensaios clínicos proporcionando novas soluções para otimizar cada processo envolvente dos ensaios clínicos. Mais uma vez, a capacidade da IA em analisar grandes quantidades de dados destaca-se, sendo uma mais-valia para identificar padrões e prever resultados e assim contribuir para a otimização e aceleração dos ensaios clínicos, aumentando a sua eficiência e precisão. Neste subcapítulo será explorado o impacto da inteligência artificial nos ensaios clínicos, desde a seleção e recrutamento de pessoas até monitorização e análise de dados e resultados (Ngayua et al.,

2021). A transição digital, impulsionada por tecnologias inovadoras como a IA, surge como uma solução promissora para mitigar os vários obstáculos que os ensaios clínicos enfrentam, favorecendo a redução de tempo necessário para a realização destes ensaios, bem como melhora a qualidade, segurança e eficácia dos mesmos.

A integração da inteligência artificial em ensaios clínicos representa uma inovação significativa neste campo, transformando a forma como os ensaios são conduzidos. Uma das fases mais críticas nos ensaios clínicos é a seleção e recrutamento de pessoas, sendo uma etapa tradicionalmente demorada e exigente, que requer uma análise manual de registos eletrónicos de saúde e a consulta de bases de dados complexas, bem como um processo de entrevistas a potenciais participantes (Harrer et al., 2019). Este método manual não só dispensa muito tempo, como é suscetível a muitos erros, que por sua vez limitam a eficácia da seleção (Harrer et al., 2019). A aplicação da inteligência artificial através de algoritmos de machine learning e deep learning, oferece soluções inovadores, otimizando a identificação e seleção de participantes, contribuindo para ultrapassar as dificuldades em recrutar pessoas que cumpram os critérios de elegibilidade. No contexto de recrutamento e de critérios de elegibilidade, o uso de plataformas baseadas no processamento de linguagem natural como Criteria2Query e DQueST facilita a pesquisa em bases de dados clínicos e seleciona critérios de elegibilidade de forma organizada e clara (Cascini et al., 2022). Estes sistemas, em conjunto com algoritmos de machine learning, automatizam a triagem de registos eletrónicos de saúde, analisando-os sendo capazes de identificar padrões e características que correspondem a critérios de elegibilidade promovendo a otimização de seleção de participantes legíveis com o intuito de aumentar a precisão e a eficiência. Os sistemas de correspondência de ensaios clínicos baseados em IA aceleram a identificação de pessoas que cumprem os requisitos específicos exigidos para serem selecionados, reduzindo o tempo e os recursos necessários no recrutamento para ensaios clínicos.

Outro ponto relevante da utilização da IA é a possibilidade de otimizar e personalizar o processo de recrutamento através da criação de perfis detalhados, com base em dados genéticos, histórico clínico e registos eletrónicos de saúde para facilitar o desenvolvimento de estratégias de recrutamento para que estas sejam mais eficazes e focadas. Isto inclui a segmentação de grupos específicos que tenham maior probabilidade de participar nos ensaios clínicos, aumentando a inclusão e a diversidade dos mesmos (Ngayua et al., 2021).

Um exemplo da aplicabilidade da IA nesta etapa dos ensaios clínicos é o sistema ACTES, que foi integrado na prática clínica de um serviço de urgência pediátrica, onde houve uma redução 34% no tempo de triagem de candidatos para os ensaios clínicos. Este sistema utilizou dados estruturados e não estruturados para treinar os algoritmos de forma que estes sejam capazes de identificar indivíduos que cumprem os critérios de inclusão para os ensaios clínicos, permitindo a recomendação em tempo real de candidatos adequados (Ismail et al., 2023).

Após a seleção e recrutamento de participantes, uma etapa igualmente importante nos ensaios clínicos é a monitorização e gestão de dados em tempo real ao longo do estudo. O impacto da IA nesta fase é bastante evidente, permitindo um acompanhamento contínuo e detalhado de forma automatizada e remota. Devido à sua capacidade de processar uma grande quantidade de dados fisiológicos, a IA possibilita a implementação de sistemas de monitorização contínua para que os investigadores acompanhem o progresso dos ensaios, o que facilita a identificação precoce de qualquer alteração na condição de saúde de algum individuo e permite uma intervenção imediata, minimizando risco e garantindo a segurança (Ismail et al., 2023). Além disso, a IA contribui para a redução significativa das taxas de desistência dos participantes, visto que estas taxas rondam em média os 30% e que apenas 15% dos ensaios clínicos não registam desistências, sendo assim, um dos maiores desafios que os ensaios enfrentam (Harrer et al., 2019). A monitorização continua e personalizada, em conjunto com o aumento de segurança, pode promover uma maior adesão por parte dos participantes (Harrer et al., 2019). A utilização de sensores e dispositivos movéis equipados com modelos de IA proporciona uma visão em tempo real do estado de saúde dos participantes e permite recolher dados de forma precisa com o intuito de avaliar a eficácia do ensaio. A integração de algoritmos, como machine learning e deep learning, em dispositivos móveis e sensores permitem monitorizar vários tipos de parâmetros biométricos como a frequência cardíaca, a pressão arterial, entre outros indicadores de saúde. Posteriormente, os algoritmos de IA ao analisar estes dados, promovem uma tomada de decisões informadas ao longo do ensaio, aumentando a confiança na condução dos ensaios clínicos e possibilitando ajustes no decorrer dos mesmos (Ngayua et al., 2021).

Um exemplo notável da aplicabilidade da IA na monitorização e gestão de dados em tempo real nos ensaios clínicos é o estudo multiSENSE, que avaliou o algoritmo HearthLogic, uma ferramenta multissensorial desenvolvida para prever exacerbações na insuficiência cardíaca. Neste ensaio, 900 doentes foram submetidos a uma terapêutica de

ressincronização cardíaca, onde o algoritmo demonstrou uma sensibilidade de 70% na deteção precoce de exacerbações, alertando em média 34 dias antes de qualquer evento, possibilitando intervenções antecipadas e em conformidade com as necessidades dos doentes (Gautam et al., 2022). Outro exemplo significativo do impacto da IA na monitorização em ensaios clínicos é a utilização de dispositivos de monitorização em doentes com a doença de Parkinson. Em ensaios clínicos recentes, sistema que integram sensores biométricos juntamente com algoritmos de machine learning foram implementados para avaliar a progressão da doença e a resposta à terapêutica. Estes dispositivos através dos sensores que monitorizam parâmetros como padrões de sono, frequência cardíaca e atividade motora, captam os dados de forma contínua que, posteriormente, são analisados por modelos baseados em deep learning. A partir deste modelo é possível identificar padrões comportamentais e fisiológicos associados a episódios de tremores, prevendo-os e intervindo de forma imediata e atendendo às necessidades do doente (Harrer et al., 2019).

Aliado à capacidade da IA de impactar a monitorização em tempo real e o recrutamento de participantes, a inteligência artificial tem possibilitado inovações disruptivas na área dos ensaios clínicos, sendo uma delas o uso de digital twins, uma tecnologia emergente que permite a representação virtual de entidades biológicas, desde células até sistemas biológicos mais complexos como o ser humano (Kreuzer et al., 2024)(Bordukova et al., 2024). A combinação de Digital twins com a inteligência artificial viabiliza a simulação e realização de experiências in silíco, facilitando a previsão do progresso clínico de modo a avaliar antecipadamente a eficácia e segurança do medicamento, antes de este ser testado em seres humanos. Ao integrar a IA nestes sistemas, é possível, por meio de algoritmos de machine learning e deep learning, criar modelos complexos e realistas que conseguem simular o comportamento de um sistema biológico e a sua evolução clínica com precisão, a partir de dados reais como dados genéticos, registo eletrónicos de saúde e parâmetros fisiológicos (Kreuzer et al., 2024).

Em ensaios clínicos, a IA juntamente com digital twins podem ser utilizados para criar grupos de controlo virtuais, substituindo a necessidade de participantes com o único intuito de ter um grupo de comparação no estudo. Além disso, esta tecnologia pode ser ajustada com base nos dados recolhidos em tempo real o que permite uma personalização contínua na condução do ensaio clínico. O uso deste tipo de modelos reduz o erro humano e faculta uma recolha de dados mais robusta e eficiente que contribui para o aumento do poder estatístico do ensaio (Bordukova et al., 2024). Um exemplo da aplicabilidade de

digital twins em ensaios clínicos, com o auxílio da IA é demonstrado no contexto de um estudo sobre Alzheimer e esclerose múltipla, onde a empresa Unlearn.AI implementou este tipo de tecnologia nos ensaios clínicos, utilizando redes neuronais generativas baseadas em máquinas de Boltzmann restritas. Estes algoritmos são treinados com dados provenientes de grupos de controlo (placebo) de ensaios clínicos anteriores e estudos observacionais para que possam criar os digital twins com o intuito de simular o progresso dos participantes ao longo do ensaio e substituir o grupo de controlo, que diminui a necessidade de recrutamento de mais pessoas, o que acelera o estudo e otimiza grande parte do processo. Esta abordagem possibilita uma comparação mais rápida e precisa com o grupo que está a receber o tratamento experimental e explora diferentes cenários clínicos sem comprometer a saúde dos participantes, aumentando a eficiência e mantendo um elevado nível de rigor científico (Bordukova et al., 2024).

Assim, ao integrar a IA numa tecnologia como os digital twins, os ensaios clínicos tornam-se mais eficientes ao prever como diferentes perfis de resposta de participantes reagem às terapêuticas, o que permite acelerar o desenvolvimento de medicamentos, reduz os custos e minimiza os riscos para os participantes, assegurando uma condução dos ensaios clínicos com maior rigor científico.

3.2.4 O impacto da IA na otimização e automatização dos processos de produção de medicamentos

Nos capítulos anteriores, abordou-se o impacto da inteligência artificial no setor da indústria farmacêutica, destacando como esta tecnologia acelera o processo de descoberta e desenvolvimento de novos medicamentos, além de transformar significativamente a forma como os ensaios clínicos são conduzidos. Contudo, a IA tem um papel que vai além destas etapas iniciais do ciclo de vida do medicamento, ao avançarmos para as etapas de produção, o seu impacto mantém-se transformador. O objetivo deste subcapítulo é explorar as variadíssimas formas que a IA tem de revolucionar o processo de produção do medicamento, automatizando e otimizando as diferentes práticas de produção farmacêutica. Através da aplicação de algoritmos de machine learning e deep learning, a IA contribui para aprimorar a qualidade do produtos finais e possibilita ajustes em tempo real e uma otimização contínua dos parâmetros de produção. Esta transição digital, impulsionada pela IA, permite que a indústria farmacêutica possa corresponder de forma eficiente às crescentes exigências do mercado global, promovendo avanços importantes na forma como os medicamentos são produzidos, num setor em que a

segurança, a eficiência e qualidade são essenciais. A inteligência artificial pode desempenhar um papel crucial na melhoria dos processos de produção de medicamentos, transformando as várias fases da produção através da automatização, monitorização em tempo real e aperfeiçoamento contínuo dos parâmetros essenciais na produção. A integração desta tecnologia oferece soluções inovadoras que reduzem os custos associados à produção e desenvolvimento e aumentam a eficiência do processo (Kulkov, 2021).

A integração da IA em tecnologias robóticas na produção de medicamentos representa um avanço marcante na automatização dos processos de produção na indústria farmacêutica. A combinação entre estas tecnologias permite a execução de tarefas complexas e repetitivas, que exige uma elevada precisão e rapidez nos processos de modo a corresponder à evolução constante de exigências do mercado. A sinergia entre a IA e a robótica não se limita à automatização de processos, mas também promove uma abordagem mais inteligente e proativa na gestão dos processos de fabrico, eliminando a variabilidade associada à intervenção humana e assegurando consistência em processos de produção contínua. Uma das capacidades mais relevantes da IA em sistemas robóticos é a analise de grandes volumes de dados em tempo real, através de algoritmos de machine learning, que proporciona uma adaptação constante às necessidades dos processos de produção, ajustando automaticamente os parâmetros de fabrico (Stasevych & Zvarych, 2023). Para responder a flutuações na procura e à crescente demanda por medicamentos personalizados, a versatilidade destes sistemas é bastante útil nestes ambientes de produção que requerem rapidez e precisão na implementação desses ajustes, garantindo qualidade e eficiência em todas as fases do processo de produção. A inteligência artificial possibilita que os sistemas robóticos executem tarefas críticas com segurança acrescida, em áreas onde a exposição humana deve ser minimizada, como por exemplo na produção de produtos estéreis ou na manipulação de substâncias perigosas. A utilização destes sistemas em áreas de produção estéreis eleva a segurança operacional e reduz o risco de contaminação, atendendo às exigências regulamentares da indústria farmacêutica, de modo a assegurar a qualidade e a segurança na produção de medicamentos. Uma das características diferenciadoras destes sistemas robóticos, integrados com IA, é a rastreabilidade na produção, em que todos os procedimentos e operações realizados são registados em tempo real, criando um histórico para cada lote produzido, de forma a corresponder às boas práticas de fabrico (Stasevych & Zvarych, 2023).

Além de promover maior segurança e eficiência operacional, a IA tem um papel central na implementação de soluções inovadoras como a capacidade de realizar análises avançadas e uma monitorização preditiva. Os algoritmos de inteligência artificial promovem a monitorização contínua dos equipamentos de produção, detetando antecipadamente qualquer anomalia que possa ocorrer e prevendo possíveis falhas que possam surgir. Estes algoritmos analisam dados em tempo real provenientes de sensores instalados nos equipamentos de produção, em que estes registam e monitorizam diversas variáveis críticas no processo de produção como a velocidade, a temperatura e a pressão (Yadav et al., 2024). Através da análise dos dados históricos dos equipamentos e dos dados em tempo real, a IA consegue identificar padrões e anomalias que possam indicar um desempenho inadequado do equipamento e que ao detetá-lo este possa ser comunicado ao operador, evitando falhas na linha de produção. A capacidade da análise preditiva promove a implementação de manutenções preventivas, podendo a indústria farmacêutica programar inspeções aos equipamentos de produção em momentos que não prejudique a linha de produção, assegurando a continuidade desta mesma linha. Este tipo de análises e monitorização proativa tanto minimizam o tempo de inatividade dos equipamentos, como também reduzem os custo de reparações de emergência e de perdas de produção (Arden et al., 2021).

A possibilidade de monitorizar os processos em tempo real viabiliza ajustes na linha de produção de forma a assegurar que os produtos finais estejam em conformidade com os padrões de qualidade exigidos. A implementação de algoritmos de machine learning possibilita uma transição de um modelo de produção por lotes para um modelo de monitorização continua. Através da utilização destes algoritmos, é possível otimizar tanto o design como aprimorar os processos, identificando rapidamente as condições ideias de produção do medicamento (Arden et al., 2021). Estes algoritmos de IA, juntamente com técnicas avançadas de controlo de processos contribuem para um ajuste automático dos parâmetros de produção em resposta a variações detetadas em tempo real, de modo a garantir que a produção se mantém dentro dos padrões de qualidade previamente estabelecidos. Este tipo de tecnologias estão na base dos sistemas de controlo de qualidade contínua, em que a integração da IA no controlo de qualidade dos produtos possibilita a realização de testes de controlo de forma automatizada, em que substitui uma inspeção manual o que reduz a probabilidade de erros humano, proporcionando uma melhoria substancial na qualidade do produto farmacêutico e resulta numa produção com

menos desperdício e maior conformidade das normas regulamentares (Food and Drug Administration, 2023).

Um exemplo da aplicabilidade da inteligência artificial nos processos de produção de medicamentos pode ser observada num caso de estudo onde foram criadas imagens sintéticas, porém realistas, de diferentes formas farmacêuticas através da impressão 3D com o intuito de treinar os algoritmos de machine learning para que estes avaliem a qualidade dos produtos farmacêuticos. Estes modelos foram programados com o objetivo de distinguir os resultados dessa impressão 3D entre aceitáveis ou defeituosos em 3 tipos de formas farmacêuticas: cápsulas, comprimidos e filmes. De forma a garantir uma avaliação robusta e completa, é necessário testar a eficácia deste sistema, extensivamente, através de uma base de dados que continha mais de 3000 imagens, em que algumas delas eram irrelevantes, de modo a garantir uma análise eficaz e precisa. Este modelo demonstrou um resultado altamente preciso na classificação das imagens, revelando o poder crucial que a IA tem em automatizar e aperfeiçoar os processos de controlo de qualidade na produção de medicamentos em 3D (Sun et al., 2023).

Outro exemplo representativo do papel que a IA pode ter nos processos de produção é a utilização de um sistema de imagem endoscópica, baseado em redes neuronais, para a monitorização do tamanho das partículas durante a fluidização de grânulos. Este sistema, juntamente com inteligência artificial, possibilita a monitorização, em tempo real, dos grânulos ao longo da etapa da granulação que, através da análise de imagens, garante uma avaliação imediata e clara das suas características físicas. Este estudo demonstrou que, devido à IA analisar os dados em tempo real, esta não só melhora a precisão na medição do tamanho e distribuição dos grânulos, como também permite ajustes imediatos de parâmetros da produção, como a taxa de fluidização e a temperatura. Estas capacidades torna mais fácil e adaptável a aplicação de tecnologias de análise de processos que garantem que os medicamentos produzidos estão em conformidade com os padrões de qualidade exigidos pelas entidades regulamentares. Além disso, a incorporação de endoscópios e câmaras adaptáveis conferem versatilidade a estes sistemas e permitem que estes sejam usados em várias etapas de produção (Péterfi et al., 2023).

Com estas aplicações práticas e tecnologias avançadas, é evidente que a aplicação da inteligência artificial na produção de medicamentos representa uma mudança impactante, conferindo automatização, otimização de processos em tempo real e monitorização preditiva. Estas tecnologias inovadoras proporcionam um aumento

substancial na eficiência dos processos e melhorias contínuas na qualidade do produto, minimizando paragens inesperadas o que reduz os desperdícios. Por fim, a IA surge como um novo pilar para o futuro da manufatura farmacêutica, promovendo não apenas a inovação, mas também a excelência operacional.

3.2.5 A Inteligência Artificial e a Farmacovigilância

Embora a inteligência artificial desempenhe um papel crucial na mudança de paradigma na descoberta, desenvolvimento e produção de medicamentos, o seu impacto não se limita a estas fases, estende-se também à fase pós-comercialização. Após a entrada do medicamento no mercado, a monitorização contínua da sua segurança é crucial para assegurar a sua eficácia e minimizar a exposição dos riscos para a saúde pública.

Nesse contexto, a Farmacovigilância é uma ferramenta essencial, cujo objetivo é aumentar a segurança dos medicamentos de modo a proteger a saúde pública, realizando-se através da monitorização, avaliação e prevenção de reações adversas relativas ao uso de medicamentos, em larga escala (*Farmacovigilância - INFARMED, I.P.*, n.d.). A complexidade associada à recolha e análise de dados de Farmacovigilância como registos médicos, relatórios de reações adversas e literatura científica, aliada à necessidade de monitorização contínua dos medicamentos, exige uma abordagem inovadora capaz de lidar com uma grande quantidade de dados em tempo real e de forma eficiente. É neste contexto que surge a inteligência artificial, que se destaca como uma tecnologia essencial que possibilita análise de grandes volumes de dados, através de algoritmos de machine learning. A IA permite identificar padrões emergentes e enfrentar o desafio critico que é a subnotificação de reações adversas, ou seja, reações que deveriam ser reportadas às entidades competentes, mas não o são (Shamim et al., 2024).

Além de enfrentar este desafio crítico, a implementação de IA, como o processamento de linguagem natural e algoritmos de machine learning e deep learning pode automatizar e acelerar a identificação de possíveis reações adversas, através da aprendizagem contínua de dados históricos e de diversas fontes de informação como registos eletrónicos de saúde, sistemas de notificação espontânea, redes sociais e literatura científica. A análise em tempo real destes dados aumentam a sensibilidade e especificidade na deteção de potenciais de problemas de segurança dos medicamentos, isto pode levar a uma melhoria constante da qualidade dos dados e na eficácia das intervenções de segurança (Stagi et al., 2021). Outro benefício da IA na

Farmacovigilância é a automatização de tarefas repetitivas e demoradas como a triagem dos relatórios das notificações de reações adversas, permitindo uma maior agilidade na análise dos dados. Além de contribuir para o aumento da eficiência operacional, a integração da IA minimiza o erro humano e permitindo que os profissionais encarregues se concentrem em tarefas de maior valor como a interpretação de dados (Stagi et al., 2021). Além disto, a IA pode promover a personalização da Farmacovigilância ao analisar dados de subpopulações especificas, identificando os fatores de risco e detetando correlações e padrões entre estes e possíveis reações adversas, podendo implementar medidas de monitorização mais rigorosas a grupos mais propensos, melhorando a segurança dos doentes e a eficácia das intervenções (Bate & Stegmann, 2023).

Embora os benéficos da inteligência artificial na Farmacovigilância já mencionados sejam relevantes, é importante comprovar como estas tecnologias podem revolucionar a monitorização da segurança dos medicamentos num contexto real, de modo a proporcionar uma resposta mais eficaz e eficiente na deteção de efeitos adversos e na gestão de risco. Um exemplo demonstrativo da aplicabilidade da IA na Farmacovigilância é a monitorização da segurança das vacinas contra a COVID-19. Este exemplo ocorreu na França, em que a inteligência artificial foi utilizada para monitorizar, em tempo real, as possíveis reações adversas associadas à administração das vacinas, através de dispositivos móveis e de teleconsultas. Estes dispositivos, com a integração da IA, recolhiam dados de saúde em tempo real, monitorizando de forma contínua sinais vitais e outros parâmetros de saúde que possam indicar reações adversas. Já as teleconsultas permitiram uma constante monitorização e deteção de efeitos adversos em doentes que recebiam cuidados de saúde de forma remota. A partir da integração dos dados dos dispositivos móveis e das teleconsultas, a IA transformou a Farmacovigilância, promovendo uma monitorização mais robusta e ampla da segurança das vacinas e melhorou, de forma eficiente, a deteção de efeitos adversos (Shamim et al., 2024).

Em suma, a aplicação da inteligência artificial na Farmacovigilância eleva a capacidade de monitorizar a segurança dos medicamentos de forma ativa e eficaz. A IA oferece soluções para aprimorar a deteção de reações adversas e personalizar a Farmacovigilância, através do processamento de grandes volumes de dados em tempo real para identificar padrões emergentes. Este avanço tecnológico é bastante significativo nesta área, reforçando o papel crucial que a IA pode ter na gestão de riscos e segurança no setor da saúde, capacitando-o para enfrentar diversos desafios de forma mais eficiente.

3.3 Impacto da IA na distribuição de medicamentos

No capítulo anterior, foi explorado a forma como a inteligência artificial transforma significativamente as várias fases da indústria farmacêutica, desde a descoberta e desenvolvimento de medicamentos, passando pelos ensaios clínicos e produção, até à Farmacovigilância. Seguindo o ciclo de vida do medicamento, após estas etapas é importante abordar como a IA pode revolucionar a distribuição de medicamentos. Esta etapa, que assegura que os medicamentos desenvolvidos e produzidos de forma rigorosa, cheguem de forma eficiente e segura ao consumidor final, dentro das condições adequadas. Este capítulo tem como objetivo explorar o potencial transformador da inteligência artificial na distribuição de medicamentos, destacando o seu impacto na previsão da procura de medicamentos, na gestão de stocks, na logística, na cadeia de abastecimento, na monitorização de fraudes e segurança.

A inteligência artificial tem o potencial de desempenhar um papel fulcral na distribuição de medicamentos, mais precisamente na previsão da procura e na gestão de stocks. Um dos maiores desafios que a indústria farmacêutica enfrenta é a necessidade de antecipar a procura de medicamentos, uma vez que a capacidade de prever flutuações na procura é crucial para garantir a disponibilidade de medicamentos e de otimizar os stocks num ambiente de alta incerteza. De forma a desenvolver estratégias mais eficientes para lidar com a incerteza do mercado, a implementação de modelos preditivos, como as máquinas de suporte de vetores e redes neuronais artificiais, são capazes de analisar grandes volumes de informação complexa. Estes modelos, através de dados históricos, padrões de consumo, sazonalidade e contexto contribuem para identificar padrões e tendências que influenciam o mercado e a procura de medicamentos. Esta abordagem, para além de ser bastante útil em contextos onde a demanda é influenciada por fatores externos como surtos de doenças, também promove uma melhoria da precisão de previsões e contribui para alinhar a capacidade de produção com a procura prevista, o que é fundamental para otimizar os recurso disponíveis para a produção (Toorajipour et al., 2021) .

De forma a responder às exigências do mercado, a implementação de medidas que promovam uma gestão eficiente de stocks é essencial. O controlo de produtos que estão no armazém da indústria torna-se mais eficaz com a implementação de sistemas de IA, que neste âmbito, permite a monitorização constante dos níveis de inventário e das taxas de consumo, através da análise de dados em tempo real. A IA pode analisar dados, em

tempo real, dos sistemas de gestão de stocks, padrões de consumo, vendas e produção, o que possibilita ajustes dinâmicos dos níveis de stocks com base na demanda dos produtos. Além disso a IA é capaz de alertar de forma automática quando é necessário repor os stocks ou quando há excesso dos mesmos. A adoção de tecnologias como a IA minimiza os erros de gestão de stocks e reduz os custos, contribuindo para a melhoria da eficiência operacional e facilita a comunicação entre fornecedores, distribuidores e profissionais de saúde. Uma comunicação eficiente entre os stakeholders possibilita a transmissão imediata de informações, como a necessidade de um determinado medicamento no hospital e viabiliza uma resposta mais ágil e precisa por parte da indústria farmacêutica e dos distribuidores, assegurando que as necessidades terapêuticas sejam atendidas com a maior brevidade (A. Kumar et al., 2023).

Após abordar a relevância da IA na previsão da quantidade de medicamentos que será necessária em determinados períodos e a sua importância na gestão de stocks, é igualmente pertinente explorar o seu papel na otimização logística e na transformação da cadeia de abastecimento de medicamentos. A inteligência artificial, uma tecnologia inovadora e emergente, tem a capacidade de ajustar e otimizar a rotas de distribuição de medicamentos permitindo que as indústrias farmacêuticas definam percursos mais eficientes. Esta otimização das rotas de distribuição, não só reduz custos associados à distribuição, mas também garante que os medicamentos cheguem mais rapidamente ao local pretendido e de forma eficiente. Utilizando algoritmos de machine learning é possível traçar rotas e ajustá-las em tempo real, através da análise de dados históricos de entregas anteriores e das condições do tráfego, com o intuito de otimizar o processo de transporte de medicamentos (Abbas et al., 2020). Outro fator a ter em conta aquando da distribuição de medicamentos é a monitorização das condições de transporte, onde é essencial assegurar que os medicamentos mantenham a integridade de todas as suas propriedades ao longo de todo o transporte. Para que haja esta monitorização, a integração da IA é essencial pois permite o controlo contínuo das condições em que os medicamentos estão a ser transportados. Para monitorizar as condições ambientais durante a distribuição, a utilização de sensores com IA integrada desempenha um papel significativo neste processo. Estes sensores podem recolher dados, em tempo real, sobre as condições de transporte dos medicamentos como a temperaturas e a humidade, alertando automaticamente caso detetem que as condições estão fora dos parâmetros que preservam a integridade e estabilidade do medicamento, possibilitando quem transporte de intervir rapidamente de forma a corrigir a situação. Para além destas vantagens, estes sensores ao

permitirem a monitorização constante evitam perdas financeiras significativas e cumprem as normas e regulamentos impostos com maior facilidade. (A. Kumar et al., 2023)

De seguida, é importante abordar o impacto da IA na segurança e fiabilidade da distribuição de medicamentos. Além de melhorar a eficiência logística e as condições de transporte, a IA tem um papel central na proteção contra fraudes e adulterações ao longo da cadeia de distribuição. A crescente preocupação relativamente à autenticidade e segurança ao longo de toda a cadeia de distribuição incentiva o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, como a integração de sistemas de IA em blockchain. Estas tecnologias oferecem soluções promissoras capazes de resolver questões relacionadas com a fraude e autenticidade de medicamentos, garantindo confiança e transparência ao longo da cadeia de distribuição. A blockchain é uma tecnologia emergente que, no contexto da distribuição de medicamento, funciona como um registo digital permanente e seguro de todas as etapas que o medicamento percorre, desde a sua fabricação até ao consumidor final e permite um acompanhamento em tempo real, rastreando todo o seu percurso. Esta tecnologia permite a que todos os envolvidos na cadeia de distribuição tenham acesso a todas as informações relevantes relativas ao medicamento, sendo que usa uma tecnologia de criptografia capaz de garantir a integridade dos dados, prevenindo fraudes (Abbas et al., 2020). A inteligência artificial, através de algoritmos de machine learning, como LightGBM e N-gram, pode ser utilizada para identificar padrões e anomalias em revisões e classificações de medicamentos, conforme indicado pelo estudo (Abbas et al., 2020). No entanto, a sua aplicação também se estende para detetar comportamentos suspeitos no processo de distribuição de medicamentos. A integração da IA nesta tecnologia possibilita a análise dos dados recolhidos e armazenados pela blockchain, sendo capaz de identificar padrões e anomalias, que possam indicar a existência de medicamentos falsificados ou desviados. A utilização da IA em conjunto com blockchain também permite rastrear os medicamentos ao longo do percurso, evitando e alertando para possíveis tentativas de desvios ou adulterações (A. Kumar et al., 2023).

Depois de abordar como a inteligência artificial pode ser impactante na distribuição de medicamento, sendo interveniente em vários parâmetros desta área, é relevante considerar como esta tecnologia inovadora pode ser aplicada em contexto real. Um exemplo prático relevante desta aplicação pode ser observado em contexto hospitalar, através da implementação de um sistema que contribui para a gestão da cadeia de abastecimento de medicamentos baseado em IA. Este sistema baseado em IA, aliado ao

conceito Vendor Managed Invetory, em que o fornecedor assume a responsabilidade da gestão dos níveis de stock, tem demonstrado um impacto significativo na otimização do processo de distribuição de medicamentos. Este sistema foi integrado com sucesso em hospitais, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos farmacêuticos, como destacada pelo estudo (Shen et al., 2024). Através da automatização de processos como a revisão de consumos e planeamento de compras, foi possível reduzir o inventário hospitalar em 20%, garantindo um controlo mais eficaz e preciso dos stocks de medicamentos. Uma melhoria substancial na precisão da gestão e distribuição de medicamentos contribui para a redução da taxa média de erros do inventário de 0,425% para 0.025%, o que resulta numa minimização de discrepâncias dos stocks, evitando tanto a escassez como o excesso e assegurando que os medicamentos estão disponíveis quando necessários. A utilização da IA com o modelo Vendor Managed Invetory melhorou em 42,4% a eficiência da cadeia de abastecimento o que otimizou o serviço prestado pelos profissionais de saúde, reduziu custos ao hospital e promoveu uma melhoria de serviços da farmácia hospitalar (Shen et al., 2024).

Concluindo neste capítulo, é evidente que a inteligência artificial tem a capacidade de transformar o panorama da distribuição de medicamentos, desempenhando um papel central em diversas áreas. A IA não só tem a capacidade de analisar grandes volumes de dados e de identificar padrões, como também estabelece correlações e faz previsões, o que garante uma maior eficiência operacional e assegura que os medicamentos cheguem ao consumidor final de forma eficiente e em condições adequadas. A integração desta tecnologia neste setor, reforça a transparência e segurança da cadeia de distribuição de medicamentos, minimizando o risco de fraudes e desvios dos mesmos. Ao posicionar-se como uma ferramenta crucial para o futuro da distribuição farmacêutica, a IA contribui de forma decisiva para corresponder às crescentes exigências do mercado, enquanto assegura conformidade com as entidades reguladoras.

3.4 O impacto da IA nas farmácias comunitárias

Depois de abordar a forma como a inteligência artificial impacta o setor da distribuição de medicamentos, é essencial analisar a forma como esta tecnologia pode ser inovadora na fase final do ciclo de vida do medicamento, quando este chega ao consumidor, através das farmácias. Embora uma distribuição eficiente seja essencial para assegurar que o medicamento está disponível quando for necessário, o papel das farmácias vai muito além da entrega do medicamento à pessoa. As farmácias comunitárias desempenham um papel fundamental no sistema de saúde, tendo intervenção direta na gestão segura de medicamentos e realizando atividades como a revisão e reconciliação da medicação, bem como o aconselhamento aos utentes. Com o aumento da complexidade dos regimes de medicamentos e das tarefas administrativas, a procura por soluções aumenta exponencialmente.

Neste contexto, a inteligência artificial surge como uma ferramenta disruptiva, com a capacidade de transformar o atendimento realizado ao utente, proporcionado uma melhor experiência nas farmácias, tornando o atendimento mais personalizado e eficaz. A transformação digital nas farmácias comunitárias, impulsionada pela IA, vai muito além da melhoria de stocks ou previsão da procura, conceitos já explorados anteriormente e aplicáveis de forma similar a este contexto. No entanto, neste setor, a verdadeira inovação reside no desenvolvimento de serviços automatizados, num atendimento personalizado e centrado nas necessidades de cada utente, assim como no suporte à decisão clínica. Este capítulo vai aprofundar o crescente impacto da IA nas farmácias, destacando o seu papel na redefinição da relação entre o farmacêutico e o utente, aprimorando a qualidade e eficiência dos serviços prestados.

A implementação de tecnologias como a inteligência artificial nas farmácias comunitárias contribuem para a modernização das tarefas diárias. Com o aumento da complexidade das terapêuticas e as crescentes exigências administrativas, a farmácia comunitária necessita de soluções que otimizem as diversas tarefas e melhorem a eficiência operacional, assegurando uma prestação de serviços com qualidade. Neste contexto, a automatização de processos, proporcionada pela IA, é uma abordagem eficaz que contribui para a transformação digital deste setor. A integração da IA nas farmácias comunitárias possibilita o desenvolvimento de sistemas automáticos de dispensa de medicamentos, que reduz os erros no momento da dispensa, assegurando que o utente

recebe o medicamento certo e com a dosagem certa. A implementação deste tipo de sistemas minimiza a carga de trabalho do farmacêutico, de modo que estes se possam dedicar mais tempo ao atendimento, contribuindo para a melhoria da qualidade do mesmo sendo este mais centrado no utente (Chalasani et al., 2023).

Outro fator importante que beneficia a automatização de processos na farmácia é a triagem de prescrições. Atualmente, embora a maior parte das receitas médicas sejam eletrónicas, continua a existir bastantes receitas manuais em que a caligrafia é difícil de entender, dificultando a compreensão do nome do medicamento e a sua dosagem. Este obstáculo pode ser resolvido a partir de sistemas, baseados em IA, acelerando o processo de verificação e minimizando a probabilidade de erro dos profissionais de saúde na farmácia, que lidam com um grande volume de prescrições sendo mais propensos a distrações e enganos (Jarab, Al-Qerem, et al., 2023). A implementação deste tipo de sistemas suportados por inteligência artificial possibilita a personalização do atendimento nas farmácias comunitárias. A IA viabiliza a recolha e processamento de dados provenientes de diversas fontes de informação, com a capacidade de aceder a informações detalhadas de cada utente, tais como o histórico de doenças, resultado de exames, a medicação habitual e a resposta a terapêuticas anteriores. Através da análise desta grande quantidade de dados, a IA pode identificar automaticamente potenciais interações medicamentosas, possíveis efeitos adversos mais frequentes e contraindicações, enquanto avalia a eficácia e segurança dos medicamentos prescritos. Esta abordagem centrada no utente é essencial para garantir que as intervenções farmacêuticas sejam mais eficazes e ajustadas às necessidades clínicas individuais (Jarab, Abu Heshmeh, et al., 2023). A análise detalhada destes dados possibilita não só ajustar os tratamentos, como também revolucionar a forma como os farmacêuticos comunicam com os utentes. A IA disponibiliza dados clínicos provenientes de diversas fontes, fornecendo ao farmacêutico uma visão abrangente de toda a situação clínica do utente, tornando as decisões terapêuticas mais precisas e adequadas ao perfil de cada pessoa.

Com uma perceção clara do perfil clínico do utente, o farmacêutico tem a capacidade de transmitir informações mais concretas e esclarecedoras, informando os utentes das suas condições de saúde e respetivos tratamentos, consciencializando-os e incentivando a que estes tenham um papel mais ativo na sua própria saúde. A educação adequada do utente fomenta a adesão às terapêuticas e ajuda-o a compreender melhor a função dos medicamentos, tornando-os mais propensos em seguir corretamente as prescrições, contribuindo para melhores resultados de saúde. O uso de dispositivos

móveis, com IA incorporada, permite a monitorização em tempo real otimizando o acompanhamento da saúde dos utentes e fornecendo aos farmacêuticos informações essenciais sobre a adesão à terapêutica e possibilita algum tipo de informações necessárias (Chalasani et al., 2023).

O desenvolvimento de chatbots, baseados em inteligência artificial e suportados por bases de dados clínicos e científicos, é um complemento ao acompanhamento em tempo real dos utentes, contribuindo de forma a fornecer informações, orientando e ajudando a responder a dúvidas, preocupações relacionadas com a medicação como a posologia por exemplo, de forma automatizada. Esta tecnologia, em casos mais complexos, pode encaminhar o utente diretamente para o farmacêutico, otimizando o tempo e fazendo uma triagem de casos, em que os mais simples sejam rapidamente resolvidos (Raza et al., 2022). Os utentes podem aceder a estes chatbots de várias formas, a partir do site da farmácia ou em aplicações de telemóvel, estando acessíveis a qualquer pessoa contribuindo para um atendimento mais ágil e eficaz, permitindo que os farmacêuticos se foquem em tarefas mais complexas e alinhando a farmácia a uma tendência de digitalização no setor da saúde (Jarab, Abu Heshmeh, et al., 2023). Para além de melhorar o acompanhamento dos utentes, estes chatbots facilitam a comunicação entre os farmacêuticos e os restantes profissionais de saúde, como os médicos, promovendo uma abordagem multidisciplinar. Esta integração contribui para um atendimento mais personalizado e com elevada qualidade, garantindo que as decisões terapêuticas sejam baseadas em informação abrangente em tempo real (Chalasani et al., 2023).

Um exemplo concreto da aplicabilidade da IA na farmácia comunitária é o desenvolvimento do chatbot MARVIN-Pharma. Um estudo explorou o desenvolvimento deste sistema, que inicialmente foi concebido para apoiar pessoas portadoras de VIH, fornecendo-lhes suporte e informações essenciais para a gestão da doença. O objetivo deste estudo foi adaptar MARVIN-Pharma no contexto das farmácias comunitárias, com o propósito de disponibilizar suporte direto e especializado aos farmacêuticos. Este chatbot tem a capacidade de fornecer informações atualizadas e baseadas em evidências científicas relativas à terapêutica do VIH. Atualmente, os farmacêuticos têm um envolvimento reduzido na prestação de cuidados na doença VIH, limitando-se ao aconselhamento relativo à adesão do respetivo tratamento e a sua monitorização. O MARVIN-Pharma permite que os farmacêuticos intervenham em tempo real, através de perguntas direcionadas aos doentes e com base nas respostas obtidas, o chatbot sugere

medidas personalizadas. Adicionalmente, este sistema otimiza o encaminhamento para a terapêutica de profilaxia pós-exposição (PPE), um tratamento de prevenção para pessoas que podem ter sido expostas ao VIH. De modo a simplificar este processo, o chatbot a verifica a elegibilidade da pessoa para iniciar a PPE, recolhendo informações sobre a exposição e confirmando se esta deve iniciar a terapêutica. Os formulários com informações relevantes relativas à doença são encaminhados para as instituições de saúde competentes, assegurando a continuidade dos cuidados de saúde. A utilização da IA nas farmácias comunitárias, exemplificada pelo MARVIN-Pharma, reduz o tempo de espera dos utentes em situações similares, minimiza os erros de comunicação entre profissionais de saúde, otimiza o atendimento e garante que os utentes tenham um acesso mais rápido e adequado à PPE. Além disso, esta abordagem alivia a pressão sobre os hospitais, evitando a sua sobrecarga e melhorando o desempenho global do sistema de saúde. (Laymouna et al., 2024)

Este capítulo destacou o impacto profundo da implementação da inteligência artificial nas farmácias comunitárias, demonstrando como esta tecnologia automatiza processos, personaliza o atendimento, tornando-o mais centrado nas necessidades de cada utente e aprimora a comunicação entre os farmacêuticos e os utentes. Desta forma, a IA tem a capacidade de redefinir o papel das farmácias comunitárias no sistema de saúde, elevando a qualidade e eficácia dos serviços de saúde prestados.

3.5 Desafios na implementação da Inteligência Artificial no Setor da Saúde e da Indústria Farmacêutica

Após abordar as diferentes formas da inteligência artificial transformar por completo o setor da saúde e a indústria farmacêutica, desde a descoberta e desenvolvimento de novos medicamentos até a sua distribuição e venda nas farmácias comunitárias, tornando evidente que esta tecnologia pode elevar substancialmente a qualidade do serviços de saúde prestados e melhorar a eficiência operacional. A IA oferece múltiplas soluções inovadoras e disruptivas aos profissionais de saúde para que estes respondam de forma mais rápida e precisa às necessidades de cada pessoa.

No entanto, à medida que a inteligência artificial vem progredindo, torna-se igualmente essencial reconhecer os diversos desafios associados à sua implementação. A integração desta tecnologia, apesar de inovadora e promissora, ainda está em desenvolvimento e enfrenta várias barreiras que necessitam de ser ultrapassadas, para que a implementação da IA seja de forma efetiva, eficiente e segura no sistema de saúde. Este

capítulo explora quais as principais barreiras no setor da saúde e na indústria farmacêutica que limitam a adoção desta tecnologia.

A integração bem-sucedida da inteligência artificial em qualquer área da saúde enfrenta uma barreira tecnológica substancial. A implementação desta tecnologia avançada está dependente e requer de uma infraestrutura tecnológica bastante desenvolvida, que seja capaz de integrar algoritmos avançados, que lide com exigências computacionais e processamento de um grande volume de dados complexos que as soluções envolvem. Um dos principais desafios relacionados com a tecnologia reside na qualidade dos dados disponíveis e no tamanho da amostra, visto que a precisão dos algoritmos da IA depende diretamente das bases de dados que lhe estão associadas. A utilização de dados incorretos, incompletos ou enviesados pode comprometer a fiabilidade destes sistemas, prejudicando a sua aplicação em contextos clínicos. A interoperabilidade dos sistemas representa um obstáculo crítico relativamente à implementação da IA no contexto da saúde, ou seja, a capacidade dos sistemas comunicarem entre si e partilharem várias informações é crucial para o seu funcionamento eficiente nesta área. A falta de interoperabilidade impossibilita a transferência de informações relevantes, o que impede formar padrões e correlações sobre os dados, limitando a IA em oferecer soluções (Mennella et al., 2024). Outro fator crítico associado aos desafios tecnológicos que emergem com a utilizam da IA é a necessidade da constante atualização deste sistemas complexos e a aprendizagem contínua dos algoritmos, elementos essenciais que diferenciam esta tecnologia (Chomutare et al., 2022).

Além dos desafios tecnológicos, a falta de qualificações para utilizar os sistemas de IA constitui uma barreira significativa à sua implementação. A complexidade da tecnologia utilizada exige um conhecimento especializado, como a compreensão dos algoritmos de machine learning e deep learning, a sua análise de dados e a capacidade de usar sistemas computacionais avançados. A falta de competências especificas pode comprometer tanto a implementação dos sistemas como a qualidade dos resultados obtidos e pode causar desconforto aos profissionais de saúde na sua utilização, destacando a necessidade de formações com o intuito de os capacitar (Chomutare et al., 2022).

Tendo em conta os vários desafios que esta inovadora tecnologia enfrenta, um dos que mais se destaca é o desafio regulamentar e ético. A aplicação da IA em qualquer contexto e em especial, na área da saúde, deve ser guiada por um conjunto de normas éticas e regulamentares, de modo a assegurar a proteção dos direitos das pessoas e a

integridade dos dados destas. A barreira regulamentar, neste caso, define-se pelas condições e limites da utilização da inteligência artificial, essencial para estabelecer padrões de segurança e qualidade (Mennella et al., 2024). A regulamentação, como o Regulamento geral sobre a proteção de dados, garante a proteção dos indivíduos sempre que os seus dados pessoais são utilizados e concede aos cidadãos controlo sobre os seus dados (*Regulamento Geral Sobre a Proteção de Dados (RGPD) | EUR-Lex*, n.d.). Além disso, a ausência de um quadro regulamentar definido pode resultar em incertezas sobre a atribuição da responsabilidade legal em caso de falhas nos sistemas de IA, o que levanta questões complexas. Em contexto clínico, em caso de erro baseado em informações ou diagnósticos fornecidas pela inteligência artificial, fica a questão de quem deve ser legalmente responsabilizado, se os profissionais de saúde que utilizam o sistema ou de quem desenvolve os algoritmos, sendo este um debate que desencoraja a adoção de tecnologias de IA, uma vez que as instituições de saúde pode temer repercussões legais (Ahmed et al., 2023).

Aliado a estas normas regulamentares, a privacidade e segurança dos dados são preocupações éticas no que diz respeito à integração da IA. Para que os sistemas de IA sejam aceites, é imprescindível garantir que os dados são utilizados de forma segura e confidencial pois somente assim existe confiança para que as pessoas queiram participar de forma ativa nos processos que utilizam IA. A par destas preocupações éticas, a transparência de dados também é crucial na medida em que para entender o modo de funcionamento do algoritmo e de confiar nos seus resultados, é essencial avaliar o processo de treino de um algoritmo e compreender como o sistema chega a um resultado ou previsão especifica. Deste modo permite perceber qual é intenção subjacente da IA, minimizando a probabilidade de o algoritmo ser tendencioso e de levar a resultados enviesados que não refletem a realidade e que prejudiquem a tomada de decisões na área da saúde (Jorge & Pereira, 2022).

Por fim, devido à complexidade de infraestruturas das tecnologias exigidas para o funcionamento e implementação da inteligência artificial, os custo associados são bastante elevados e por isso constituem uma barreira significativa na adoção desta tecnologia no setor da saúde. De acordo com o "The Economic Impact of Artificial Intelligence in Health Care: Systematic Review" revela que a maioria dos estudos não avaliam de forma completo os custos de implementação e funcionamento da IA, sendo um fator crucial para a sua utilização em contexto clínico. Dos 66 estudo incluído na revisão, apenas 6 elaboram uma análise económica detalhada, no entanto não apresentam

uma avaliação completa do impacto financeiro. Quando se faz uma análise minuciosa dos custos de implementação desta tecnologia é necessário ter em conta o hardware e software utilizado e elaborado, a formação dos profissionais de saúde e a sua manutenção contínua. Portando é necessário um estudo que aborde uma avaliação minuciosa da adoção da IA relativos aos custos envolvidos reais e o retorno financeiro que esta pode trazer (Wolff et al., 2020).

Assim, para que a IA seja implementada, é imperial contornar estas barreiras e ultrapassar os diversos desafios, permitindo que esta tecnologia, repleta de potencial, transforme por completo o panorama do setor da saúde e da indústria farmacêutica. A sua integração deve ser realizada de forma segura e eficaz, assegurando que o progresso tecnológico seja acompanhado por um desenvolvimento responsável e sustentável.

4 Conclusão

Esta dissertação procurou explorar o impacto da inteligência artificial no setor da saúde e na indústria farmacêutica, sublinhando ao longo do trabalho as potencialidades e desafios que esta tecnologia disruptiva enfrenta aquando da sua implementação. É evidenciado o impacto transformador da IA ao longo da dissertação através da análise detalhada das várias etapas do ciclo de vida do medicamento. Desde a descoberta e desenvolvimento de fármacos até à sua distribuição e chegada ao consumidor final nas farmácias comunitárias, demonstrou-se como a IA redefine a prestação de serviços de cuidados de saúde, oferecendo soluções inovadoras que aumentam a qualidade e eficiência do sistema de saúde.

A minha motivação para o desenvolvimento desta dissertação surgiu da crescente evolução da inteligência artificial e de como esta tecnologia pode revolucionar o panorama do setor saúde e da indústria farmacêutica. O meu interesse surgiu através da utilização de ferramentas da IA, que demonstrou as capacidades da IA em facilitar e automatizar diversas tarefas. Esta experiência incitou uma reflexão relativa às capacidades da IA, sobre como estas podem ser extrapoladas para áreas mais complexas, como o processo de descoberta e desenvolvimento de novas moléculas, otimização de distribuição de medicamentos e o atendimento nas farmácias comunitárias.

A relevância desta dissertação está intrinsecamente relacionada com o avanço exponencial e crescente presença da inteligência artificial. Dado o progresso contínuo desta tecnologia disruptiva e emergente, torna-se essencial investigar o seu impacto e as adversidades que acompanham a sua adoção, a fim de facilitar a implementação da IA nos vários setores. Deste modo, garante que estas áreas estejam devidamente preparadas e adaptadas às mudanças impostas por esta inovação. Esta revisão bibliográfica é importante pois oferece uma visão aprofundada de como a IA não só otimiza e melhora a eficiência operacional de vários processos na área de saúde, elevando a qualidade dos serviços prestados e, consequentemente, impactando diretamente a qualidade de vida das pessoas, mas também contribui para a compreensão da complexidade da inteligência artificial. Além disso, oferece soluções e exemplos práticos importantes para o futuro em várias áreas onde a IA pode fazer a diferença. Ao analisar os benefícios e as barreiras relativas à utilização da IA, esta dissertação contribui para um debate necessário sobre a implementação responsável desta tecnologia para o setor da saúde e serve de base para futuros estudos e discussões. É essencial sublinhar que esta dissertação explora apenas alguns pontos sobre a adoção da IA no setor da saúde e que a minha expetativa é que esta

seja útil para o desenvolvimento de futuros trabalhos académicos e estudos práticos, cujo objetivo é aprofundar e explorar novas vertentes que contribuam para o avanço da comunidade científica e para a melhoria dos cuidados de saúde e da qualidade de vida. Seria interessante, do meu ponto de vista, explorar a capacidade da IA impactar áreas terapêuticas específicas, como cardiologia ou oncologia, como seria relevante uma análise económica profunda do custo-benefício da implementação da IA, sendo estes apenas alguns exemplos que exploram o potencial desta tecnologia.

No contexto das análises desenvolvidas ao longo da dissertação, que abordou o impacto da inteligência artificial nas diversas áreas da saúde e na indústria farmacêutica, do meu ponto de vista, a implementação da IA representa um potencial de impacto enorme na indústria farmacêutica, mais especificamente, nas fases de descoberta e desenvolvimento de medicamentos e nos ensaios clínicos. Estas fases são amplamente reconhecidas pela sua complexidade e longa duração, exigindo recursos financeiros, humanos e tecnológicos substanciais. Neste contexto, posso concluir que a adoção da IA é imprescindível, oferecendo soluções inovadoras e promissoras capazes de otimizar e automatizar processos, encurtar a duração habitual destas etapas, alcançando melhores resultados que impactem todo o ciclo de vida do medicamento. Ao acelerar o desenvolvimento de fármacos, a IA contribui para um avanço científico e tecnológico, respondendo à crescente necessidade dos doentes e promovendo um acesso a terapêuticas inovadoras, que desta forma beneficia e prioriza a saúde da população e contribui para um sistema de saúde mais eficaz.

Por fim, com a superação dos desafios á implementação da IA, será possível que esta tecnologia transforme profundamente o setor da saúde no seu todo, assegurando que esta contribua de forma decisiva para o futuro da saúde e para o bem-estar das futuras gerações.

5 Bibliografia

Abbas, K., Afaq, M., Khan, T. A., & Song, W. C. (2020). A Blockchain and Machine Learning-Based Drug Supply Chain Management and Recommendation System for Smart Pharmaceutical Industry. *Electronics 2020, Vol. 9, Page 852*, *9*(5), 852. https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS9050852

Ahmed, M. I., Spooner, B., Isherwood, J., Lane, M., Orrock, E., & Dennison, A. (2023). A Systematic Review of the Barriers to the Implementation of Artificial Intelligence in Healthcare. *Cureus*, *15*(10), e46454. https://doi.org/10.7759/CUREUS.46454

AI Watch Historical Evolution of Artificial Intelligence. (n.d.). https://doi.org/10.2760/801580

Almeida Francisco, I. (2019). *Inteligência Artificial no Local de Trabalho Dimensões da sua intervenção*.

Arden, N. S., Fisher, A. C., Tyner, K., Yu, L. X., Lee, S. L., & Kopcha, M. (2021). Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: Preparing for the smart factories of the future. *International Journal of Pharmaceutics*, *602*, 120554. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120554

Bate, A., & Stegmann, J. U. (2023). Artificial intelligence and pharmacovigilance: What is happening, what could happen and what should happen? *Health Policy and Technology*, *12*(2), 100743. https://doi.org/10.1016/J.HLPT.2023.100743

Bordukova, M., Makarov, N., Rodriguez-Esteban, R., Schmich, F., & Menden, M. P. (2024). Generative artificial intelligence empowers digital twins in drug discovery and clinical trials. *Expert Opinion on Drug Discovery*, *19*(1), 33–42. https://doi.org/10.1080/17460441.2023.2273839

Cascini, F., Beccia, F., Causio, F. A., Melnyk, A., Zaino, A., & Ricciardi, W. (2022). Scoping review of the current landscape of AI-based applications in clinical trials. *Frontiers in Public Health*, *10*. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.949377/FULL

Chalasani, S. H., Syed, J., Ramesh, M., Patil, V., & Pramod Kumar, T. M. (2023). Artificial intelligence in the field of pharmacy practice: A literature review. *Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy*, *12*, 100346. https://doi.org/10.1016/J.RCSOP.2023.100346

Chomutare, T., Tejedor, M., Svenning, T. O., Marco-Ruiz, L., Tayefi, M., Lind, K., Godtliebsen, F., Moen, A., Ismail, L., Makhlysheva, A., & Ngo, P. D. (2022). Artificial Intelligence Implementation in Healthcare: A Theory-Based Scoping Review of Barriers and Facilitators. *International Journal of Environmental*

Research and Public Health, *19*(23), 16359. https://doi.org/10.3390/IJERPH192316359/S1

Choudhary, H., Sharma, A., & Ahuja, Dr. D. (2023a). Applications of Artificial Intelligence in Pharmaceutical Industries. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *81*(1). https://doi.org/10.47583/ijpsrr.2023.v81i01.027

Choudhary, H., Sharma, A., & Ahuja, Dr. D. (2023b). Applications of Artificial Intelligence in Pharmaceutical Industries. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *81*(1). https://doi.org/10.47583/ijpsrr.2023.v81i01.027

Coutinho, H., & Da Silva, V. (2022). *Redes neurais de convolução na classificação de edifícios em imagens de alta resolução espacial*.

Cueni, T. (2022). *F O R E WO R D*.

Damar, M., Özen, A., Çakmak, Ü. E., Özoğuz, E., & Erenay, F. S. (2024). Super AI, Generative AI, Narrow AI and Chatbots: An Assessment of Artificial Intelligence Technologies for The Public Sector and Public Administration. *Journal of AI*, *8*(1), 83–106. https://doi.org/10.61969/jai.1512906

Farina, E., Nabhen, J. J., Dacoregio, M. I., Batalini, F., & Moraes, F. Y. (2022). An Overview of Artificial Intelligence in Oncology. *Future Science OA*, *8*(4). https://doi.org/10.2144/fsoa-2021-0074

Farmacovigilância - INFARMED, I.P. (n.d.). Retrieved October 9, 2024, from https://www.infarmed.pt/web/infarmed/perguntas-frequentes-area-transversal/medicamentos_uso_humano/farmacovigilancia

Food and Drug Administration. (2023). *Artificial Intelligence Discussion Paper*. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120554

Gautam, N., Ghanta, S. N., Mueller, J., Mansour, M., Chen, Z., Puente, C., Ha, Y. M., Tarun, T., Dhar, G., Sivakumar, K., Zhang, Y., Halimeh, A. A., Nakarmi, U., Al-Kindi, S., DeMazumder, D., & Al'Aref, S. J. (2022). Artificial Intelligence, Wearables and Remote Monitoring for Heart Failure: Current and Future Applications. *Diagnostics 2022, Vol. 12, Page 2964*, *12*(12), 2964. https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS12122964

Gimeno, M., San José-Enériz, E., Villar, S., Agirre, X., Prosper, F., Rubio, A., & Carazo, F. (2022). Explainable artificial intelligence for precision medicine in acute myeloid

leukemia. *Frontiers in Immunology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.977358

González Peña, O. I., López Zavala, M. Á., & Cabral Ruelas, H. (2021). Pharmaceuticals Market, Consumption Trends and Disease Incidence Are Not Driving the Pharmaceutical Research on Water and Wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(5), 2532. https://doi.org/10.3390/ijerph18052532

Gude, S. (2023). Artificial Intelligence in Pharmacy. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *80*(02). https://doi.org/10.47583/ijpsrr.2023.v80i02.001

Haefner, N., Wincent, J., Parida, V., & Gassmann, O. (2021). Artificial intelligence and innovation management: A review, framework, and research agenda☆. *Technological Forecasting and Social Change*, *162*, 120392. https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120392

Harrer, S., Shah, P., Antony, B., & Hu, J. (2019). Artificial Intelligence for Clinical Trial Design. *Trends in Pharmacological Sciences*, *40*(8), 577–591. https://doi.org/10.1016/J.TIPS.2019.05.005/ASSET/F49C0002-4BE3-4CBC-A0DC-08EEF30CB557/MAIN.ASSETS/GR3.JPG

Hirani, R., Noruzi, K., Khuram, H., Hussaini, A. S., Aifuwa, E. I., Ely, K. E., Lewis, J. M., Gabr, A. E., Smiley, A., Tiwari, R. K., & Etienne, M. (2024). Artificial Intelligence and Healthcare: A Journey through History, Present Innovations, and Future Possibilities. *Life*, *14*(5), 557. https://doi.org/10.3390/life14050557

inteligência artificial - Dicionário Online Priberam de Português. (1990). https://dicionario.priberam.org/intelig%C3%AAncia%20artificial

Inteligência artificial - Explorar - Google Trends. (2024). https://trends.google.com/trends/explore?date=today%205-y&q=Intelig%C3%AAncia%20artificial&hl=pt-PT

Inteligência artificial: oportunidades e desafios | Temas | Parlamento Europeu. (2023). https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20200918STO87404/inteligencia-artificial-oportunidades-e-desafios

Ismail, A., Al-Zoubi, T., Naqa, I. El, & Saeed, H. (2023). The role of artificial intelligence in hastening time to recruitment in clinical trials. *BJR Open*, *5*(1). https://doi.org/10.1259/BJRO.20220023

Jarab, A. S., Abu Heshmeh, S. R., & Al Meslamani, A. Z. (2023). Artificial intelligence (AI) in pharmacy: an overview of innovations. In *Journal of Medical Economics* (Vol. 26, Issue 1, pp. 1261–1265). Taylor and Francis Ltd. https://doi.org/10.1080/13696998.2023.2265245

Jarab, A. S., Al-Qerem, W., Alzoubi, K. H., Obeidat, H., Abu Heshmeh, S., Mukattash, T. L., Naser, Y. A., & Al-Azayzih, A. (2023). Artificial intelligence in pharmacy practice: Attitude and willingness of the community pharmacists and the barriers for its implementation. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *31*(8), 101700. https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2023.101700

Jorge, M., & Pereira, E. (2022). *O impacto da inteligência artificial na área da saúde*.

Kaul, V., Enslin, S., & Gross, S. A. (2020). History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointestinal Endoscopy*, *92*(4), 807–812. https://doi.org/10.1016/J.GIE.2020.06.040

Kreuzer, T., Papapetrou, P., & Zdravkovic, J. (2024). Artificial intelligence in digital twins—A systematic literature review. *Data & Knowledge Engineering*, *151*, 102304. https://doi.org/10.1016/J.DATAK.2024.102304

Kulkov, I. (2021). The role of artificial intelligence in business transformation: A case of pharmaceutical companies. *Technology in Society*, *66*, 101629. https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2021.101629

Kumar, A., Gadag, S., & Nayak, U. Y. (2020). The Beginning of a New Era: Artificial Intelligence in Healthcare. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, *11*(3), 414–425. https://doi.org/10.34172/apb.2021.049

Kumar, A., Mani, V., Jain, V., Gupta, H., & Venkatesh, V. G. (2023). Managing healthcare supply chain through artificial intelligence (AI): A study of critical success factors. *Computers & Industrial Engineering*, *175*, 108815. https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108815

Kumar, Y., Koul, A., Singla, R., & Ijaz, M. F. (2023). Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *14*(7), 8459–8486. https://doi.org/10.1007/s12652-021-03612-z

Laymouna, M., Ma, Y., Lessard, D., Engler, K., Therrien, R., Schuster, T., Vicente, S., Achiche, S., El Haj, M. N., Lemire, B., Kawaiah, A., & Lebouché, B. (2024). Needs-Assessment for an Artificial Intelligence-Based Chatbot for Pharmacists in HIV

Care: Results from a Knowledge–Attitudes–Practices Survey. *Healthcare 2024, Vol. 12, Page 1661*, *12*(16), 1661. https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE12161661

Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436–444. https://doi.org/10.1038/nature14539ï

Lu, M., Yin, J., Zhu, Q., Lin, G., Mou, M., Liu, F., Pan, Z., You, N., Lian, X., Li, F., Zhang, H., Zheng, L., Zhang, W., Zhang, H., Shen, Z., Gu, Z., Li, H., & Zhu, F. (2023). Artificial Intelligence in Pharmaceutical Sciences. *Engineering*, *27*, 37–69. https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.01.014

Mennella, C., Maniscalco, U., De Pietro, G., & Esposito, M. (2024). Ethical and regulatory challenges of AI technologies in healthcare: A narrative review. *Heliyon*, *10*(4), e26297. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E26297

MICF_Afonso_Coutinho - importancia industria. (n.d.).

Mundy, C., Bush, J., Cheriyan, J., Lorch, U., Stringer, S., Taubel, J., Wydenbach, K., & Hardman, T. C. (2023). Association for Human Pharmacology in the Pharmaceutical Industry conference 2022: impending change, innovations and future challenges. *Frontiers in Pharmacology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1219591

Ngayua, E. N., He, J., & Agyei-Boahene, K. (2021). Applying advanced technologies to improve clinical trials: a systematic mapping study. *Scientometrics*, *126*(2), 1217. https://doi.org/10.1007/S11192-020-03774-1

O que é a inteligência artificial e como funciona? | Temas | Parlamento Europeu. (2023). https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20200827STO85804/o-que-e-a-inteligencia-artificial-e-como-funciona

Paul, D., Sanap, G., Shenoy, S., Kalyane, D., Kalia, K., & Tekade, R. K. (2021). Artificial intelligence in drug discovery and development. *Drug Discovery Today*, *26*(1), 80–93. https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.10.010

Péterfi, O., Madarász, L., Ficzere, M., Lestyán-Goda, K., Záhonyi, P., Erdei, G., Sipos, E., Nagy, Z. K., & Galata, D. L. (2023). In-line particle size measurement during granule fluidization using convolutional neural network-aided process imaging. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *189*, 106563. https://doi.org/10.1016/J.EJPS.2023.106563

Pharmaceutical Industry. (2024). https://toolkit.ncats.nih.gov/glossary/pharmaceutical-industry/

Pharmaceutical Strategy for Europe 2 0 2 0. (2020).

Raza, M. A., Aziz, S., Noreen, M., Saeed, A., Anjum, I., Ahmed, M., & Raza, S. M. (2022). Artificial Intelligence (AI) in Pharmacy: An Overview of Innovations. *Innovations in Pharmacy*, *13*(2), 13. https://doi.org/10.24926/IIP.V13I2.4839

Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD) | EUR-Lex. (n.d.). Retrieved October 16, 2024, from https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/summary/general-data-protection-regulation-gdpr.html

Sarkar, C., Das, B., Rawat, V. S., Wahlang, J. B., Nongpiur, A., Tiewsoh, I., Lyngdoh, N. M., Das, D., Bidarolli, M., & Sony, H. T. (2023). Artificial Intelligence and Machine Learning Technology Driven Modern Drug Discovery and Development. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(3), 2026. https://doi.org/10.3390/IJMS24032026

Sarkis, M., Bernardi, A., Shah, N., & Papathanasiou, M. M. (2021). Emerging Challenges and Opportunities in Pharmaceutical Manufacturing and Distribution. *Processes*, *9*(3), 457. https://doi.org/10.3390/pr9030457

Saxena, K., Balani, S., & Srivastava, P. (2022). The role of pharmaceutical industry in building resilient health system. *Frontiers in Public Health*, *10*. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.964899

Shamim, M. A., Shamim, M. A., Arora, P., & Dwivedi, P. (2024). Artificial intelligence and big data for pharmacovigilance and patient safety. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 100139. https://doi.org/10.1016/J.GLMEDI.2024.100139

Shen, J., Bu, F., Ye, Z., Zhang, M., Ma, Q., Yan, J., & Huang, T. (2024). Management of drug supply chain information based on "artificial intelligence + vendor managed inventory" in China: perspective based on a case study. *Frontiers in Pharmacology*, *15*. https://doi.org/10.3389/FPHAR.2024.1373642/FULL

Stagi, L., Bocchi, I., Bianco, S., Sirizzotti, G., Bernardini, D., Calderazzo, V., Pirisino, G., Grisoni, I., & Romano, S. (2021). Pharmacovigilance and the digital world in Italy: presentation of the results of a national survey. *Therapeutic Advances in Drug Safety*, *12*. https://doi.org/10.1177/2042098620985991

Stasevych, M., & Zvarych, V. (2023). Innovative Robotic Technologies and Artificial Intelligence in Pharmacy and Medicine: Paving the Way for the Future of Health Care—A Review. *Big Data and Cognitive Computing 2023, Vol. 7, Page 147*, *7*(3), 147. https://doi.org/10.3390/BDCC7030147

Sultana, A., Maseera, R., Rahamanulla, A., & Misiriya, A. (2023). Emerging of artificial intelligence and technology in pharmaceuticals: review. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, *9*(1). https://doi.org/10.1186/s43094-023-00517-w

Sun, S., Alkahtani, M. E., Gaisford, S., Basit, A. W., Elbadawi, M., & Orlu, M. (2023). Virtually Possible: Enhancing Quality Control of 3D-Printed Medicines with Machine Vision Trained on Photorealistic Images. *Pharmaceutics*, *15*(11). https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS15112630/S1

Teresa, O. :, De, C., & Gonçalves, F. (2017). *João Miguel Neves Gusmão Pires Aprendizagem Profunda: Estudo e Aplicações ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA*.

Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, *122*, 502–517. https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2020.09.009

Vora, L. K., Gholap, A. D., Jetha, K., Thakur, R. R. S., Solanki, H. K., & Chavda, V. P. (2023). Artificial Intelligence in Pharmaceutical Technology and Drug Delivery Design. *Pharmaceutics*, *15*(7), 1916. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071916

What is a Neural Network? | IBM. (2022). https://www.ibm.com/topics/neural-networks

Wolff, J., Pauling, J., Keck, A., & Baumbach, J. (2020). Systematic Review of Economic Impact Studies of Artificial Intelligence in Health Care. *Journal of Medical Internet Research*, *22*(2), e16866. https://doi.org/10.2196/16866

Xu, Y., Liu, X., Cao, X., Huang, C., Liu, E., Qian, S., Liu, X., Wu, Y., Dong, F., Qiu, C.-W., Qiu, J., Hua, K., Su, W., Wu, J., Xu, H., Han, Y., Fu, C., Yin, Z., Liu, M., … Zhang, J. (2021). Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation*, *2*(4), 100179. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100179

Yadav, S., Singh, A., Singhal, R., & Yadav, J. P. (2024). Revolutionizing drug discovery: The impact of artificial intelligence on advancements in pharmacology and the pharmaceutical industry. *Intelligent Pharmacy*, *2*(3), 367–380. https://doi.org/10.1016/J.IPHA.2024.02.009