



CATÓLICA  
LISBON  
BUSINESS & ECONOMICS

# A Narrative Review of AI in Hospital-Acquired Infections

Mariana Pereira da Graça

Dissertation written under the supervision of Professor Henrique Martins

Dissertation submitted in partial fulfilment of requirements for the MSc in  
Business, at the Universidade Católica Portuguesa, 11/09/25.



## ABSTRACT

Hospital-Acquired Infections (HAI) are a longstanding challenge in patient safety efforts and an important public health matter. The development of healthcare information technology has been improving the surveillance of hospital-acquired infections, making artificial intelligence technologies a promising approach to mitigate the burden of HAIs.

This thesis constitutes a thorough narrative review of the existing literature on the use of Artificial Intelligence (AI) to combat hospital-acquired infections, as well as qualitative insights from professionals in the area. It aims to critically evaluate the challenges and goals of resorting to artificial intelligence for the early detection of HAIs, allowing the improvement of patient safety and healthcare outcomes.

Findings from this review reveal significant results in HAI detection accuracy when AI is used. Demonstrating that, when compared to conventional methods, AI-based models are capable of greatly increasing the accuracy of hospital-acquired infection detection, which can result in earlier and more accurate identification of HAIs.

The discussion reflects how AI can be a powerful support tool rather than a replacement for clinical judgment. It also addresses the importance of tailoring AI applications to specific hospital contexts to maximize their impact.

The conclusion reinforces the promising potential of AI in reducing the burden of HAIs, while acknowledging that its success largely depends on overcoming technical, organizational and ethical challenges.

**Title:** A Narrative Review of AI in Hospital-Acquired Infections

**Author:** Mariana Pereira da Graça

**Keywords:** Hospital-Acquired Infections; Nosocomial Infections; Artificial Intelligence; Healthcare; Healthcare Technology; Infection Prevention

## SUMÁRIO

As Infecções Associadas aos Cuidados de Saúde (IACS), ou Infecções Nosocomiais, representam um desafio persistente nos esforços pela segurança do paciente e constituem uma importante questão de saúde pública. O desenvolvimento de tecnologias da informação em saúde tem aprimorado a vigilância dessas infecções, tornando as tecnologias de inteligência artificial uma abordagem promissora para mitigar o impacto das Infecções Nosocomiais.

Esta tese constitui uma revisão narrativa aprofundada da literatura existente sobre a utilização da inteligência artificial (IA) no combate às infecções associadas aos cuidados de saúde, bem como de insights qualitativos de profissionais da área. Tem como objetivo avaliar criticamente os desafios e objetivos de recorrer à inteligência artificial para a detecção precoce de Infecções Nosocomiais, permitindo a melhoria da segurança do paciente e dos resultados nos cuidados de saúde.

Os resultados desta revisão revelam resultados significativos na precisão da detecção de Infecções Nosocomiais quando IA é usada. Demonstrando que, em comparação com os métodos convencionais, os modelos baseados em IA são capazes de aumentar significativamente a precisão na identificação de Infecções Nosocomiais, possibilitando uma detecção mais precoce e assertiva.

A discussão centra-se no papel da inteligência artificial como ferramenta de apoio à decisão clínica, e não como substituto do julgamento médico. É também analisada a necessidade de adaptar as aplicações de IA aos contextos específicos de cada hospital.

A conclusão reforça o potencial promissor da inteligência artificial na mitigação do impacto das infecções hospitalares, desde que os desafios técnicos, organizacionais e éticos sejam adequadamente enfrentados.

**Título:** Uma Revisão Narrativa da IA nas Infecções Nosocomiais

**Autora:** Mariana Pereira da Graça

**Palavras-chave:** Infecções adquiridas em hospitais; Infecções Nosocomiais; Inteligência Artificial; Assistência Médica; Tecnologia de Saúde; Prevenção de Infecções

## ACKNOWLEDGEMENTS

I want to sincerely thank everyone who supported me throughout the process of writing this thesis.

First and foremost, I'm very grateful to my advisor, Professor Henrique Martins, for his guidance, helpful feedback and constant encouragement. His knowledge and support were essential to making this work possible.

I also want to thank my friends and colleagues who shared this journey with me. Their inspiration and support meant a lot during the challenging moments.

Finally, I'm deeply thankful to my parents for their unconditional love, patience and belief in me. Their support gave me the strength to keep going.

This thesis wouldn't have come together without all of you. Thank you so much.

## TABLE OF CONTENTS

<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>SUMÁRIO</b> .....	3
<b>ACKNOWLEDGEMENTS</b> .....	4
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	7
<b>LIST OF TABLES</b> .....	8
<b>LIST OF ABBREVIATIONS</b> .....	9
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	10
<b>1.1. Research aim and questions</b> .....	11
<b>2. BACKGROUND</b> .....	14
<b>2.1. Healthcare Associated Infections</b> .....	14
<b>2.2. Detection of Healthcare Associated Infections</b> .....	18
<b>2.4. Artificial Intelligence in HAI Detection</b> .....	22
<b>2.4.1. Machine Learning studies related to HAIs detection</b> .....	23
<b>2.5. HAI Management</b> .....	25
<b>2.5.1 Prevention</b> .....	26
<b>2.5.2. Suspected Diagnosis</b> .....	27
<b>2.5.3. Diagnostic Confirmation</b> .....	27
<b>2.5.4. Therapeutic Choice</b> .....	28
<b>2.5.5. Follow-up</b> .....	29
<b>3. METHODOLOGY</b> .....	30
<b>3.1 Narrative Review</b> .....	30
<b>3.2. Interview to Professionals working in the field</b> .....	31
<b>4. RESULTS</b> .....	35
<b>4.2. Narrative Review</b> .....	35
<b>4.2.1. Effectiveness</b> .....	35
<b>4.2.2. Challenges</b> .....	36
<b>4.3. Interviews from professionals in the field</b> .....	38
<b>5. RESULTS ANALYSIS</b> .....	39
<b>5.6. Hospital-acquired infections and Artificial Intelligence</b> .....	42
<b>5.6.1. Prevention</b> .....	42
<b>5.6.2. Suspected Diagnosis</b> .....	43
<b>5.6.3. Diagnostic Confirmation</b> .....	44
<b>5.6.4. Therapeutic Choice</b> .....	46
<b>5.6.5. Follow-Up</b> .....	47
<b>6. DISCUSSION</b> .....	50

<b>7. CONCLUSION</b> .....	55
<b>8. APPENDIX</b> .....	56
<b>9. REFERENCES</b> .....	85

## LIST OF FIGURES

<b>Figure 1</b> - Steps in Hospital-Acquired Infection Management.....	29
<b>Figure 2</b> - Methodology process. Source: the author.....	32
<b>Figure 3</b> - Interviews by Country .....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
<b>Figure 4</b> - Interviews by Regional Health Administration .....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>

## LIST OF TABLES

<b>Table 1</b> - Classification of diagnostic instruments for the identification of bacteria.....	19
<b>Table 2</b> - Comparison between literature findings and comments from professionals.....	41
<b>Table 3</b> – Summarize of the discussion of finding from literature review and professionals’ perspectives. ....	53

## LIST OF ABBREVIATIONS

**ADTree** – Alternating Decision Tree  
**AHC** – Agglomerative-Hierarchical-Clustering  
**AI** – Artificial Intelligence  
**ANNs** – Artificial Neural Networks  
**ASP** – Antimicrobial Stewardship Program  
**CDI** – Clostridium difficile Infection  
**CLABSI** – Central Line-Associated Bloodstream Infections  
**DNN** – Deep Neural Networks  
**ECDC** – European Centre for Disease Prevention and Control  
**EHRs** – Electronic Health Records  
**EU** – European Union  
**HAI** – Hospital-Acquired Infections  
**HCAIs** – Healthcare-Associated Infections  
**HCW** – Healthcare Workers  
**HH** – Hand Hygiene  
**ICP** – Infection Control Professionals  
**IoT** – Internet of Things  
**IPC** – Infection Prevention and Control  
**IT** – Information Technologies  
**LR** – Linear Regression  
**ML** – Machine Learning  
**NHSN** – National Healthcare Safety Network  
**NNge** – Nearest Neighbor with Generalization  
**RQ** – Research Questions  
**SSIs** – Surgical Site Infections  
**VAP** – Ventilator-Associated Pneumonia  
**UTIs** – Urinary Tract Infections  
**UV** – Ultraviolet  
**WHO** – World Health Organization

## 1. INTRODUCTION

According to the World Health Organization (WHO) (World Health Organization [WHO], 2022), one in every ten affected patients die of Hospital Acquired-Infections (HAI) and 8.9 million HAIs occur every year in acute and long-term care establishments in EU/EEA, compromising patients' treatment period, increasing costs most related to drug intakes and tests<sup>1</sup>. The main dominant infections include respiratory tract infections (29.3%), urinary tract infections (19.2%), surgical site infections (16.1%), bloodstream infections (11.9%) and gastrointestinal infections (9.5%), being the leading pathogen responsible for 62.1% of these HAI *C. difficile*<sup>2</sup>.

In Europe, studies estimated that there are approximately 3.5 million new cases annually and 90,000 HAIs-related deaths across the European Union<sup>3</sup>. In the case of Portugal, the country faced a decrease of HAIs between 2015 and 2020, according to Direção-Geral da Saúde<sup>4</sup>. However, HAIs still present a relevant public health problem, requiring constant and rigorous epidemiological surveillance, as well as demanding attention redoubled support from all health professionals and the general population.

In the context of the evolving healthcare landscape, the recent COVID-19 pandemic has had a profound impact on hospitalization rates and mortality, thus warranting an exploration of its potential influence on HAIs prevention and surveillance. The pandemic has also led to variations in HAI rates in different healthcare settings and regions<sup>5</sup>. While some U.S. hospitals experienced an increase in specific HAI types during the peak of COVID-19 hospitalizations, hospitals in China reported a substantial reduction in HAIs, particularly in respiratory infections, attributed to enhanced surveillance and additional control measures<sup>6</sup>.

In the broader category of Healthcare-Associated Infections (HCAIs), hospital-acquired infections (HAIs) are the most frequently studied and reported, as they occur in acute care settings where patients are particularly vulnerable. However, HCAIs can also arise in other healthcare environments, such as long-term care facilities, outpatient clinics and nursing homes. This thesis will focus specifically on HAIs. One major concern that significantly increases the risk of these infections is the growing bacterial resistance to antibiotics<sup>7</sup>. This situation is extremely serious and a major problem at the hospitals around the world, contributing greatly to the increase in the occurrence of HAI. Thus, HAIs present themselves as a serious and relevant public health problem and combined with acquired bacterial resistance/multiresistance to

antibiotics, require constant and rigorous epidemiological surveillance, as well as demanding extra attention from all health professionals and the general population<sup>8</sup>.

HAI<sup>s</sup> exert not only a detrimental effect on patient outcomes but also pose a significant economic burden<sup>9</sup>. The increase in the number of drugs used, as well as such as the need for isolation and the use of more detailed laboratory studies and other means of diagnosis, are factors that also contribute in large scale to the increase in costs associated with HAI. However, despite specific interventions in place, the prevalence of HAI<sup>s</sup> continues to rise, underlining the need for novel technologies and approaches to address this critical issue<sup>10</sup>.

In the last decade, we have been facing an era of digital transformation across various sectors. Healthcare industry has stood out in this transformation and the potential of machine learning has been deeply explored in many topics, including infection control, improving patient safety and healthcare efficiency<sup>10</sup>. Digital technologies have introduced several categories of solutions, including automated disinfection systems, electronic health records, mobile applications, electronic hand hygiene monitoring, real-time location systems, and artificial intelligence (AI) based systems, which have the potential to transform the prevention and management of HAI<sup>s</sup><sup>11</sup>.

By leveraging these innovative digital tools, healthcare organizations aim to predict and manage HAI<sup>s</sup> more effectively, alleviating the burden on healthcare systems and enhancing patient safety<sup>10</sup>. This confluence of technology and healthcare practices not only has the potential to revolutionize HAI<sup>s</sup> management but also offers a critical avenue to improve patient outcomes and safeguard the wellbeing of individuals seeking medical care. It is in this dynamic context that this thesis explores the multifaceted interplay between AI and HAI<sup>s</sup> within the healthcare ecosystem.

### **1.1. Research aim and questions**

This study seeks to address the value and challenges of resorting to artificial intelligence (AI-based systems) for the early detection of HAI<sup>s</sup>, with the purpose of improving patient safety and healthcare outcomes. Bearing this in mind, two key research questions (RQ) were analyzed.

***RQ1) How efficient are AI-based models/systems in early detection of hospital-acquired infections compared to conventional techniques?***

Hospital-acquired infections early detection is essential for timely intervention and prevention of further spread. Investigating the efficiency of AI-based models in comparison to conventional techniques addresses a critical need in healthcare research since Artificial Intelligence is a quickly developing field with revolutionary potential healthcare. As AI technologies continue to advance, their integration into healthcare systems could become essential for enhancing efficiency, measured in terms of faster clinical decision-making, reduced hospital stay durations, and improved allocation of medical staff and resources.

To answer this question, a systematic narrative review of recent literature was conducted, analyzing studies that compared AI-based models with conventional methods for early detection of hospital-acquired infections. In addition, qualitative insights from healthcare professionals were gathered to assess the practical impact of AI tools in clinical settings. The findings were evaluated based on metrics such as diagnostic accuracy, detection timeliness and integration into existing healthcare workflows. This approach allowed for a comprehensive understanding of the efficiency and real-world applicability of AI systems in comparison to traditional techniques.

***RQ2) What are the possible drawbacks and obstacles of incorporating AI into healthcare settings for HAI detection? And how can these be mitigated?***

While AI has the potential to enhance HAI detection, it is essential to explore the practical challenges and drawbacks associated with its implementation in healthcare settings. This question allows for an examination of real-world obstacles, providing insights that can inform practical strategies for overcoming them. The success of AI in healthcare depends on user acceptance and engagement. Investigating ways to address drawbacks and obstacles can shed light on strategies to enhance user trust, acceptance and collaboration with AI systems, leading to more successful and sustainable implementations.

To address this question, the review examined literature discussing technical, ethical and organizational barriers to AI adoption in healthcare, particularly for HAI detection. Key challenges identified included data privacy concerns, lack of interoperability, limited

generalizability of AI models and resistance from clinical staff. These findings were further supported and enriched by qualitative input from healthcare professionals, offering frontline perspectives on barriers and suggestions for mitigation. Through this combined approach, the study identified practical strategies to enhance trust, transparency and integration of AI systems in real-world settings.

## 2. BACKGROUND

### 2.1. Healthcare Associated Infections

Hospital-acquired infections (HAIs), also known as nosocomial infections, specifically refer to infections that patients acquire during their stay in a hospital or acute care setting, which were neither present nor incubating at the time of admission (European Centre for Disease Prevention and Control [ECDC], 2024). This term is a subset of the broader concept of healthcare-associated infections (HCAIs), which encompasses infections contracted in a medical facility, including long-term care facilities, outpatient clinics and rehabilitation centers. While HCAIs include a wider range of environments and patient populations, this thesis focuses specifically on HAIs within hospital settings due to their higher prevalence, severity and the critical need for early detection and intervention in these acute care environments. Focusing on HAIs allows for a more targeted analysis of artificial intelligence applications that address the unique challenges and dynamics found in hospitals. These infections can be easily treated, but they also can be more serious, compromising the patient's discharge and health.

Most HAIs are caused by an unbalanced relationship between the normal human microbiota and host defense mechanisms<sup>12</sup>. Presenting a pressing global public health crisis, with far-reaching implications for both patient well-being and healthcare system sustainability. These kinds of infections can be prevented through basic measures, being the most important obedience to sanitation protocols<sup>13</sup>.

The obtention of a detailed patient history and conduction of a comprehensive physical examination are crucial steps in recognizing the infection as an HAI. There are various key elements in the patient's history that can provide valuable insights, aiding in this determination. For instance, the presence of subjective symptoms like fever, chills and night sweats may suggest that the infection was not contracted within the hospital environment<sup>14</sup>.

The increasing number of patients in hospitals ignorance or disobedience to sanitation protocols, increasing of antibiotic resistance and transfer of infectious agents from medical staff to the patient are main causes for the expansion of nosocomial infections<sup>15</sup>. The type of and the procedures of healthcare units represent an important factor to explain the spread and the mortality rates of in HAI as these may differ between them depending on their compliance with protocols, medical staff, obstacles and performance of the health system<sup>16</sup>.

HAI, as acknowledged by the World Health Organization, constitute a global issue, contributing significantly to morbidity and mortality worldwide. This challenge extends beyond developing countries and is prevalent in highly developed European nations as well<sup>17</sup>. These infections also impose considerable economic burdens on the hospital sector, with escalating costs each year. Duszynska et al.'s 2020 survey disclosed that one in five patients is diagnosed with a device-associated HAI, incurring an additional financial burden exceeding 10,000 euros per patient<sup>18</sup>.

Hopmans et al. (2020) conducted biannual point-prevalence surveillance on HAIs from 2007 to 2016 in the Netherlands, revealing a decline in HAI incidence, particularly in surgical site infections (SSIs) and urinary tract infections (UTIs). While this survey demonstrated a 3-day reduction in the mean length of hospital stay, it also indicated an increase in antibiotic usage from 31% to 36%. This underscores the significance of surveys in understanding the impact of ongoing treatment procedures, facilitating modifications to uphold a high standard of healthcare<sup>19</sup>.

Numerous microorganisms are accountable for infections associated with hospitals, with both Gram-negative and Gram-positive bacteria playing a significant role in most infection cases. Additionally, parasitic protozoans, viruses, fungi and yeasts are among the causative agents<sup>19</sup>. Infections in patients are identified when these pathogens are present in body fluids and sterile body sites<sup>20</sup>.

According to the European Centre for Disease Prevention and Control, the most common types of hospital-acquired infections are: Surgical Site Infections (SSI), Urinary Tract Infections (UTI), Central Line-Associated Bloodstream Infections (CLABSI), Ventilator-Associated Pneumonia (VAP), Clostridium difficile Infection (CDI), Bloodstream Infections, Respiratory Tract Infections and Gastrointestinal Infections<sup>21</sup>.

### *Surgical Site Infections (SSI)*

Surgical Site Infections manifest as infections occurring in the part of the body where the procedure was carried out. The most common sources of this type of infection are bacterial contamination, surgical instruments not adequately sterilized, inadequate skin preparation, prolonged surgery, compromised blood circulation and the retention of foreign objects. Strategies for preventing Surgical Site Infections involve adhering to evidence-based standards and guidelines for administering antimicrobial prophylaxis, do not remove hair at the surgical site unless its presence interferes with the procedure, controlling blood postoperatively, maintain normal body temperature during the surgical process, using alcohol-based preoperative skin preparations when not contraindicated and employing impermeable plastic wound protectors for gastrointestinal and biliary tract surgeries<sup>22</sup>.

### *Urinary Tract Infections (UTI)*

Urinary Tract Infections are infections that affect the urinary system, including bladder, urethra or kidneys. Reported by National Healthcare Safety Network (NHSN), UTI is the most common type of HAI. The major risk associated with the development of Urinary Tract Infections is the prolonged use of the urinary catheter (associated to 75% of the UTIs acquired in the hospital). Basic implementations for preventing catheter-associated urinary tract infections are providing appropriate infrastructure, perform surveillance, using appropriate technique for catheter insertion and ensure appropriate management of indwelling catheters<sup>23</sup>.

### *Central Line-Associated Bloodstream Infections (CLABI)*

Central Line-Associated Bloodstream Infections (CLABI) are infections that arise when pathogens infiltrate the bloodstream via a central line (a catheter inserted by doctors into a major vein in the neck, chest or groin for administering medication or fluids or extracting blood for medical assessments). The leading dangers associated with the expansion of Central Line-Associated Bloodstream Infections are the placement of multiple catheters and the common practice of inserting catheters in urgent situations, accessing them multiple times daily and requiring their prolonged use. Basic implementations for preventing CLABI are good hand hygiene, the use of appropriate skin antiseptic, minimize the use of catheters unless it is necessary and promptly discontinuing central lines once they are no longer needed<sup>24</sup>.

### *Ventilator-Associated Pneumonia (VAP)*

Ventilator-Associated Pneumonia (VAP) is a respiratory infection occurring in an individual undergoing mechanical ventilation. Patients on mechanical ventilation face an elevated risk of VAP once its true incidence is challenging due to subjective and nonspecific surveillance definitions. Fundamental strategies for preventing VAP include minimizing intubation when feasible, reducing sedation, enhancing physical conditioning, preventing the accumulation of secretions above the endotracheal tube cuff and maintaining ventilator circuits<sup>25</sup>.

### *Clostridium difficile Infection (CDI)*

*Clostridium difficile* Infection (CDI) is an infection caused by *Clostridioides difficile* bacterium that induces an infection in the colon, which is the longest segment of the large intestine. Its major risk is associated with the side-effect of using antibiotics. Preventive measures against CDI involve restricting and responsibly managing antimicrobial usage, refraining from electronic thermometer use, adopting full-barrier precautions when interacting with CDI patients, providing private rooms for individuals with CDI when possible and conducting thorough environmental decontamination<sup>26</sup>.

### *Bloodstream Infections*

Bloodstream Infections are infections caused by bacteria entering the bloodstream. Their most common sources are invasive medical procedures and infections originating in other parts of the body. Its prevention involves employing sterile techniques, promptly treating infections at other locations and adhering to infection control practices in healthcare settings<sup>27</sup>.

### *Respiratory Tract Infections*

Respiratory Tract Infections are infections that affect the respiratory system, which include the nose, throat, bronchi or lungs. Their common causes are viruses, bacteria, fungi and environmental irritants. Isolation precautions, good respiratory hygiene etiquette, ensuring proper ventilation and regular environmental cleaning are measures that can be taken to prevent Respiratory Tract Infections<sup>28</sup>.

### *Gastrointestinal Infections*

Gastrointestinal Infections are infections that affect the digestive system. These infections can be caused by various microorganisms including bacteria, viruses, parasites and fungi. Basic implementations for preventing Gastrointestinal Infections are water safety, waste management, the enforcement of food safety practices as well as good hygiene practices<sup>29</sup>.

### **2.2.Detection of Healthcare Associated Infections**

Bacterial infections stand among the primary causes of Hospital-Acquired Infections and pinpointing the responsible organism poses challenges, particularly with resistant strains. Swift and accurate detection methods become imperative. The need for typing bacteria is underscored by the emergence of various virulent strains. When selecting a testing method for prompt and accurate identification, laboratories must consider factors such as method sensitivity, complexity, turnaround time, required expertise and analysis cost<sup>30</sup>.

Traditional culture methods remain the gold standard for detecting and identifying bacteria, owing to their reliability, efficiency, sensitivity and versatility. However, these methods are labor-intensive and entail an extended bacterial growth period, with results taking 1–5 days to report. These limitations demonstrate that it is recommended that laboratories complement or substitute culture-based approaches with alternative detection methods. Recent advancements in molecular and nonmolecular testing significantly reduce the time needed for bacterial detection in HAI<sup>30</sup>.

Microbiological techniques for rapid diagnosis facilitate swift bacteria identification, crucial for early patient management. Rapid diagnosis testing, coupled with Antimicrobial Stewardship Program (ASP) intervention, demonstrates an 80% likelihood of being cost-effective compared to testing without ASP intervention. Diagnostic tools for detecting bacteria in nosocomial infections fall into categories such as nucleic acid-based, biosensor-based, immunological-based and mass spectrometry-based methods<sup>30</sup>.

Characteristics	Advantage	Disadvantage
<p><b>Nucleic acid-Based Methods</b></p> <p>Identifies particular DNA sequences within the targeted bacteria through the hybridization of nucleic acid with a synthetic oligonucleotide<sup>30</sup>.</p> <p>Examples: PCR, Oligonucleotide DNA Microarray</p>	<p>Sensitive, specific, faster than culture growth, low detection limit and automated</p>	<p>Require pure samples, prone to contamination, sample processing takes several hours, high cost, need for trained personnel, complexity, no distinction between viable and not viable bacteria</p>
<p><b>Biosensor-Based Methods</b></p> <p>Applicable for identifying entire bacterial cells, virulence factors, various metabolites, or quorum sensing molecules<sup>31</sup>.</p> <p>Examples: electrochemical, piezoelectric biosensors</p>	<p>Low limit of detection, small sample volume, real-time and rapid detection, high sensitivity, cost effective method and miniaturization and portability</p>	<p>Sensitive to sample matrix effects</p>
<p><b>Immunological-Based Methods</b></p> <p>Utilizing interactions between antibodies and antigens, the sensitivity and specificity are gauged by the binding strength exhibited between an antibody and its corresponding antigen<sup>32</sup>.</p> <p>Examples: ELISA, ICA</p>	<p>Sensitive, specific, automated and detection of bacterial toxins</p>	<p>Low sensitivity, prone to false negative results, cross-reactivity with similar antigens, need for specific antibodies and high cost</p>
<p><b>Mass Spectrometry-Based Methods</b></p> <p>Analytical tool useful for measuring the mass-to-charge ratio of one or more molecules present in a sample<sup>33</sup>.</p> <p>Examples: MALDI TOF MS, HPLC(UPLC)-MS/MS</p>	<p>Very specific and sensitive, rapid and accurate detection, capable of characterizing carbapenemase-producing bacteria and allows the detection of bacterial isolates in biofilms</p>	<p>High acquisition costs for the equipment, high annual maintenance costs and the need for an extraction or concentration step</p>

*Table 1 - Classification of diagnostic instruments for the identification of bacteria*

Traditional approaches for detecting pathogenic bacteria rely on bacterial culture, encompassing multiple steps such as sample preparation, enrichment, dilution, plating, enumeration and isolation of single-species colonies on selective media for further characterization<sup>34</sup>. Despite their widespread use in routine laboratories, these conventional methods have drawbacks such as prolonged analysis time, labor-intensive procedures, specific analysis conditions (temperature, light), lower specificity compared to alternative methods and a substantial requirement for consumables and qualified personnel<sup>35</sup>. These limitations render them unsuitable for field applications or scenarios demanding immediate results.

Despite these drawbacks, classical methods remain prevalent in routine laboratory use for identifying bacteria, including those causing Hospital-Acquired Infections. Chromogenic agars, a modern adaptation of traditional culture techniques, are gaining popularity in clinical laboratories. These agars incorporate antibiotics, permitting the growth of resistant bacteria only. Representing a sensitive, convenient and relatively cost-effective approach, chromogenic agars identify pathogens based on a color reaction in bacterial culture, resulting in a shorter turnaround time<sup>36</sup>.

In recent years, there has been a surge in more robust molecular, immunological and biochemical analytical methods aimed at overcoming the limitations posed by conventional techniques. Numerous rapid detection methods have been devised, demonstrating superior sensitivity, specificity, time efficiency, labor savings and reliability compared to traditional approaches. However, these methods necessitate trained personnel and specialized instruments. Particularly, PCR techniques are valuable tools in routine laboratories for diagnosing bacterial infections, enabling the detection of clinically relevant antibiotic resistance genes and bacterial isolates growing in biofilms<sup>30</sup>.

Isothermal amplification techniques, such as LAMP methods, present a novel approach to gene amplification, offering advantages such as shorter analysis time, ease of use, lower running costs and increased specificity and sensitivity. Nevertheless, these methods entail a complex design, requiring at least four primers and pose challenges in developing multiplex tests<sup>37</sup>.

Biosensor-based methods have emerged as rapid, sensitive, cost-effective and straightforward solutions for detecting a wide array of bacteria<sup>38</sup>. Their advantages include the potential for miniaturization, portability, on-site and real-time analyses without complex sample preparation, making them preferable in routine laboratories for swift bacteria detection.

The use of nanomaterials further enhances sensitivity, although the complexity of the sample matrix can pose challenges, requiring careful sensor optimization.

Immunological methods, such as ELISA and ICA, rely on specific antigen-antibody interactions, producing a visible reaction if the antigen is present in the sample. These methods offer advantages like short analysis time, ease of use, high specificity and relatively inexpensive equipment. However, immunological methods exhibit lower sensitivity compared to molecular methods, are sensitive to temperature and pH changes and perform optimally in the absence of interfering molecules in samples<sup>39</sup>.

Detection of bacteria causing Hospital-Acquired Infections can also be achieved by identifying specific biomarkers, such as quorum sensing molecules, various virulence factors or other metabolites. However, this genetic analysis alone does not provide conclusive evidence of protein expression, necessitating additional protein analysis to verify the existence of the molecule. Widely used methods for detecting bacterial biomarkers include immunoassays and mass spectrometry-based techniques, while biosensors have gained popularity due to their advantages<sup>40</sup>.

Given the critical importance of detecting bacteria in HAI within the medical field, ongoing research is focused on developing new and improved methods that facilitate early detection.

### **2.3. Artificial Intelligence**

Artificial Intelligence (AI) is a multidisciplinary area of computer science concerned with the creation of machines that can carry out operations that normally call for human intellect. These tasks include reasoning, learning, decision-making, recognizing natural language, identifying patterns and perceiving the environment. The term encompasses a broad range of subfields, including machine learning, processing of natural language, robotics, computer vision and knowledge representation<sup>41</sup>.

There are several ways to define AI, depending on the perspective taken. Some definitions focus on mimicking human thought processes or behavior, while others emphasize rational action. A common framework divides AI into four categories: systems that think like humans, act like humans, think rationally and act rationally<sup>42</sup>. Modern AI research often centers on the

rational-agent approach, which defines intelligent agents as entities that perceive their environment and take actions to maximize their chances of achieving specific goals.

The concept of AI was popularized by Alan Turing at the middle of the 20th century through the Turing Test<sup>43</sup>, which sought to evaluate a machine's ability to exhibit intelligent conduct that is identical to that of a human. Since then, the field has evolved significantly, moving from symbolic rule-based systems to data-driven models powered by machine learning algorithms. These models learn patterns from large datasets, allowing systems to make forecasts or decisions not specifically coded for each scenario.

In practical terms, AI systems can be classified into two broad types: narrow AI and general AI<sup>44</sup>. Narrow AI, often called weak AI, is designed to perform specific tasks, such as image recognition, speech transcription or clinical decision support. General AI, by contrast, would possess the capacity to understand, learn and use its expertise across a wide range of domains.

AI's integration into critical domains such as healthcare has been driven by its potential to enhance decision-making, reduce human error and improve operational efficiency. In healthcare, AI applications include diagnostic support, predictive analytics, personalized treatment recommendations and administrative automation. These systems are increasingly being used to process complex and voluminous data generated by electronic health records (EHRs), medical imaging and real-time monitoring devices, enabling clinicians to make faster and more informed decisions<sup>45</sup>.

#### **2.4. Artificial Intelligence in HAI Detection**

The progress in Information Technologies (IT) and the ongoing digitization of health data present new opportunities and potential for the medical field, particularly in automating the surveillance of Hospital-Acquired Infections<sup>46</sup>. Recent discussions emphasize that leveraging electronic health information from several sources could enhance electronic HAI surveillance systems on multiple fronts: improving the reliability, efficiency and standardization of surveillance practices, reducing costs, saving time and enabling real-time analysis and action<sup>47</sup>.

While traditional automated and semi-automated HAI surveillance systems rely on fixed and predefined classification algorithms or simple rule-based decision trees, emerging evidence suggests that Artificial Intelligence and machine learning, encompassing a diverse set of

statistical and computational techniques, can contribute to the development of HAI surveillance algorithms. In a broader sense, Machine Learning (ML) involves the iterative and automatic optimization of mathematical models, progressively fitting them to available data with increasing accuracy. Applying ML to infection prevention and control can increase our comprehension of HAI risk factors, refine patient risk stratification, identify transmission pathways and facilitate timely or real-time detection and control. Despite the promise of this approach, there is limited evidence in the literature regarding the application of ML in the field of HAIs, and no clear patterns have emerged regarding its impact<sup>48</sup>.

#### **2.4.1. Machine Learning studies related to HAIs detection**

Over the last decade, several investigations have employed machine learning techniques within the medical field. Recent studies that apply machine learning methodologies to address the detection of Healthcare-Associated Infections have been performed.

In a study conducted by Chang et al. (2011)<sup>49</sup>, researchers aimed to develop a monitoring system to predict hospital-acquired infections (HAIs) using patient data from the intensive care unit of the University Hospital of Oran, Algeria, and additional data from a hospital in Taiwan. Several patient characteristics were considered, including age, sex, and type of catheter used. The study applied six classifiers: Alternating Decision Tree (ADTree), C4.5, ID3, RNA, Decision Tables and nearest neighbor with generalization (NNge), with NNge achieving 100 percent accuracy. Various sampling techniques, including random and agglomerative-hierarchical-clustering (AHC) oversampling, K-means subsampling, random subsampling and a combination of AHC oversampling with K-means subsampling, were also evaluated. Five classifiers (IB1, Naive Bayes, C4.5, AdaBoost and a symmetrical-margin SVM) were employed in this context, yielding recall values from 49 percent (IB1) to 87 percent (Naive Bayes) and specificity values from 74 percent (Naive Bayes) to 86 percent (IB1) when using the combined AHC and K-means approach. Additionally, linear regression (LR) and artificial neural networks (ANNs) were utilized, with ANNs trained using backpropagation and conjugate gradient descent. Evaluation on an internal test set from the same hospital showed the ANN approach achieved the best performance, with a recall of 96.64 percent and specificity of 85.96 percent, whereas LR performed best for the external test set, with a recall of 82.76 percent and specificity of 80.90 percent.

In yet another study<sup>50</sup>, researchers compared a symmetrical SVM against an asymmetrical one. The experiments demonstrated the inadequacy of the symmetrical SVM in handling skewed class distributions. The highest recall, at 92 percent, was achieved with an asymmetrical SVM, accompanied by a specificity of 72.2 percent.

#### **2.4.1.1. Limitations found in Machine Learning studies**

Based on the different research that has been carried out regarding Machine Learning and HAIs detection, it's easy to understand that choosing the best methodology for HAIs detection isn't an easy process.

Healthcare data, especially those related to HAIs, can be complex and heterogeneous, containing various types of information such as demographic data, clinical variables, laboratory results and imaging data. Selecting the most appropriate methodology needs comprehension of the nature of the data and choosing techniques that can effectively handle its complexity. The choice of methodology depends on the desired performance metrics and objectives of the study, for example, if the primary goal is to maximize accuracy, different techniques may be favored compared to situations where interpretability or sensitivity is more critical. Imbalanced datasets, where the number of positive cases (infected patients) is much smaller than negative cases (non-infected patients), are common in HAI detection studies so, electing methodologies that effectively handle imbalanced data, is crucial for developing robust models. Some methodologies, such as decision trees or logistic regression, offer greater interpretability, making it easier to understand the underlying factors driving predictions, in contrast, more intricate models like neural networks may offer higher predictive performance but are often less interpretable. Considerations such as computational capabilities, time constraints and data availability can influence the choice of methodology, for instance, simpler models may be preferred in settings where computational resources are limited or when real-time predictions are required. The selected methodology should align with the clinical context and be interpretable and actionable for healthcare professionals, being essential to ensure that the chosen approach not only achieves high predictive performance but also integrates effectively into clinical workflows and decision-making processes<sup>51</sup>.

The rise of digitalization is fundamentally transforming the way we generate, share and distribute value across various sectors, notably impacting healthcare. In this landscape, the

integration of artificial intelligence tools into medical practices holds tremendous promise for enhancing diagnostics, treatments and overall health outcomes.

Primarily, the application of AI in healthcare revolves around supporting clinical decision-making in uncertain contexts, although discussions often overlook its potential impact on public health. Through the Machine Learning studies related to HAIs detection, it becomes evident that ML-based models can facilitate early and precise identification of high-risk patients, enabling targeted infection prevention strategies within healthcare settings, ultimately reducing incidence rates and associated costs<sup>52</sup>. Despite the significant financial burden HAIs impose on healthcare systems, studies evaluating the cost-effectiveness of ML interventions in this realm remain scarce<sup>53</sup>.

Furthermore, while numerous studies showcase the performance of ML models, evidence regarding their validation and integration into clinical practice remains limited. Nonetheless, one randomized controlled trial indicates promising outcomes, demonstrating reduced hospital stays and mortality rates using a ML-based severe sepsis prediction system. However, the generalizability of these findings is hindered by factors such as small sample sizes and short study durations. Overall, while research in this area continues to accumulate, the validation, adoption and scalability of ML-based models for HAIs control are still distant objectives. Addressing this requires strengthening several foundational pillars, including data accessibility, model development and validation and overcoming organizational barriers to adoption. Additionally, fostering interdisciplinary collaboration is essential for developing robust ML-based prediction models tailored to specific clinical contexts<sup>54</sup>.

## **2.5. HAI Management**

Hospital-acquired infections are a serious worry in healthcare environments and efficient management is essential for enhancing the results for patients and lowering healthcare burdens. This procedure for management can be broadly organized into five key steps: prevention, suspected diagnosis, diagnostic confirmation, therapeutic choice and follow-up.

Prevention serves as the first line of defense, emphasizing practices like hand hygiene, sterilization of medical instruments and stringent infection control measures to prevent the transmission of infections. When HAI is considered, suspected diagnosis involves identifying

early indicators and symptoms in patients at risk, enabling prompt attention. Diagnostic confirmation then ensures accuracy through laboratory testing and imaging, which are essential to pinpoint the causative pathogen and tailor appropriate interventions. Once an infection is confirmed, therapeutic choice involves selecting the most efficient treatment based on the type of infection, antibiotic resistance patterns and the patient's overall health condition. Finally, follow-up plays a crucial role in involvement in therapy monitoring and preventing recurrence, allowing medical professionals to adjust treatment as needed. This structured, stepwise approach to HAI management enables hospitals to maintain patient safety and successfully handle infections with optimal care at every stage.

### **2.5.1 Prevention**

A review published by Science Journal<sup>55</sup> says that AI and ML have the potential to enhance the prevention of HAIs by analyzing large datasets, forecasting infection risks and enhancing diagnostics. AI-driven models can help detect resistance to antibiotics, optimize antimicrobial stewardship and support techniques for infection control. However, challenges such as data quality, model generalizability and the need for large-scale benchmarking persist. AI need to be combined with infection prevention policies, surveillance systems and healthcare infrastructure to maximize its impact on preventing HAIs.

Another report<sup>56</sup> tells us that AI algorithms show promise in improving healthcare-associated infection surveillance by reducing the time burden on infection control professionals (ICPs) while maintaining acceptable sensitivity and accuracy. AI models can integrate structured and unstructured clinical data, enhancing detection beyond traditional laboratory-based surveillance. A semi-automated approach, combining AI with manual review by ICPs, adds quality control layers and improves infection prevention performance. However, challenges remain, including data variability across medical professionals, access to AI technology and implementation barriers. Future studies should compare manual and AI-driven surveillance models to assess time and cost savings and overall increases in efficiency.

A systematic literature review<sup>57</sup> about the use of robotics and intelligent environments for infection prevention control (IPC) indicates that these types of practices in hospitals primarily focus on hand hygiene (HH) and ultraviolet (UV) devices for disinfection. Despite the current COVID-19 epidemic, there is little study on the application of automation and robotics in IPC

in healthcare settings. The literature that is available on these topics is either out-of-date or has no bearing. However, healthcare workers' (HCWs') lack of understanding and training about the design and usage of healthcare technology that impacts their everyday lives and work is one remarkable finding.

### **2.5.2. Suspected Diagnosis**

AI models have shown better performance<sup>58</sup> in detecting infections, by improving efficiency in forecasting disease development and examining medical images compared to human clinicians. However, challenges remain, such as the need for better accuracy, the reliability of AI models in predicting diseases, healthcare professionals' hesitance to fully trust AI-based approaches, concerns about job displacement, moral considerations and the risk of AI being misused to justify staff reductions. The successful implementation of AI should focus on cooperation with healthcare workers rather than replacing them, ensuring that AI serves as an aid rather than a substitute in infection surveillance and prevention.

Despite the advancements, further development is needed to enhance AI's diagnostic capabilities, with a particular focus on improving accuracy and overcoming barriers related to training, data quality and integration with clinical practice. Future research should consider AI's limitations and explore decentralized federated learning models to enable early diagnosis and better collaboration between AI systems and clinicians.

### **2.5.3. Diagnostic Confirmation**

Artificial intelligence is quickly becoming a crucial component of contemporary healthcare, offering significant potential in various areas such as diagnostic support, antimicrobial stewardship, infection surveillance and disease prevention<sup>36</sup>. The mass digitalization of health records and advances in computer power have played a pivotal role in enabling AI applications. Rather than viewed as a threat to healthcare jobs, AI ought to be perceived as an opportunity to improve the quality of patient treatment, enhance infection management, maximize the distribution of resources and reduce healthcare costs. Overall, AI's incorporation into medical care promises better outcomes for healthcare systems and patients.

A study<sup>59</sup> emphasizes the growing use of laboratory tests combined with machine learning techniques, particularly in the prediction of unknown information, such as diagnosing hospital-acquired infections. The study found that all the evaluated studies successfully used laboratory tests, mainly complete blood counts, alongside supervised learning models, with XGBoost and deep neural networks (DNNs) showing the best results. These predictive models, especially in binary classification, have proven valuable in triaging hospitalized patients and diagnosing conditions. The study concludes that leveraging routine laboratory tests with ML models represents a promising innovation, offering low-cost, comprehensive analysis for early detection of unknown pathologies or errors in test results, without disrupting existing medical procedures in laboratories.

The conclusion of another study<sup>60</sup> highlights the significant potential of artificial intelligence in infectious disease imaging, particularly during the pandemic, where it has proven useful in both preclinical and clinical settings. However, it stresses the importance of fine-tuning AI tools to ensure their effectiveness. The study calls for continued effort in developing AI methods that are not only complex but also generalizable, explainable and unbiased, especially when patient well-being is at stake. It suggests that the advancements made during the COVID-19 pandemic in imaging and data acquisition can serve as a foundation for creating more robust and generalizable AI models for the future, with a broad long-term impact on the data-science research community.

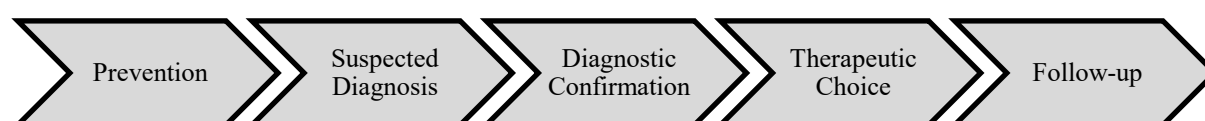
#### **2.5.4. Therapeutic Choice**

A study<sup>61</sup> highlights the promising potential of artificial intelligence and machine learning in enhancing therapeutic choices for treating hospital-acquired infections. However, full integration of AI into healthcare systems faces several challenges, such as the need for frameworks for regulations, harmonization of AI approaches across institutions and ensuring the quality of input data. There is a call for global coordination in bio-surveillance systems, leveraging advancements in data analytics and utilizing AI for better prediction and understanding of infections. The study also stresses the importance of personalized approaches for infectious diseases, emphasizing the need for both population-wide and individualized strategies in managing HAIs. Finally, it points out that AI could be a long-term, affordable strategy for breaking transmission chains, particularly in developing countries, but this will require careful integration and data sharing to be effective.

Another study<sup>36</sup> shows us the transformative potential of artificial intelligence in medical diagnostics, particularly for improving the speed and accuracy of diagnostic practices. The research implies that the incorporation of deep learning applications in healthcare is growing rapidly, and that automated diagnostics will soon become an integral part of medical practice. However, it emphasizes the need for better interdisciplinary communication and cooperation to overcome the fragmented efforts in this field. The study also calls for clearly defining the roles of machines and humans in healthcare, acknowledging the sensitive nature of medical practice, which requires empathy, legality and careful consideration of ethical implications. Lastly, the study envisions future advancements in AI that could lead to integrated diagnostic algorithms capable of detecting a wide range of pathologies, potentially creating a complete, automated, non-invasive diagnostic platform through medical imaging.

#### 2.5.5. Follow-up

ML algorithms have been developed to predict patients' response to treatment based on various factors, including age, chronic conditions, respiratory or organ failure, and treatment plan. These models achieve high accuracy, with the best performing model having an AUC > 0.99<sup>62</sup>.



*Figure 1 - Steps in Hospital-Acquired Infection Management*

### **3. METHODOLOGY**

This study resorted to a mixed methodology approach, literature review condensed as a narrative review and qualitative data collection through a set of interviews to relevant professionals in the field.

#### **3.1 Narrative Review**

This thesis employed a narrative review to synthesize extant literature on the use of AI in the treatment of hospital-acquired infections. The narrative review was selected for its flexibility and interpretive depth. In contradistinction to systematic reviews, which prioritize narrowly defined inquiries characterized by rigid and pre-specified criteria, narrative reviews facilitate a more comprehensive examination of literature from myriad disciplines and perspectives. This approach is particularly well-suited for complex or under-researched issues that necessitate the integration of diverse methodologies, study types and theoretical frameworks<sup>63</sup>.

Narrative reviews are predicated on interpretivist and subjectivist perspectives, recognizing that reality is dynamic and affected by context. Consequently, rather than striving for comprehensive coverage, this approach emphasizes the interpretation and critical evaluation of existing knowledge. The review was an iterative search and selection procedure led by the research question's relevance and field significance. The definitions and scope were well defined and reflexivity was maintained throughout to acknowledge the impact of researcher perspectives. The objective of the synthesis was threefold: first, to identify major themes; second, to expose gaps and third, to provide a critical comprehension of the literature. The goal of these efforts was to facilitate the development of new insights and directions for future research.

To identify relevant material from interdisciplinary databases for the narrative review on the use of artificial intelligence in hospital-acquired infections, a methodical yet adaptable search strategy was devised. An extensive search of scientific databases (e.g., PubMed, Scopus, Google Scholar) and institutional sources (e.g., WHO, ECDC) was conducted, resulting in the identification of approximately 90 relevant documents published between 2010 and 2024. From this initial pool, 43 peer-reviewed articles and technical reports were selected for in-depth analysis, based on inclusion criteria such as relevance to the use of Artificial Intelligence in

hospital-acquired infection detection, methodological robustness and publication within the past 10–15 years, with a focus on more recent evidence from 2020 onwards. The selected sources were qualitatively analyzed involving critical interpretation of each study's aims, AI methods used (e.g., machine learning, natural language processing), outcomes reported and limitations noted. In addition to the terms "hospital-acquired infections", "nosocomial infections" and "healthcare-associated infections", the primary search terms included "artificial intelligence" and "machine learning".

### **3.2. Interview to Professionals working in the field**

To gain deeper insights into the role of AI in healthcare, particularly in infection detection and prevention, qualitative data was collected through interviews with professionals in the field. These interviews aimed to validate the research findings, gather expert opinions and explore real-world applications and challenges associated with AI integration in clinical and laboratory settings. By engaging with these professionals, this study captures a diverse range of perspectives on the potential and limitations of AI in medical diagnostics and infection control.

The qualitative approach enables a nuanced understanding of how AI-driven technologies are perceived and utilized by professionals, highlighting factors such as technological feasibility, implementation barriers, ethical considerations and future directions for AI in healthcare. This section presents the key findings derived from these interviews, synthesizing expert insights to complement the quantitative aspects of the research.

The interview script (Appendix A) was developed based on the findings in the revision of literature. It was written in both English and Portuguese to accommodate both international and Portuguese professionals. Participants were selected through an online search for relevant experts and interview invitations were sent via email. This targeted approach ensured that the study captured diverse viewpoints from professionals actively engaged in AI applications within healthcare. The interviews were scheduled based on professionals' availability, starting on 28<sup>th</sup> February until 25<sup>th</sup> March.

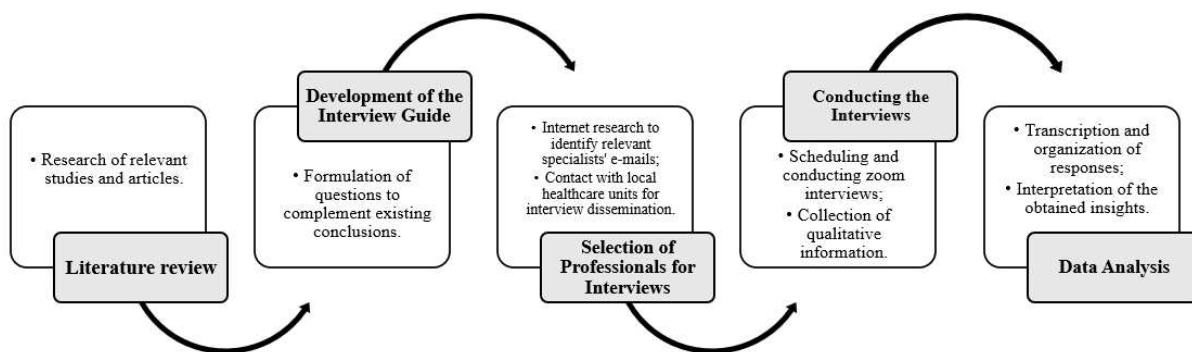


Figure 2 - Methodology process. Source: the author

In Appendix B is the e-mail message sent to both Portuguese local health units and professionals in the field.

Six interviews were conducted from 108 professionals and 39 local health units contacted (response rate of  $\approx 0,05\%$ ). Of the professionals contacted, 79 didn't answer, 4 couldn't participate and 17 didn't receive the e-mail. Regarding the local health units, 2 didn't receive the e-mail and 3 provided 1 professional each.

In Figure 3 the number of interviews by country is represented.

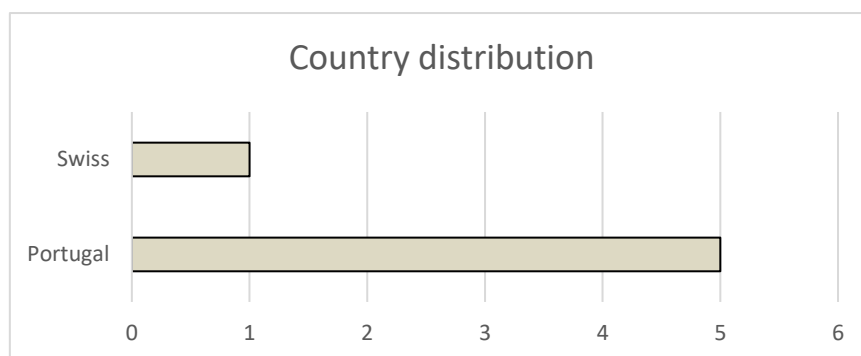
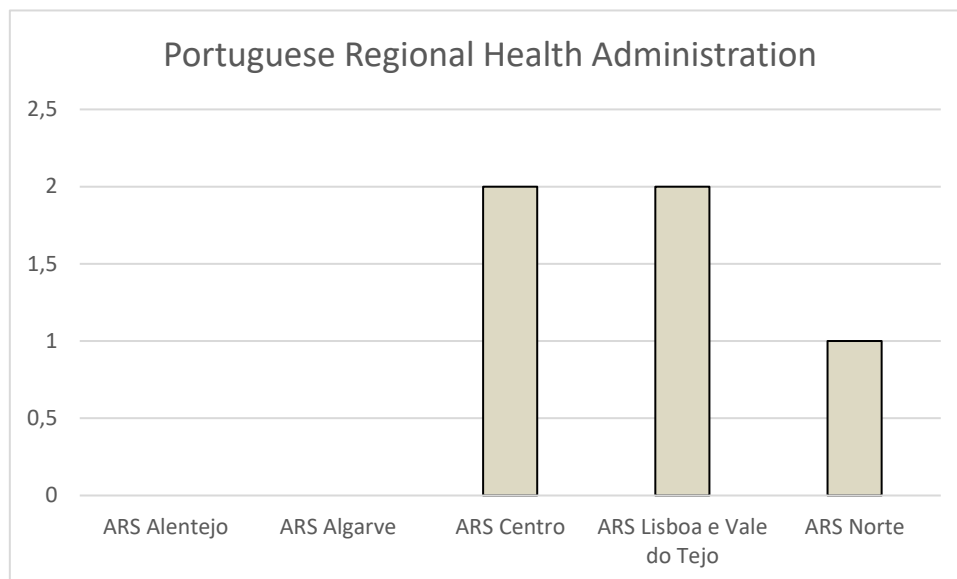


Figure 3 - Interviews by Country

In Figure 4 the number of interviews conducted by the Regional Health Administration is described.



*Figure 4 - Interviews by Regional Health Administration*

The interview's script are presented in Appendix C. They were guided bearing in mind the five steps in hospital-acquired infections management: prevention, diagnostic, confirmation of diagnostic, treatment and follow-up.

The objective of this study was to procure empirical insights into the practical implementation and perceptions of artificial intelligence instruments within clinical contexts. To ensure consistency and reliability across interviews, a standardized interview script was developed. This script was included in a Word document (Appendix A) and it contained an introductory part to each step in hospital-acquired infections management and closed-ended questions designed to elicit quantifiable data. To enhance clarity and engagement during the interviews, a PowerPoint presentation (Appendix D) was developed to visually orient participants through the interview structure and topics.

The interview questions were structured according to five critical stages of hospital-acquired infection management (prevention, diagnosis, diagnosis confirmation, therapeutic choice and follow-up), with the objective of understanding how artificial intelligence is perceived and applied at each phase. Each question was designed to explore both the potential benefits of AI and the challenges faced in real-world clinical settings, drawing from themes identified in the literature.

For the prevention stage, the question focused on identifying the biggest challenges in using AI to prevent infections in hospitals, such as data quality and implementation barriers, while considering benefits like workload reduction and antimicrobial resistance detection. This question aimed to understand the practical limitations professionals experience when applying predictive tools in infection control.

At the diagnosis stage, the question explored how AI can enhance the accuracy and efficiency of detecting HAIs, while also prompting participants to reflect on integration difficulties, including ethical concerns and clinical adoption barriers. This was designed to capture both optimism and skepticism surrounding AI in diagnostic workflows.

The diagnosis confirmation question aimed to examine how AI could improve laboratory test interpretation, focusing on the optimization of workflows and cellular-level analysis, while acknowledging challenges like calibration and reliability. The goal was to assess trust and confidence in AI's performance in precise, technical tasks.

For the therapeutic choice phase, the question was formulated to investigate how AI can assist in personalizing treatments and optimizing antibiotic use, while addressing regulatory, data quality and standardization issues. This was particularly important to understand how AI might support, rather than replace, clinical decision-making.

Finally, the follow-up question explored how AI could help predict long-term patient outcomes, especially in complex cases, offering insight into how professionals envision AI contributing to continuity of care and treatment response prediction. This holistic view helped identify both current use cases and aspirations for future AI integration.

Overall, the questions were constructed to promote reflection, encourage practical insights and allow comparison across institutions and professional roles regarding AI's implementation in the HAI context.

## 4. RESULTS

### 4.2. Narrative Review

#### 4.2.1. Effectiveness

The narrative review highlights the growing body of evidence supporting the effectiveness of artificial intelligence in enhancing the management of hospital-acquired infections across all five stages of care.

In the prevention phase, AI and machine learning have demonstrated substantial potential in determining the risks of infection, identifying resistance to antibiotics and supporting infection control strategies. AI-driven surveillance models can reduce the workload of infection control professionals by automating routine tasks and integrating structured and unstructured data, thereby enhancing the sensitivity and accuracy of infection monitoring. When aligned with manual oversight, such semi-automated systems offer a promising balance between efficiency and quality control. Although current applications of robotics and smart environments in infection prevention remain limited, AI's contribution to targeted prevention through data analysis and risk prediction is becoming increasingly recognized as effective<sup>55,56,57</sup>.

During the suspected diagnosis stage, AI models have shown strong performance in early infection detection, disease progression prediction and medical image analysis. Studies suggest that AI systems can outperform human clinicians in certain diagnostic tasks by increasing the accuracy and speed of infection detection. These tools have the potential to facilitate timely interventions, particularly when used to support rather than replace human expertise. Although ethical concerns and trust issues remain, the ability of AI to process large volumes of clinical data rapidly has proven effective in identifying patients at risk of HAIs<sup>58</sup>.

In the diagnostic confirmation phase, AI-powered systems, particularly those combining laboratory tests with machine learning algorithms like XGBoost and deep neural networks, have shown excellent accuracy in confirming infections. These models can effectively interpret routine lab data to detect unknown conditions, offering a low-cost and scalable solution for early and accurate infection diagnosis. Furthermore, AI's use in infectious disease imaging (enhanced during the COVID-19 pandemic) demonstrated its clinical utility in real-time

analysis and decision support. While model fine-tuning remains necessary, AI has effectively enhanced laboratory workflows and diagnostic precision<sup>36,59,60</sup>.

Regarding therapeutic choice, AI-driven decision support systems have shown potential in optimizing treatment selection, particularly through personalized antibiotic therapy and antimicrobial stewardship. Machine learning algorithms can assist in choosing effective treatment regimens while minimizing unnecessary antibiotic use, which is crucial in combatting resistance. Studies point to AI as an affordable and scalable solution for improving treatment strategies, especially in resource-constrained settings. When fully integrated, AI has the potential to harmonize clinical practices and ensure more consistent therapeutic decision-making, ultimately improving patient outcomes<sup>36,61</sup>.

In the follow-up phase, AI models have proven highly effective in predicting treatment outcomes and patient responses. ML algorithms that incorporate variables such as age, comorbidities, organ function, and treatment plans have achieved very high predictive accuracy (AUC > 0.9977). These models support clinicians in monitoring recovery trajectories and adjusting care plans, contributing to better long-term management and prevention of recurrence<sup>62</sup>.

#### **4.2.2. Challenges**

The narrative review of literature highlights several challenges to the effective implementation of artificial intelligence across the five stages of hospital-acquired infection management.

AI and machine learning have shown promise in enhancing prevention by predicting infection risks, detecting antimicrobial resistance and supporting surveillance efforts. However, significant challenges persist. These include data quality issues, lack of model generalizability and the need for large-scale benchmarking. Integrating AI into infection control strategies and hospital infrastructure is crucial but not yet widely achieved.

Additionally, although AI-based surveillance systems can reduce the time burden on infection control professionals and improve sensitivity, data variability across providers, limited access to AI technologies and implementation barriers hinder widespread adoption. Moreover, research on smart environments and robotics for infection prevention is still limited

or outdated and there is insufficient focus on healthcare workers' training and involvement in the design and usage of these technologies.

AI models have demonstrated strong performance in infection detection and medical image analysis. However, concerns remain regarding ethical implications, job displacement and overreliance on AI at the expense of staff roles. There are also issues of trust among healthcare professionals due to model reliability concerns. Improving accuracy, training quality and integration with clinical workflows is still needed. The development of federated learning models has been proposed to address data-sharing limitations and improve early detection without centralizing sensitive data.

AI applications, particularly those using laboratory data and imaging, are expanding in diagnostic confirmation. Models such as XGBoost and deep neural networks have proven effective in predicting infections using routine tests like complete blood counts. Despite these advancements, further efforts are needed to ensure that AI tools are generalizable, explainable and unbiased, particularly as they are increasingly used in patient care. There is also a need to fine-tune models developed during the COVID-19 pandemic for broader applicability in standard clinical settings.

AI can support therapeutic decision-making through better prediction and personalization. However, integration faces obstacles, including the lack of regulatory frameworks, inconsistent development across institutions and variable data quality. There is also a call for greater global coordination in using AI for bio-surveillance and infection management. The need to define the roles of AI and human professionals remains pressing, particularly to preserve ethical standards and human empathy in care. Despite the potential for automated diagnostics, interdisciplinary collaboration is still insufficient, and clear guidelines are needed to define responsibilities in AI-assisted decision-making.

In the follow-up phase, the literature focuses primarily on model development and technical performance, with limited discussion on real-world implementation, long-term monitoring or integration into routine care.

### **4.3. Interviews from professionals in the field**

The interviews with healthcare professionals provided valuable insights into the perceived benefits, challenges and future potential of applying artificial intelligence in the management of hospital-acquired infections. Overall, professionals recognized the growing relevance of AI across infection management.

They acknowledged AI's potential to enhance infection prevention through predictive surveillance systems capable of detecting antimicrobial resistance and optimizing control strategies. However, professionals also emphasized key barriers, particularly the limited awareness and training among staff and concerns related to data quality and the generalizability of AI models.

In the diagnostic phase, interviewees highlighted how AI could improve the speed and accuracy of infection detection, yet they remained cautious due to ethical concerns, fears of job displacement and insufficient integration with clinical workflows.

Regarding diagnostic confirmation, professionals noted that AI-enhanced laboratory tools and imaging technologies could be valuable but stressed the need for further refinement and validation in real-world settings. In the treatment selection phase, AI was seen as a promising tool for personalizing antibiotic therapies and reducing misuse; nonetheless, challenges such as regulatory compliance, lack of standardization across institutions and unclear delineation between AI's role and that of clinicians were frequently mentioned.

Finally, in terms of follow-up and outcome prediction, professionals expressed optimism about AI's ability to forecast treatment responses and support long-term care planning, particularly for patients with complex health profiles.

Despite the consensus on AI's potential, interviewees consistently emphasized the importance of interdisciplinary collaboration, trustworthy data sources, proper training and regulatory clarity as critical enablers for successful AI integration into clinical practice.

## **5. RESULTS ANALYSIS**

The integration of artificial intelligence in the management of hospital-acquired infections reveals a convergence between literature expectations and practical insights from healthcare professionals, though key implementation challenges remain across all stages of HAI management.

### **5.1 Prevention**

Literature highlights AI's role in early detection of antimicrobial resistance, optimization of infection control strategies and reduction of staff workload<sup>36,57</sup>. These potential benefits were largely echoed by healthcare professionals, who emphasized the ability of AI to identify high-risk patients upon admission and support epidemiological surveillance. However, professionals underscored the current fragmentation of hospital IT systems and a lack of structured, interoperable data as major barriers. Although automated tools and mobile applications were viewed as valuable for enhancing preventive protocols, many noted that AI solutions remain poorly integrated into clinical workflows due to institutional inertia and limited digital infrastructure, particularly in lower-resourced settings.

### **5.2 Suspected Diagnosis**

Literature stresses AI's capacity for improving diagnostic accuracy and efficiency (especially through imaging and pattern recognition<sup>60</sup>) while cautioning against ethical and workflow integration issues. Interviewed professionals aligned with these findings, acknowledging that AI can expedite suspected diagnoses and reduce human error. Nevertheless, there was a clear concern about over-reliance on algorithmic outputs and the potential marginalization of clinical reasoning. Participants insisted that AI should function as a complementary tool rather than a substitute for clinical judgment, emphasizing that medicine is not purely statistical but requires nuanced human interpretation.

### **5.3 Diagnosis Confirmation**

Literature positions AI to enhance laboratory workflows and identify infection-related cellular structures with greater precision, albeit with concerns about calibration and reliability<sup>60</sup>. Professionals validated this potential, citing the usefulness of AI in processing clinical and microbiological data to strengthen diagnostic accuracy. However, they emphasized that current hospital systems often lack the digital maturity needed to support real-time integration of AI tools. Trust in AI was contingent on proper validation, transparency and the presence of informatics professionals to ensure data quality and interpretability. Furthermore, they warned that AI systems could overlook patient-specific factors if used without appropriate clinical context.

### **5.4 Therapeutic Choice**

AI's potential for supporting personalized treatment choices, optimizing antibiotic regimens and reducing misuse is well-documented in the literature<sup>61</sup>. Professionals expressed alignment with these advantages, particularly in relation to antibiotic stewardship and context-aware decision-making. However, they flagged significant uncertainty about regulatory frameworks and how AI recommendations would fit into existing clinical responsibilities. There were concerns about legal liability and autonomy if AI were to dictate therapeutic pathways. The reliability of AI outputs was also questioned, especially when based on retrospective data. For AI to be a trustworthy tool in therapeutic decision-making, professionals emphasized the necessity of prospective trials, robust data governance and transparent algorithmic processes.

### **5.5 Follow-Up**

Although the literature on AI's role in follow-up care is more limited, it recognizes AI's ability to predict outcomes and stratify patient risk<sup>62</sup>. Professionals expanded on this by highlighting the benefits of real-time monitoring via smart devices and the potential of AI to enhance post-discharge care and ambulatory follow-up. Nevertheless, they noted that AI still lacks the sensitivity to interpret subtle clinical cues and patient-specific nuances. Integration challenges were also prevalent in this stage, particularly around incorporating AI into existing

discharge protocols and outpatient systems. Professionals maintained that AI should support, not supplant, clinical oversight, particularly in patients with multiple comorbidities.

<b>Steps in HAI management</b>	<b>Literature findings</b>	<b>Comments from professionals in the field</b>	<b>Main References</b>
Prevention	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detection of antimicrobial resistance</li> <li>- Optimization of infection control strategies</li> <li>- Reduction of workload</li> <li>- Data quality issues</li> <li>- Barriers to implementation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agreed on AI's potential to assist in early identification of infection risks</li> <li>- Emphasized current lack of integration with hospital protocols</li> <li>- Noted that limited IT infrastructure hinders AI adoption</li> </ul>	<p>dos Santos et al., 2021</p> <p>Piaggio et al., 2023</p> <p>Kavanagh, 2023</p>
Suspected Diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI for disease detection and image analysis</li> <li>- Improved diagnostic accuracy and efficiency</li> <li>- Risk of job displacement</li> <li>- Ethical concerns</li> <li>- Difficulty integrating into clinical workflows</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Highlighted improved diagnostic speed with AI support</li> <li>- Some concern about over-reliance on algorithms</li> <li>- Pointed out the need for AI to support—not replace—clinical judgment</li> </ul>	<p>Kumar et al., 2023</p> <p>Baddal et al., 2024</p>
Diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimization of lab workflows</li> <li>- Improved accuracy in identifying infection-related cellular structures</li> <li>- Calibration requirements</li> <li>- Reliability concerns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confirmed that AI tools can assist in lab result interpretation</li> <li>- Mentioned concerns about variability in performance across settings</li> <li>- Suggested validation and continuous monitoring are needed</li> </ul>	<p>Cardozo et al., 2022</p> <p>Chu et al., 2023</p> <p>Agrebi &amp; Larbi, 2020</p>
Therapeutic Choice	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Personalization of antibiotic regimens</li> <li>- Strategy optimization</li> <li>- Reduced unnecessary antibiotic use</li> <li>- Regulatory hurdles</li> <li>- Lack of standardization</li> <li>- Dependence on high-quality data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expressed interest in AI for antibiotic stewardship</li> <li>- Cited uncertainty over regulatory approval for AI tools</li> <li>- Noted difficulties in aligning AI recommendations with clinical pathways</li> </ul>	<p>Varpio et al., 2015</p> <p>Cardozo et al., 2022</p>
Follow-Up	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Predictive models for patient outcomes</li> <li>- High accuracy in forecasting treatment response</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Professionals saw value in AI for risk stratification and readmission prediction</li> <li>- Raised concerns about how to integrate AI models into discharge and monitoring systems</li> </ul>	<p>Miotto et al., 2016</p>

*Table 2 - Comparison between literature findings and comments from professionals*

## **5.6. Hospital-acquired infections and Artificial Intelligence**

### **5.6.1. Prevention**

Healthcare professionals identified several opportunities and challenges regarding the integration of artificial intelligence in the prevention stage of hospital-acquired infections.

#### **5.6.1.1. Opportunities and Potential Benefits**

AI was seen as a valuable tool to support early risk identification upon patient admission, through the automation of criteria evaluation that classifies patients as high or low risk for acquiring infections. Participants emphasized the usefulness of AI in analyzing epidemiological history and supporting epidemiological surveillance by providing better data management, including information on antimicrobial resistance patterns, infection rates and systematic documentation of prevention practices.

Several interviewees also pointed out that AI could optimize human resource allocation by triggering specific preventive actions based on predefined risk criteria. This could be facilitated by the development of automated programs and mobile applications capable of recording and processing precise and structured data. Moreover, AI tools could assist in identifying patients at higher risk and contribute to intervention closure by tracking compliance with preventive measures.

#### **5.6.1.2. Challenges and Limitations**

Despite the potential, numerous challenges were mentioned. A major concern is the lack of well-structured and high-quality clinical data, which is essential for effective AI performance. Many healthcare settings still rely on manual data collection systems, making the implementation of real-time, data-driven interventions difficult.

The development and deployment of AI tools were also seen as time-consuming and costly, with technical dependencies on IT infrastructures and individual institutional interest playing a role. Additionally, the absence of standardized, commercial tools for data extraction and the lack of interoperability between different systems were seen as major bottlenecks.

Other highlighted barriers included disparities in healthcare infrastructure between countries (which can impact data availability and quality), insufficient education on AI among those in management positions and the need for adherence to ethical frameworks such as fair data principles to ensure responsible and secure use of data.

## **5.6.2. Suspected Diagnosis**

The application of artificial intelligence in the diagnostic phase of hospital-acquired infections was widely discussed by the healthcare professionals interviewed. Overall, AI was recognized as a supportive tool that can enhance the speed, accuracy and efficiency of diagnostic processes, although skepticism and certain limitations remain prevalent.

### **5.6.2.1. Opportunities and Potential Benefits**

One of the most emphasized advantages of AI in this phase is its ability to accelerate the identification of infections, particularly through the analysis of patient history and previous laboratory results. AI was also considered an effective tool for supporting clinical decision-making by providing data-driven suggestions and prioritizing potential diagnoses based on patterns in patient symptoms and laboratory data.

Some professionals highlighted that AI could significantly reduce human error, improve the efficiency of epidemiological surveillance and enable better resource allocation, especially in contexts where there is a shortage of human resources. For instance, AI could assist in monitoring infection trends (such as the number of pneumonia cases each year) and generate real-time alerts.

Other noted benefits include the use of bots for integration with microbiological laboratories and the use of image recognition to identify bacterial agents. AI also allows for cross-referencing of clinical data, improving the precision of screenings and lab results.

Several participants underlined the importance of integrating AI into existing clinical workflows, thus enhancing the productivity of medical professionals without replacing their roles. According to them, AI could offer probabilistic assessments of diagnoses based on symptoms (e.g., "patient with X symptoms has Y% probability of having a particular infection"), improving clinical decision support systems.

### **5.6.2.2.Challenges and Limitations**

Despite the potential advantages, professionals expressed skepticism and concern regarding the role of AI in medical diagnostics. A key limitation discussed was that medicine is not purely mathematical. AI cannot replace the clinical judgment of doctors, particularly when it comes to interpreting patient complaints, understanding symptom gravity and engaging in real-time questioning during consultations.

Participants also warned against overreliance on statistical outcomes, stressing that clinical validation by physicians is essential. Additionally, AI systems require large, high-quality training datasets to achieve accuracy, which can be difficult to obtain in many clinical settings.

Another concern was the lack of trust among clinicians, partly due to insufficient information and training regarding the capabilities and limitations of AI. Many highlighted the importance of education and management engagement to ensure the successful adoption of AI tools.

Data protection was also noted as a non-negotiable requirement. Although there was consensus that AI does not raise ethical dilemmas in itself, since it falls under the broader umbrella of healthcare informatics, robust data governance and privacy measures must be in place.

### **5.6.3. Diagnostic Confirmation**

In the diagnostic confirmation stage, healthcare professionals acknowledged that artificial intelligence has the potential to increase diagnostic accuracy and reduce medical errors by supporting the integration and interpretation of clinical and microbiological data. Nonetheless, they stressed the importance of careful implementation and the need to maintain the clinical autonomy of healthcare providers.

#### **5.6.3.1.Opportunities and Potential Benefits**

AI was seen as an asset in the integration of algorithms capable of processing large volumes of clinical data to confirm infectious disease diagnoses. Professionals emphasized that AI could

assist in compiling catalogues and diagnostic guides based on defined syndromes, supporting the selection of the most likely diagnoses while cross-referencing patient information.

Participants noted that AI could also improve diagnostic workflows by accelerating the process of establishing a diagnosis, particularly by combining clinical and microbiological information to generate more precise alerts related to specific infections. The application of molecular methodologies, paired with AI tools, was highlighted to enhance diagnostic clarity and efficiency.

Moreover, the integration of AI in data treatment and alternative diagnostic solutions could address existing bottlenecks, such as the lack of informatics professionals needed to manage and interpret complex data sets. Professionals also acknowledged the statistical potential of AI to validate the effectiveness of diagnostic systems, helping to ensure consistency, traceability and regulatory compliance.

Several interviewees also mentioned AI-based applications that are already capable of analyzing laboratory test results, contributing to more efficient decision-making and better identification of infection patterns. These tools can enhance diagnostic accuracy, provided that the technology is integrated with clinical insight and not used in isolation.

#### **5.6.3.2. Challenges and Limitations**

Despite the benefits, healthcare professionals cautioned against overdependence on AI-generated clues, warning that AI works within a statistical context and should not override a physician's clinical judgment. They stressed that diagnostic confirmation requires a holistic understanding of the patient and should not be reduced to pattern matching alone.

A major limitation identified was the technological gap in current hospital systems, many of which still rely on outdated infrastructure. Participants emphasized the need to migrate from 20th-century technology to fast, integrated digital systems capable of supporting modern diagnostic workflows.

Furthermore, the lack of well-trained informatics professionals was seen as a barrier to successful AI implementation, particularly in the areas of data curation and system adaptation. There was also concern about the risk of bias or loss of clinical nuance when relying solely on

data-driven approaches, particularly if AI systems are used without contextual understanding of patient-specific factors.

Professionals called for a more integrated association between AI and the clinical process, in which technology serves to enhance, rather than replace, human expertise.

#### **5.6.4. Therapeutic Choice**

In the treatment decision-making process, healthcare professionals identified artificial intelligence as a valuable tool to support individualized, efficient and evidence-based choices. However, concerns regarding clinical responsibility, regulation and integration into institutional protocols were also raised.

##### **5.6.4.1. Opportunities and Potential Benefits**

AI was regarded as particularly beneficial for its ability to integrate patient-specific information and provide personalized treatment suggestions, considering factors such as local antimicrobial availability (e.g., differences between countries like Portugal and the United States), resistance patterns and patient comorbidities. By embedding clinical protocols and contextual parameters, AI could optimize the selection of effective therapies and reduce unnecessary variations in care.

Professionals highlighted that AI could enhance compliance with guidelines, facilitate faster and more efficient treatment decisions and support the rational use of antibiotics (a crucial factor in combating antimicrobial resistance). AI tools were also recognized for their potential in managing secondary effects, suggesting treatments based on a more holistic view of the patient rather than just the primary infection.

Furthermore, AI's ability to analyze historical data and identify treatment patterns was perceived as a strong foundation for evidence-based decision-making. Interviewees noted that decision support systems could improve outcomes if trained with high-quality data and implemented with transparency and clinical validation.

The integration of AI in the clinical decision-making process was also seen to free up physicians' time, allowing them to focus on more complex aspects of patient care while relying on technology for protocol adherence and treatment optimization.

#### **5.6.4.2.Challenges and Limitations**

Despite these advantages, professionals expressed concerns regarding regulatory delays and the lack of clear frameworks for the use of AI tools classified as medical devices. The slow pace of regulation was considered a bottleneck, particularly regarding safety, validation and clinician training for these tools.

There was also uncertainty about how AI-generated treatment suggestions should be managed within institutional structures. For example, while doctors are expected to follow predefined protocols, the implementation of AI systems that automatically select those protocols raises questions about responsibility and clinical autonomy.

Another critical challenge mentioned was the need for good-quality data and standardized records. Professionals emphasized that AI must operate within a system where patient data is properly structured and regularly updated. Inaccurate or incomplete data could lead to inappropriate treatment suggestions and undermine trust in the system.

Finally, participants pointed out that most AI-based treatment systems currently operate retroactively, analyzing past data rather than making prospective decisions in real time. To gain the trust of healthcare professionals, it will be essential to demonstrate the clinical value of AI through prospective trials and measurable improvements in outcomes.

#### **5.6.5. Follow-Up**

The role of artificial intelligence in the follow-up of hospital-acquired infections was described by healthcare professionals as potentially transformative, especially in enabling continuous monitoring and post-treatment evaluation. Nevertheless, its effectiveness depends on appropriate integration with clinical oversight and personalized care.

### **5.6.5.1. Opportunities and Potential Benefits**

AI was recognized as a promising tool for supporting a holistic and continuous evaluation of patient outcomes after the initial treatment of HAIs. Professionals emphasized the value of remote monitoring technologies, such as smart devices or wearables, that could collect and transmit patient data in real time. These tools could help reduce hospital stays by allowing patients to be safely monitored at home, ultimately improving quality of care and reducing costs.

AI systems could assist in tracking clinical outcomes, identifying whether a patient is responding fully, partially or not at all to treatment. This would facilitate more timely interventions, reduce complications and promote better case management, especially in patients with multiple comorbidities or complex conditions. Additionally, AI could contribute to the definition of follow-up criteria, standardizing outcome evaluation and supporting ambulatory care decisions.

Some professionals also pointed to the potential of AI in managing longitudinal data, such as maintaining clinical diaries or integrating with existing systems like ICD-10 codes. This could support more consistent follow-up protocols and enhance epidemiological insights.

### **5.6.5.2. Challenges and Limitations**

Despite the benefits, professionals noted several challenges. One of the most cited limitations was that AI, as it currently stands, cannot assess nuanced clinical indicators, such as a patient's general status, the interpretation of physical examinations (e.g., abdominal palpation) or the subtleties of clinical perception. These elements still require the clinical judgment and intuition of experienced healthcare providers.

There was also concern that AI systems often focus only on the primary diagnosis, overlooking associated pathologies or broader patient needs. To be truly effective, AI tools must support a comprehensive view of the patient, integrating various aspects of health beyond infection status.

The complexity of managing multiple pathologies in outpatient settings was also mentioned as a significant challenge. While AI could aid in the coordination of care, it would require robust data integration and a multidisciplinary approach.

Finally, professionals stressed the importance of protecting patient privacy and ensuring the accuracy and consistency of data used for follow-up analysis. Trust in AI systems will depend not only on their technical performance but also on how they are integrated into everyday clinical practice, with human oversight remaining essential.

## 6. DISCUSSION

### 6.1. RQ1) How efficient are AI-based models in early detection of hospital-acquired infections compared to conventional techniques?

The findings of this study indicate that AI-based models are considerably more efficient than conventional techniques in the early detection of hospital-acquired infections. Unlike traditional methods (which often rely on retrospective analysis, manual evaluation and fragmented data systems), AI systems leverage their ability to rapidly process vast volumes of both structured and unstructured data. This enables real-time risk stratification, early identification of high-risk patients and timely generation of alerts, which collectively support more effective infection control measures and therapeutic interventions.

Drawing parallels with other healthcare domains further underscores AI's potential. In radiology, for example, AI has transformed diagnostic imaging by identifying patterns in medical scans with high speed and precision. A 2019 study by Ardila et al.<sup>64</sup> demonstrated that an AI model achieved 94.4% accuracy in detecting lung cancer from low-dose CT scans, surpassing human radiologists in certain cases. Similarly, in HAI detection, AI models process diverse clinical inputs, including electronic health records, microbiological results and clinical notes, to identify infections at earlier stages. However, unlike radiology, which benefits from standardized imaging formats, HAI detection often involves heterogeneous and unstructured data sources, posing additional integration challenges.

In conclusion, AI-based models exhibit superior efficiency in early HAI detection compared to conventional methods. Their capacity to integrate and analyze complex datasets in real time facilitates earlier diagnosis, improved accuracy and enhanced workflow automation. While challenges remain (particularly related to data heterogeneity), AI's demonstrated success in analogous domains supports its growing role in infection prevention and control.

## **6.2. How can the possible drawbacks and obstacles of incorporating AI into healthcare settings for HAI detection be mitigated?**

Despite the promising capabilities of artificial intelligence in hospital-acquired infection detection, its implementation in healthcare settings faces several challenges. The most frequently cited barriers include poor data quality, lack of interoperability between systems, resistance from healthcare professionals and slow or unclear regulatory processes. These obstacles must be systematically addressed to unlock AI's full potential in enhancing infection prevention and control.

A key strategy is the improvement of data quality and interoperability. AI systems require standardized, high-quality and timely data to function reliably. Investments in robust electronic health record infrastructures, adoption of standardized data formats and implementation of real-time data processing capabilities are essential prerequisites for scalable AI deployment. In parallel, healthcare organizations must prioritize digital transformation, particularly in institutions with lower levels of technological maturity, to ensure readiness for AI integration.

Regulatory frameworks also play a critical role. Clear and efficient guidelines for the validation, approval and monitoring of AI tools (particularly those used for diagnostic and therapeutic purposes) are needed to provide both legal clarity and institutional confidence. Without such frameworks, the adoption of AI tools may remain slow and inconsistent across different health systems.

Another major barrier is resistance from healthcare professionals, often rooted in concerns about autonomy, trust and usability. These concerns can be mitigated through clinician engagement and tailored training programs that emphasize AI's role as a decision-support tool rather than a replacement. Enhancing digital literacy and fostering collaborative workflows can help clinicians interpret AI outputs more effectively and incorporate them into clinical decision-making without undermining professional judgment.

Ethical considerations must also be integrated throughout the development and implementation of AI systems. Ensuring fairness, transparency, accountability and informed patient consent is essential. The use of explainable AI models and continuous feedback loops can promote ethical compliance and foster greater trust among stakeholders.

Finally, implementing pilot programs across diverse healthcare environments can help validate AI tools in real-world settings, ensuring their adaptability to local needs and varying levels of digital maturity. Lessons learned from other domains, such as radiology (where standardized data and close clinician collaboration have facilitated AI success) can inform HAI-specific strategies, while acknowledging the distinct epidemiological and operational challenges of infection control.

In conclusion, while AI holds significant promise in transforming HAI detection and management, its successful integration into healthcare requires comprehensive systemic changes. By addressing infrastructural, regulatory, educational and ethical challenges, healthcare systems can harness AI's full potential to improve patient outcomes and advance infection control in a manner aligned with broader technological advancements in medicine.

Steps in HAI management	Literature findings	Comments from professionals in the field	Discussion/Observations
Prevention	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detection of antimicrobial resistance</li> <li>- Optimization of infection control strategies</li> <li>- Reduction of workload</li> <li>- Data quality issues</li> <li>- Barriers to implementation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agreed on AI's potential to assist in early identification of infection risks</li> <li>- Emphasized current lack of integration with hospital protocols</li> <li>- Noted that limited IT infrastructure hinders AI adoption</li> </ul>	<p>While AI shows clear promise in enhancing early risk detection and surveillance, real-world application is limited by outdated systems, fragmented data and lack of standardized workflows. Strategic investment in IT infrastructure and integration into hospital routines is essential for realizing AI's full preventive potential.</p>
Suspected Diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI for disease detection and image analysis</li> <li>- Improved diagnostic accuracy and efficiency</li> <li>- Risk of job displacement</li> <li>- Ethical concerns</li> <li>- Difficulty integrating into clinical workflows</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Highlighted improved diagnostic speed with AI support</li> <li>- Some concern about over-reliance on algorithms</li> <li>- Pointed out the need for AI to support—not replace—clinical judgment</li> </ul>	<p>AI contributes to faster and more informed diagnosis but must be carefully implemented to preserve clinical autonomy. Trust, transparency and clinician involvement are key to mitigating concerns around ethical use and algorithmic dependence.</p>
Diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimization of lab workflows</li> <li>- Improved accuracy in identifying infection-related cellular structures</li> <li>- Calibration requirements</li> <li>- Reliability concerns</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confirmed that AI tools can assist in lab result interpretation</li> <li>- Mentioned concerns about variability in performance across settings</li> <li>- Suggested validation and continuous monitoring are needed</li> </ul>	<p>Diagnostic AI tools offer tangible benefits for lab efficiency and accuracy but require rigorous validation and local adaptation to avoid inconsistent performance. Ongoing monitoring and clinician feedback loops are essential to maintain trust and effectiveness.</p>
Therapeutic Choice	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Personalization of antibiotic regimens</li> <li>- Strategy optimization</li> <li>- Reduced unnecessary antibiotic use</li> <li>- Regulatory hurdles</li> <li>- Lack of standardization</li> <li>- Dependence on high-quality data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expressed interest in AI for antibiotic stewardship</li> <li>- Cited uncertainty over regulatory approval for AI tools</li> <li>- Noted difficulties in aligning AI recommendations with clinical pathways</li> </ul>	<p>AI holds strong potential for individualized therapy and antimicrobial stewardship, yet its real-world application is hindered by regulatory ambiguity and challenges in embedding recommendations within clinical workflows. Clear guidelines and data standardization are crucial for wider adoption.</p>
Follow-Up	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Predictive models for patient outcomes</li> <li>- High accuracy in forecasting treatment response</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Professionals saw value in AI for risk stratification and readmission prediction</li> <li>- Raised concerns about how to integrate AI models into discharge and monitoring systems</li> </ul>	<p>AI could revolutionize patient follow-up by enabling proactive and remote monitoring, especially for high-risk cases. However, integration into existing discharge procedures and the ability to interpret complex patient trajectories remain barriers requiring tailored solutions and multidisciplinary coordination.</p>

Table 3 – Summarize of the discussion of finding from literature review and professionals' perspectives.

### **6.3. Future Work**

Future studies should prioritize prospective clinical trials to evaluate the real-world effectiveness of AI tools in reducing HAIs. Research should also explore patient perspectives on AI involvement in their care, the impact of AI on clinical decision-making autonomy and strategies to ensure equitable use of AI across diverse healthcare environments.

## 7. CONCLUSION

This thesis aimed to explore the role of artificial intelligence in the early detection and management of hospital-acquired infections, guided by two central research questions: the efficiency of AI-based models compared to conventional methods and the mitigation of challenges associated with AI adoption in healthcare settings.

The findings demonstrate that AI-based models hold significant promise in enhancing the early detection of HAIs, primarily through their capacity to process and analyze complex, multidimensional data in real time. Compared to traditional surveillance and diagnostic techniques, AI offers notable advantages in speed, precision and predictive power. These capabilities have the potential to improve patient outcomes, reduce infection spread and support more proactive infection control practices.

However, the effectiveness of these models in practice is highly dependent on contextual factors such as data quality, digital infrastructure, clinical workflow integration and institutional readiness. Through interviews with healthcare professionals, this research revealed that while AI is viewed as a valuable tool, its integration is often hindered by barriers including limited digital maturity, staff resistance, regulatory uncertainty and ethical concerns.

To address these challenges, several mitigation strategies were identified. These include investing in robust data infrastructure, fostering interdisciplinary collaboration, improving clinician education on AI tools, establishing clear regulatory pathways and conducting prospective validation studies. Collectively, these efforts are necessary to ensure that AI tools not only function effectively but are also trusted, ethical and aligned with clinical needs.

This research contributes to the growing body of evidence on the intersection of AI and infection prevention, highlighting both the transformative potential of AI in healthcare and the complex realities of its implementation. While AI is not a standalone solution, when embedded in a supportive ecosystem, it can be a powerful enabler of safer, more efficient healthcare.

## 8. APPENDIX

### APPENDIX A – Interview Script

I'm Mariana and I'm taking my master's in business at Católica Lisbon School of Business and Economics. Thank you for taking the time to meet with me today and for your contribution.

As part of my thesis, A Narrative Review of AI in Hospital-Acquired Infections, I'm exploring the role of AI in improving the management of HAIs. As we know, AI refers to the simulation of human intelligence processed by machines, especially computer systems. These include machine learning (where systems learn from data to make predictions or decisions), natural language processing (for understanding and generating human language), and deep learning (focused on neural networks for tasks like image recognition).

In healthcare, AI systems range from specialized tools—such as software specifically designed to predict infection risks or analyze lab data—to general-purpose AI platforms which can assist in broader tasks such as data interpretation, generating reports, or brainstorming strategies. In this interview, I'll explore your experiences with AI and how they contribute to prevention, diagnosis, therapeutic decision-making, and follow-up in the management of HAIs. I will share with you a basic Powerpoint to help guiding the interview.

Let's begin with prevention. Preventing hospital-acquired infections is a crucial first step in managing HAIs, and AI is increasingly being used to predict and mitigate infection risks. AI-driven surveillance models can help detect antimicrobial resistance and optimize infection control strategies, reducing the workload of infection control professionals. However, challenges such as data quality, generalizability, and implementation barriers persist. Additionally, while automation and robotics have potential in infection prevention control, current research remains limited, with a lack of focus on healthcare workers' awareness and training regarding these technologies. In your opinion, what are the biggest challenges in using AI for infection prevention in hospitals, and how can they be addressed?

Next, we'll move on to diagnosis. Accurately identifying infections as early as possible is essential for effective treatment. AI has shown promise in improving diagnostic processes, from analyzing genomic data to using machine learning algorithms for symptom screening. AI models have shown potential in improving the accuracy and efficiency of diagnosing various conditions, including hospital-acquired infections. However, challenges such as job displacement concerns, ethical dilemmas, and AI's integration with clinical practices persist. Despite its promising capabilities, healthcare professionals remain cautious about fully trusting AI, necessitating further research to refine these models and ensure collaboration between AI systems and clinicians. How do you think AI can improve the accuracy and efficiency of identifying hospital-acquired infections in clinical settings, and what challenges do you foresee in integrating AI-driven models with existing infection control practices?

Once a potential infection is detected, confirming the diagnosis is a critical step. AI-powered tools, especially in image analysis, are now being used to enhance laboratory workflows and improve accuracy in identifying infection-related cellular structures. Recent studies have explored the use of laboratory tests combined with machine learning techniques in diagnosing hospital-acquired infections and identifying unknown health conditions. Additionally, AI's role in infectious disease imaging, particularly during the COVID-19 pandemic, has opened new pathways for more robust and generalizable models, though challenges remain regarding their fine-tuning and reliability. How can AI be improved to more accurately diagnose hospital-acquired infections using laboratory tests in real healthcare settings?

After an infection is diagnosed, selecting the most appropriate treatment is vital. AI-powered decision support systems can assist in personalizing antibiotic therapy and optimizing treatment strategies. Additionally, machine learning models are helping reduce unnecessary antibiotic use. However, the full integration of AI into healthcare systems presents a number of challenges, including regulatory concerns, harmonizing approaches across institutions, ensuring high-quality data input, and defining the appropriate roles for AI and healthcare professionals. Despite these challenges, the potential for AI to revolutionize healthcare is clear, particularly in developing personalized approaches for infection management and creating integrated diagnostic platforms. Moving forward, interdisciplinary cooperation and data sharing are essential for realizing the full benefits of AI in healthcare. How can AI be effectively integrated into therapeutic decision-making for hospital-acquired infections,

ensuring that it complements clinical expertise while addressing challenges related to data quality, regulation, and personalization of treatment strategies?

Finally, let's talk about follow-up. Once treatment begins, monitoring patient responses and predicting treatment outcomes are key to ensuring recovery. AI models are increasingly being used to predict how patients will respond to treatments based on clinical factors. Artificial intelligence and machine learning are transforming healthcare by providing models that predict patients' responses to treatment. These algorithms consider factors such as age, chronic conditions, organ failure, and treatment plans, achieving impressive accuracy. Given these advancements, how do you think AI could enhance follow-up care strategies, especially in predicting long-term outcomes for patients with complex conditions?

Thank you for your time and for sharing your insights and experiences today.

## **APPENDIX B – Interview Invitation sent via e-mail**

*Dear (Professional name),*

*My name is Mariana Pereira da Graça, and I am currently pursuing my master's degree in business at Católica Lisbon School of Business and Economics. I am writing to invite you to participate in a zoom interview as part of my master's thesis research titled "A Narrative Review of AI in Hospital-Acquired Infections."*

*This study seeks to address the challenges and goals of resorting to artificial intelligence for the early detection of HAIs, with the purpose of improving patient safety and healthcare outcomes. The interview aims to validate the research findings and gather comprehensive insights from professionals in the field. Your expertise and experience would be invaluable in achieving this objective.*

*The zoom interview will take approximately 30 minutes and I am flexible with scheduling to accommodate your availability. Your participation in this interview will not only contribute significantly to my research but also help in advancing the understanding and application of AI in healthcare settings. I believe that your insights will be crucial in shaping the final outcomes of this study.*

*Please let me know if you are willing to participate and if you have any preferences or constraints regarding the dates for the interview.*

*Thank you for considering this invitation. I look forward to your positive response and to the opportunity of working together.*

*Yours sincerely,*

*Mariana Pereira da Graça*



## APPENDIX C – Interview Scripts

### APPENDIX C.1. – Interview with Nurse Anabela Salgado Serra

**Mariana Graça** - Olá, boa tarde. Consegue me ouvir?

**Anabela Serra** - Olá. Também me ouviu a mim?

**Mariana Graça** - Sim, sim, já consigo ouvir.

**Anabela Serra** - Deixa-me cá ligar. Boa tarde. Eu acabei de chegar a casa.

**Mariana Graça** - Ok. Boa tarde, Anabela. Obrigada pela disponibilidade e interesse em participar na entrevista que vai contribuir muito para a minha tese. Para guiar aqui a entrevista vou partilhar um PowerPoint que eu fiz para nos guiar.

**Anabela Serra** - Ok.

**Mariana Graça** - Já deve conseguir ver.

**Anabela Serra** - Etapas na gestão das infeções nosocomiais através da inteligência artificial.

**Mariana Graça** - Certo. Então, como eu tinha dito no e-mail, eu chamo-me Mariana e estou a finalizar o mestrado em Business na Católica e como parte da minha tese, que se chama A Systematic Review of AI in Hospital Acquired Infections.

**Anabela Serra** - E é enfermeira?

**Mariana Graça** - Não, estou a tirar o mestrado em Gestão e tenho uma licenciatura em Química, então na escolha da tese fui tentar buscar assim uma que pudesse relacionar parte da ciência com esta parte da gestão.

**Anabela Serra** - Que tivesse alguma ligação à química, não é? Aos produtos químicos?

**Mariana Graça** - Sim, em algumas partes sim. E pronto. Então, encontro-me a explorar o papel da inteligência artificial na melhoria da gestão das infeções adquiridas em hospitais. Bem, como sabemos, a inteligência artificial refere-se à simulação da inteligência humana por máquinas, especialmente sistemas computacionais. Isto inclui o Machine Learning, onde os sistemas aprendem com dados para fazer previsões ou tomar decisões, processamento de linguagem natural para compreender e gerar linguagem humana e aprendizagens mais profundas focadas em redes neurais para tarefas como reconhecimentos de imagens. Na área da saúde, os sistemas de inteligência artificial variam desde ferramentas especializadas, como softwares projetados especificamente para prever riscos de infeção, ou analisar dados laboratoriais, até plataformas de inteligência artificial de uso geral, que podem auxiliar em tarefas mais amplas, como interpretação de dados, gerar relatórios ou desenvolvimento de estratégias. Nesta entrevista, tenciono explorar o seu conhecimento sobre a inteligência artificial, que não precisa de ser muito, porque também estamos aqui numa fase muito inicial nesta área, mas mais para ver como é que acha que pode contribuir para a prevenção, o diagnóstico, a escolha terapêutica e o acompanhamento na gestão das infeções hospitalares. Então, vamos aqui começar pela prevenção. Prevenir infeções hospitalares é um primeiro passo essencial para a sua gestão e a inteligência artificial tem sido cada vez mais utilizada para prever e mitigar riscos de infeção. Modelos de vigilância baseados em inteligência artificial podem ajudar na deteção de resistência antimicrobiana e na otimização das estratégias de controlo da infeção, reduzindo a carga de trabalho dos profissionais. No entanto, desafios como qualidade dos dados e barreiras de implementação ainda persistem. Além disso, embora a automação e a robótica tenham potencial no controlo da prevenção de infeções, as pesquisas atuais ainda são limitadas com pouca ênfase na conscientização e no treinamento dos profissionais de saúde em relação a estas tecnologias. Na sua opinião, quais é que são os maiores desafios no uso de inteligência artificial para a prevenção de infeções hospitalares e como é que acha que podem ser superados?

**Anabela Serra** - Olhe, do conhecimento que tenho, e eu trabalho ao lado mesmo da Unidade Local de Prevenção de Infeções, portanto que é do Programa de Prevenção e Controlo da Infeção e Resistência aos Antimicrobianos, eles diariamente fazem a vigilância epidemiológica e fazem manualmente, ou seja, há uma pessoa que vai ver ao ficheiro do laboratório, de todos os internados, portanto é uma quantidade de trabalho que ainda ocupa um certo número de tempo, que se isso fosse automatizado, não é? Escusava-se de estar uma pessoa alocada àquele serviço

e automaticamente, havendo parametrização e sabendo o caminho onde ir buscar, é muito importante o registo dos dados estarem certos, no local certo, porque muitas vezes nós sabemos que, em todos os grupos de profissionais, há sempre pessoas que não cumprem com o registo no sítio certo, para que consigamos obter determinados indicadores e determinados dados. Isso era muito bom, porque otimizava os recursos humanos que são tão escassos, não é? Eu penso que assim, facilmente. E depois por aí, com certeza que, tendo essa parte, imediatamente na outra de atuação, se calhar também, havia logo benefícios, no sentido em que, havendo determinados critérios, determinada ação era logo gerada. Poderia haver benefícios também na identificação e na implementação precoce de determinadas medidas, não é? Não sei, é a pensar alto.

**Mariana Graça** - Sim, sim, claro, é mesmo isso que nós estamos à procura.

**Anabela Serra** - Mas na realidade os dados são muito importantes, como diz aqui nos desafios, e isso depende muito das pessoas, infelizmente. Agora, também, uma maneira de ultrapassar é ter programas e aplicações automatizadas, não é? Em que, obrigatoriamente, não se faz determinado procedimento, sem fazer aquele clique, sem dar aquela informação e não se anda para a frente. Então, aí as pessoas serão obrigadas a registar mesmo aquela informação que quer precisa.

**Mariana Graça** - Muito bem, então aqui da parte da prevenção, está ótimo, vamos passar então para o diagnóstico. Identificar infeções com precisão e o mais cedo possível é essencial para um tratamento eficaz e a inteligência artificial tem mostrado potencial para aprimorar os processos de diagnóstico, desde a análise de dados genéticos até ao uso de algoritmos de Machine Learning para a triagem de sintomas. Os modelos de inteligência artificial demonstram potencial para melhorar a precisão e eficiência do diagnóstico de diversas condições, incluindo de infeções hospitalares. No entanto, desafios como preocupações com a substituição de empregos, dilemas éticos e integração da inteligência artificial nas práticas clínicas ainda persistem. Apesar das suas capacidades promissoras, os profissionais de saúde permanecem cautelosos em confiar totalmente na inteligência artificial, o que torna essencial a realização de mais pesquisas para aprimorar esses modelos e garantir uma colaboração eficaz entre os sistemas de inteligência artificial e os médicos. Como é que acha que a inteligência artificial pode melhorar a precisão e a eficiência na identificação de infeções hospitalares em ambientes clínicos e quais são os desafios que prevê na integração destes modelos, tendo em conta as práticas atuais do controlo de infeção?

**Anabela Serra** - Isto é a continuação da pergunta anterior. Eu acho que é muito importante e pode melhorar a precisão e eficiência, porque desde que haja, se nós tivermos aplicações onde se registem, temos o SCLínico, no caso da saúde, onde os médicos registam, onde pedem as análises, depois temos a Medicina Laboratorial onde registam os valores das análises, portanto tudo isto existe em aplicações informáticas. Logo, utilizando a inteligência artificial que rapidamente pode comparar aqueles resultados com uma data de outros resultados que são sinónimos ou que indicam que vai haver uma infeção ou maior probabilidade de naquele caso haver uma infeção, eu penso que não vai substituir os empregos, pelo contrário, vai dar tempo, as pessoas não vão ser despedidas, vão ter tempo é para fazer outras coisas e estar mais junto dos utentes, implementar outras medidas, temos que estar presencialmente, a educação, a literacia para a saúde, tudo isto nestas várias áreas, quer no conjunto dos profissionais médicos, nomeadamente os serviços farmacêuticos, a parte da PPCIRA, tem muito trabalho a fazer e perdem muito tempo a ver estes dados e a fazer as coisas no Excel.

**Mariana Graça** - E a IA vai ser então um complemento aqui para ajudar numa maior eficiência e mais rapidez?

**Anabela Serra** - Sim, eu penso que sim. E a parte dos problemas éticos, aliás, hoje em dia, inclusivamente, nós na OLS estamos a querer implementar um sistema de ajuda ao clínico para o diagnóstico, portanto não é a prevenção da infeção mas pode-se comparar, não é? Ao diagnóstico, ou seja, apresenta-se uma pessoa com x sintomas, ela introduz e ao estar a registar no SCLínico, que é a nossa aplicação de registo, imediatamente há uma inteligência artificial que lhe diz, olhe, com esses sintomas há tanto por cento de o diagnóstico ser este e é muito mais rápido do que o médico e vai buscar muito mais informação. É muito mais rápido e ajuda o clínico a direcionar logo o tratamento, o diagnóstico e o tratamento.

**Mariana Graça** - Por acaso não tenho conhecimento dessas aplicações.

**Anabela Serra** - Não, não, já está a existir isso. Assim como na farmácia, por exemplo, ao querer prescrever um antibiótico, aparecem logo a dizer este antibiótico, atenção que só pode tomar não sei quanto tempo e não sei o quê, sabe disto? E só pode passar para a fase seguinte se tiver lido aquilo. Portanto é mais uma ajuda, não é? Vai ajudar a prática clínica e os melhores resultados para as pessoas que procuram os nossos cuidados. E o dilema ético, eu acho que também aqui neste caso não se põe porque está tudo dentro da nossa esfera informática da saúde. Portanto em princípio essas coisas são organizadas, portanto esses sistemas são organizados e tem de haver sempre um acordo de tratamento de dados, não é? Qualquer que seja a organização ou a empresa que esteja a facilitar este

trabalho tem que assinar um acordo, tem de haver um acordo de tratamento de dados pessoais para que nós tenhamos a certeza de que os dados que estão a ser tratados não estão a ir para mais lado nenhum que não aqueles, ou seja, que servem só para aquele fim específico. E, portanto, eu penso que a inteligência artificial nas práticas clínicas é muito bem-vinda, nomeadamente na prevenção precoce das infeções e não é só na prevenção, é também na avaliação da tendência, sabe? Na antecipação. Dizer, olhe, este paciente com estes critérios tem mais risco de ter uma infeção, por isso é melhor ter estas medidas.

**Mariana Graça** - Ok, muito obrigada, sim. Faz muito sentido.

**Anabela Serra** - Eu acho que é muito importante, aliás, bem empregue a inteligência artificial acho que vai trazer melhorias grandes, mesmo em termos de recursos humanos, porque deixa-nos mais tempo. Hoje em dia o médico quando faz uma consulta, muitos se queixam que ele só olha para o computador.

**Mariana Graça** - Pois.

**Anabela Serra** - Se tivermos uma inteligência artificial em que ele está a falar com a pessoa e o computador ouça e transcreva e escreva por ele, não está a dispensar, mas está a fazer todo esse trabalho por ele. Será uma coisa desse género. Era bom.

**Mariana Graça** - Sim, com certeza que vai ser por aí. Uma substituição de empregos não me parece, mas como é tudo novo as pessoas também comentam o que é que poderá vir, porque também estamos habituados a que nem tudo venha pelo melhor, não é? Mas aqui na área da saúde é o que nós esperamos.

**Anabela Serra** - Tudo o que é bom se for mal utilizado não dá bom resultado.

**Mariana Graça** - Então passamos aqui para a confirmação do diagnóstico, que é um passo crítico. As ferramentas de inteligência artificial, especialmente na análise de imagens, estão a ser cada vez mais utilizadas para otimizar fluxos de trabalho laboratoriais e melhorar a precisão na identificação de estruturas celulares relacionadas a infeções. Estudos recentes exploraram o uso de testes laboratoriais combinados com técnicas de Machine Learning no diagnóstico de infeções hospitalares e na identificação de condições de saúde desconhecidas. Além disso, o papel da inteligência artificial na imagem de doenças infecciosas, especialmente durante a pandemia do Covid-19, abriu novos caminhos para modelos mais robustos, embora existam desafios na calibração e confiabilidade dessas ferramentas. Como é que a inteligência artificial pode ser aprimorada para diagnosticar infeções hospitalares com mais precisão, utilizando, por exemplo, testes laboratoriais em ambientes de saúde, como é que acha que pode ajudar no na confirmação do diagnóstico.

**Anabela Serra** - Eu penso que a inteligência artificial não vai gerar, não vai fazer ela os testes. Para mim, nós temos aplicações que já fazem esses testes, não é? Portanto, temos aplicações, temos serviços que fazem os testes, que é a Medicina Laboratorial. Portanto, enviamos o sangue e os testes são feitos na Medicina Laboratorial. O que a inteligência artificial pode fazer é ajudar mais rapidamente a ver esses, porque os testes são feitos em máquinas, que são testes de outras variadíssimas empresas. Têm controlos de qualidade. Portanto, essas máquinas, não é? Eles fazem, por exemplo, o teste ao Covid e têm de fazer controlo de qualidade, mandam sempre. Porque isso é feito regularmente, é um serviço certificado e tem de ser feito regularmente de variadíssimos testes. Os próprios equipamentos, os reagentes e isso tudo, eles mandam sempre equipamento para eles fazerem testes para sabermos se aquela análise está dentro dos valores considerados normais para podermos ter fiabilidade no resultado dela. Portanto, eu penso que não é a inteligência artificial que vai fazer os testes. Esta parte destas aplicações e destes serviços tem de trabalhar com aplicações fiáveis, tem que ter um controlo de qualidade apertado e depois a inteligência artificial é que vai ler esses resultados e rapidamente dizer o que é que é preciso fazer, pôr logo as hipóteses e tudo. Porque antes dos testes, os testes têm de ser feitos laboratorialmente.

**Mariana Graça** - Sim, então, e aí você já sabe... Sim, vai mais ajudar na análise dos dados, que já são essas aplicações que podem ser feitas e vai ser aqui um complemento para ajudar.

**Anabela Serra** - Na antecipação, dizer que se houver estes critérios, estas condições ambientais e pessoais deste utente, provavelmente ele tem uma percentagem maior de ir ter uma infeção hospitalar. Então nós temos de ter mais cuidado em implementar as medidas preventivas.

**Mariana Graça** - Ok.

**Anabela Serra** - Nesse aspeto eu acho mais. E depois também, ou analisar os dados, dizer daquelas pessoas, porque aqui até a inteligência artificial não é bem só das pessoas dos testes. É dizer, se naquele serviço temos 10 pessoas com estes testes, então tem de se arranjar outra forma de trabalhar ou fechar o serviço, fazer uma

desinfecção. Pode-nos ajudar mais rapidamente a soluções alternativas para o caso de haver determinados critérios que são ultrapassados e que já não são aceitáveis. Penso eu. Estou a pensar alto agora. Porque na realidade, diagnosticar só em caso de surtos, é o que eu estou a dizer, como foi o Covid, como eles faziam a tendência, não é?

**Mariana Graça** - Ok. Parece-me bem. Podemos avançar sim. Está ótimo. Vamos então para a escolha do tratamento, que após o diagnóstico também é fundamental. Existem muitos sistemas que suportam a decisão baseada em inteligência artificial que podem auxiliar na personalização da terapia antibiótica e na ativação das estratégias de tratamento. Além disso, modelos de Machine Learning estão a ajudar a reduzir o uso desnecessário de antibióticos. No entanto, a integração total da inteligência artificial nos sistemas de saúde apresenta diversos desafios, incluindo preocupações da regulamentação, a padronização da abordagem dentro de instituições, a garantia de dados de alta qualidade e a definição do papel adequado da inteligência artificial em relação aos profissionais de saúde. Apesar desses desafios, o potencial da inteligência artificial para revolucionar a saúde é evidente, especialmente no desenvolvimento de abordagens personalizadas para a gestão de infeções e na criação de plataformas de diagnóstico integradas. Para aproveitar ao máximo a beneficência da inteligência artificial na área da saúde, a cooperação entre a disciplina e o compartilhamento de dados são essenciais. Como é que pode a inteligência artificial ser efetivamente integrada numa escolha terapêutica para infeções hospitalares, garantindo que complementa a expertise clínica e ao mesmo tempo enfrenta desafios relacionados à qualidade dos dados, regulamentação e personalização dos tratamentos?

**Anabela Serra** - Essa parte é muito importante, porque sem regulamentação, sem haver qualidade do registo dos dados, a inteligência artificial aí pode ser enviesada, não é? Mas eu penso que ela pode ser, desde que haja, cada vez mais, não é? Porque a inteligência artificial vai aprendendo também com a quantidade de dados que tem. Logo, se os dados, se houver um registo correto, com qualidade, seguindo todas as implicações legais, toda a legislação que existe, cada pessoa é só uma pessoa. Portanto, com a inteligência artificial eles têm hipótese de nos ajudar a escolher o tratamento, porque ele vai muito rapidamente percorrer os milhares ou milhões de pessoas que ele tem conhecimento, que estiveram naquela situação e, portanto, podem nos indicar muito rapidamente quais são as melhores hipóteses de tratamento para aquele caso. Portanto, eu acho que esse aspeto, nesta parte da escolha do tratamento, é muito importante, que é aquilo que eu disse, que é o que auxilia no diagnóstico. Há bocado era no diagnóstico da pessoa que recorre à consulta, recorre à urgência e pode ter um processo de inteligência artificial em que o ajude nesse diagnóstico. E a personalização é importante, mas por isso é que a importância dos dados estarem lá corretos. Por exemplo, imagine que um utente tem uma alergia a determinado medicamento. Isso tem que lá estar explícito, porque assim a inteligência artificial conhece esse critério e já não vai dizer que aquele tratamento vai ser o indicado, não é? Vai ter de o excluir. Agora, se não tiver, pode haver um erro.

**Mariana Graça** - Claro, sim. Acha que a integração dos dados é mesmo a base, é o mais importante.

**Anabela Serra** - Exato, é a integração dos dados e a qualidade do registo. Porque a parte humana, as human skills, as competências humanas, são muito importantes para que a inteligência artificial... Porque imagine, se todos estivermos a dizer coisas erradas, não é? Todos os países, a inteligência artificial só nos está a dizer aldrabices. Porque se está a basear na informação que ela conhece, que na realidade não é fidedigna. É esse o grande perigo.

**Mariana Graça** - Exato. Tem de haver aqui uma boa regulamentação.

**Anabela Serra** - Exatamente.

**Mariana Graça** - E os profissionais também cumprirão perfeitamente. Pois vai ser toda uma adaptação, mas que vai ter de ser bem treinada.

**Anabela Serra** - Tem, tem. E tem de se ter a garantia da minimização dos dados. Em termos de RGPD, para a proteção dos dados pessoais, não é? Eles têm de se recorrer, ou seja, têm que recorrer aos dados somente imprescindíveis para aquela função, para aquele objetivo. E não a outros, que depois podem ser utilizados para outras coisas.

**Mariana Graça** - Exatamente. Muito bem. Ok, então vamos passar para esta parte que é o acompanhamento. Nós tínhamos dividido isto assim, estas várias etapas. E o meu orientador tinha sugerido esta parte do acompanhamento. Primeiro não encontro muita informação sobre esta parte e também em relação às infeções hospitalares o que eu tenho percebido é que tratam-se e à partida ficam tratadas, mas aqui queria procurar mais em termos deste tema porque é importante monitorar as respostas dos pacientes e prever os desfechos terapêuticos para assim garantir uma boa recuperação e há modelos de IA que estão a ser cada vez mais utilizados para prever como é que os pacientes responderão aos tratamentos com base em fatores clínicos. Tanto a IA como o Machine Learning têm vindo a transformar a área da saúde ao fornecer modelos que preveem a resposta dos pacientes aos tratamentos.

Estes algoritmos consideram fatores como idade, condições crônicas, falência de órgãos e planos de tratamento que têm vindo a atingir níveis bastante bons de precisão. Diante destes avanços, como é que acha que a IA pode aprimorar as estratégias de acompanhamento, especialmente aqui na previsão de desfechos a longo prazo para pacientes com possíveis condições mais complexas.

**Anabela Serra** – Acho que se tem nesta altura muitas comorbidades que podem interferir propriamente no resultado do tratamento. E eu acho que no acompanhamento também é importante, porque tendo esse conhecimento... Portanto, foi diagnosticado, nós temos uma quantidade de utentes que estão internados e estão a ser tratados para determinado tipo de infeção, eles podem fazer esse acompanhamento, ou seja, o tratamento não é faz-se hoje e já está bom amanhã. Portanto, demora um certo tempo e mediante as condições, como diz complexas, de cada utente. Porque é que o COVID nuns matava e noutros não, não é? Porque há pessoas que estão mais fragilizadas e então a IA pode, nesse acompanhamento, ela já indicou, ajudou a indicar o tratamento e o tratamento foi iniciado e há um algoritmo qualquer que continua a seguir os resultados, porque depois as pessoas vão ver se têm febre, se não têm febre, se têm outras queixas que são características daquele episódio de infeção e ele pode dizer, olhe, afinal, este não está a resultar e depois eles podem ir estudando à medida que vão acompanhando e fazerem essas tais possibilidades de prever. Utentes com este, este e este e este critério, estas condições, demora mais, em vez de sete dias, demoram quinze dias, ou precisam de um tratamento mais agressivo ou menos agressivo. Sei lá. Só iniciando é que podemos acompanhar as pessoas e tornar mais eficaz, mais eficiente, o tratamento, ou seja, em menos tempo reter melhores resultados e menos complicações. Eu penso que poderá ajudar.

**Mariana Graça** – Hoje em dia também já maior parte das pessoas têm acesso à tecnologia, e se calhar aqui também pode haver um acompanhamento através de uma aplicação, onde as pessoas podem ir registando determinados valores.

**Anabela Serra** – E há. No Diário Clínico eles registam todos os valores das análises, tudo isso. Agora a IA pode estudar isso e chegar à conclusão que em milhares de utentes se tiverem aqueles critérios, esse acompanhamento tem de ser mais apertado, e poderá resultar melhor. Mais eficácia, melhor eficiência.

**Mariana Graça** – Ok, por acaso falou-me de coisas que as respostas têm sido um bocado semelhantes, em relação às entrevistas que tenho feito, as ideias. Mas aqui também deu-me informações bastante pertinentes, e especialmente em relação a essas aplicações que tinha falado, por acaso ainda ninguém tinha referido e vai ser uma mais valia para procurar mais sobre estas aplicações que não sabia que eram usadas.

**Anabela Serra** - Não, já estamos. Eu faço parte da equipa de implementação da RGPD, e neste momento estamos a analisar algumas plataformas que vamos começar a pôr também. Mas eu já ouvi isso há dois anos, dois anos ou três, fui a uma reunião no Porto, onde estavam os serviços partilhados do Ministério da Saúde, com uma empresa estrangeira porque estão a estudar, portanto, sabe que temos grupos homogêneos de diagnóstico, não é? E, nós temos, neste momento, é o ICD 10, mas já estão a estudar o I11, e eles estão a pensar, que era uma coisa muito gira e que ajudaria à inteligência artificial, que é a normalização da linguagem internacional da linguagem médica, ou seja, os médicos ao fazer os registos têm de ser tão específicos que, ao escreverem determinados sintomas, sintomatologia e queixas e resultados de análises, automaticamente aparece um diagnóstico que é igual em todo o lado, com algumas particularidades porque depois temos procedimentos, e isso facilitaria, porque hoje em dia o que é, os médicos registam e depois temos uma equipa que faz a codificação, ou seja, vai ver os processos e codifica, e há sempre a possibilidade de erro não é, enquanto que se isto já fosse tudo automatizado, ou seja, os médicos tinham que ter muita formação na linguagem que iriam utilizar para descrever determinado sintoma e determinada hipótese de diagnóstico para que, automaticamente, ele fosse logo codificado está a ver? Portanto estas coisas já têm vindo a ser trabalhadas.

**Mariana Graça** – Pois, aqui, não sei precisar quanto tempo vai ser posta em prática a IA, mas diria, talvez 50 anos.

**Anabela Serra** - Não sei, isto agora é tudo tão rápido que eu já nem sei. O que é verdade hoje, amanhã não é.

**Mariana Graça** – Vamos ficar aqui à espera a ver no que vai resultar.

**Anabela Serra** - Mas é bom porque é uma ajuda. Na realidade o médico não tem tudo na cabeça e se tiver um computador, uma colega virtual que o possa ajudar e faça aquelas pesquisas em segundos a milhares de pessoas e saiba dar uma resposta é muito melhor. Sem perder de vista a personalização e a humanização dos cuidados.

**Mariana Graça** – Sim, que é essencial.

**Anabela Serra** - É. Por isso é que digo, médico não pode, se ele vai dizer, ah que bom este até pensa por mim e tal, é só isto e tal, e continua a não ligar. Aí não vamos trazer grande mais-valia na realidade. Mas a relação terapêutica aí tem de ser aprimorada, já que tem quem o ajude, tem que aprimorar a outra parte.

**Mariana Graça** – Concordo. A entrevista também era à base destas 5 etapas. Também estou a recolher informações, vamos ver no final o que é que se conclui e depois também vou-lhe enviar por e-mail a tese completa e quero agradecer muito a sua disponibilidade e contribuição que vai ser essencial para a minha conclusão.

**Anabela Serra** - Foi com muito gosto Mariana, que corra tudo muito bem e com bom resultado, fico a aguardar.

## **APPENDIX C.2. – Interview with Dr. Catarina Messias**

**Mariana Graça** - Olá, boa tarde.

**Dr<sup>a</sup> Catarina Messias** - Não sei se me está a ver, não.

**Mariana Graça** - Ainda não? Ok, já consigo. Olá, obrigada, boa tarde. Tudo bem?

**Dr<sup>a</sup> Catarina Messias** - Não estava a conseguir do computador, então faço do telemóvel.

**Mariana Graça** - Ok, boa. Obrigada pela disponibilidade e pelo interesse também. Para ajudar na entrevista, vou partilhar um Powerpoint, para guiar aqui a entrevista, para ser mais fácil. E então, quando estiver a dar para ver, eu acho que agora já deve conseguir ver o powerpoint.

**Dr<sup>a</sup> Catarina Messias** - Sim, estou a ver, etapas. Sim, certo.

**Mariana Graça** - É para nos guiar. Ok, então, como tinha dito no email, o meu nome é Mariana e estou a finalizar o mestrado em Business na Católica e como parte da minha tese, que se chama A Systematic Review of AI in Hospital-Acquired Infections, encontro-me a explorar o papel da inteligência artificial na gestão das infeções hospitalares. E agora vou começar com uma breve introduçãozinha. Como sabemos, a inteligência artificial refere-se à simulação da inteligência humana por máquinas, especialmente sistemas computacionais. Isso inclui Machine Learning, onde os sistemas aprendem com unidades para fazer previsões ou tomar decisões, processamento de linguagem natural para compreender e gerar a linguagem humana e aprendizagem mais profundas, focadas em redes neurais para realizar tarefas como reconhecimento de imagens. Na área da saúde, os sistemas de inteligência artificial variam desde ferramentas especializadas, como softwares projetados especificamente para prever riscos de infeção ou analisadas a dados laboratoriais, até plataformas de inteligência artificial de uso geral, que podem auxiliar em tarefas mais amplas, como interpretação de dados, gerar relatórios ou desenvolvimento de estratégias. Nesta entrevista, tenciono explorar as suas experiências com a inteligência artificial, que também acredito que não sejam muitas porque ainda não é um tema muito desenvolvido, até que estamos a fazer isto, e como é que vai contribuir para a prevenção, o diagnóstico, a escolha terapêutica e o acompanhamento na gestão das infeções hospitalares. Então, vamos começar com a prevenção. Prevenir infeções hospitalares é crucial para a sua gestão e a inteligência artificial tem sido cada vez mais utilizada para prever e mitigar riscos de infeção. Modelos de vigilância baseados na inteligência artificial podem ajudar na deteção de resistência antimicrobiana e na otimização das estratégias de controlo da infeção, reduzindo assim a carga de trabalho dos profissionais. No entanto, desafios como qualidade dos dados e barreiras de implementação ainda persistem. Além disso, embora a automação e a robótica tenham potencial no controlo da prevenção das infeções, as pesquisas atuais ainda são limitadas, com pouca ênfase na conscientização e no treinamento dos profissionais de saúde em relação a estas tecnologias. O que eu gostaria de saber é, na sua opinião, quais são os maiores desafios do uso da inteligência artificial para a prevenção de infeções hospitalares e como é que eles podem ser superados?

**Dr. Catarina Messias** - Pois, eu acho que o que se fala aqui de qualidade dos dados é uma grande barreira, porque a forma como a inteligência artificial, do que eu já tenho ouvido falar ou do que eu me percebo, vai sempre basear-se um bocadinho em extrapolar, através dos dados que nós temos vai apreendendo as coisas. E às vezes é muito difícil em saúde, ou pelo menos a nível dos hospitais públicos, como é o meu caso, ter dados de qualidade em termos de diagnóstico. Será o mais difícil. Em termos de terapêuticas e de fármacos, acho que isso até já está mais ou menos otimizado, já não será tão mau. Mas em termos mesmo de dados clínicos dos doentes, acho que ainda é uma grande barreira à inteligência artificial. Acho que será complicado. E depois há também

vários interfaces informáticos, vários programas diferentes. Isso creio que também não seria muito difícil de desenvolver, mas nós para aplicarmos softwares mais ou menos básicos, isso também para nós é um problema.

**Mariana Graça** - Ok, estou aqui a focar na qualidade dos dados e depois também irá ser trabalhado em termos de programação e também toda a robótica.

**Dr. Catarina Messias** - Sim, sim.

**Mariana Graça** - Em algumas das entrevistas, uma das coisas que têm mencionado muito é exatamente essa, aqui na parte da prevenção. Ok, muito bem. Então vamos passar para o diagnóstico. Identificar infeções com precisão e o máximo possível é essencial para um tratamento eficaz e a inteligência artificial tem mostrado potencial para aprimorar os processos de diagnóstico, desde a análise de dados genéticos até o uso de algoritmos de Machine Learning para triagem de sintomas. Os modelos de inteligência artificial demonstram potencial para melhorar a precisão e eficiência do diagnóstico de diversas condições, incluindo nas infeções hospitalares. No entanto, desafios como preocupações com a substituição de empregos e problemas éticos e a integração da inteligência artificial nas práticas clínicas ainda persistem. Apesar das suas capacidades promissoras, os profissionais de saúde permanecem cautelosos em confiar totalmente na inteligência artificial, o que torna essencial a realização de mais pesquisas para aprimorar esses modelos e garantir uma colaboração eficaz entre os sistemas de inteligência artificial e os médicos. Como é que acha que a inteligência artificial pode melhorar a precisão e eficiência na identificação de infeções hospitalares em ambientes clínicos e quais os desafios é que prevê na integração de modelos baseados em inteligência artificial com as práticas atuais de controlo de infeção?

**Dr. Catarina Messias** - Pronto, eu acho que a inteligência artificial vai sempre ser melhor do que a pessoa porque consegue analisar muitos dados de outra maneira, não é? Portanto, acho que consegue sempre ter uma experiência muito maior. É como se fosse uma pessoa com muita experiência e consegue analisar muitas coisas ao mesmo tempo. E, portanto, vai conseguir selecionar melhor os casos, vai ser um bocadinho mais preciso. Eu acho que em termos de substituição de empregos, pronto, acho que ainda estamos muito longe disso porque acho que vai sempre requerer uma validação depois em termos clínicos por parte de uma pessoa, de um médico. Eu acho que podem ser eficientes é nessa integração de dados. Podem fazer uma coisa que, pronto, o erro humano, vão fazer uma análise que elimina esse erro humano e, portanto, conseguem fazer uma integração de dados muito maior. E também, se calhar, conseguem prever logo quais são os doentes que estarão em risco e pôr logo essa hipótese, não é? Portanto, vão ser muito mais fáceis de ajudar muito mais a gerir esse tipo de doentes. Pronto, em termos, por exemplo, estava a ver ali a análise das imagens. E é indiscutível que as imagens vão beneficiar imenso da inteligência artificial porque eles conseguem ter bases de dados enormes e analisar e gerar respostas muito mais precisas em alguns aspetos. Agora, depois, é sempre preciso haver uma correlação clínica. Eu acho que é esse o desafio que, apesar de tudo, ainda se mantém. Tem de haver sempre depois uma triagem ainda para até estes modelos estarem mais testados, não é? O que é que a gente pode dizer mais? Desafios para integração de modelos para as práticas atuais de controlo de infeção. Eu acho que o desafio seria que, possivelmente, para integrar nas práticas clínicas atuais, acho que iria requerer, se calhar, até muito mais rigor por parte dos profissionais de saúde em responder a certos requisitos das boas práticas no controlo de infeção, que, se calhar, hoje em dia nem sempre estão a ser cumpridos, não é? Eu penso que, tendo modelos baseados nisso, se calhar até iria haver uma preocupação em integrar boas práticas clínicas de outra forma. Em termos dos dilemas éticos que a inteligência artificial coloca, é, mais uma vez, um bocadinho esta situação de pôr as máquinas a decidir pelos profissionais, acho que ainda estamos muito longe disso, não é? De qualquer maneira, como tudo vai evoluindo, esta parte do conhecimento também há de ir evoluindo e eu acho que tem de haver uma adaptação, tem de haver aqui uma adaptação, e acho que se for bem explicado, bem trabalhado, acho que as pessoas vão acabar por aceitar.

**Mariana Graça** - Depois também acho que, pelo que eu tenho percebido, se calhar a substituição na totalidade não, vai ter de haver sempre assim uma correlação médico-inteligência artificial, porque até uma pessoa consegue, com os próprios olhos, ver sintomas que, se calhar, um paciente possa estar a dizer que faz de uma determinada maneira e depois não o faz.

**Dr. Catarina Messias** - É a valorização de certo tipo de coisas que o doente pode contar, pode não ser interpretado da melhor maneira pela inteligência artificial, até conseguir ser uma coisa mesmo muito bem feita, ou que imite mesmo um humano assim tão bem, mas acho que para já vai sempre precisar, depois de uma validação, de uma pessoa.

**Mariana Graça** - E aqui passamos para a confirmação do diagnóstico, que uma vez que sendo ou não sendo uma possível infeção, a confirmação do diagnóstico é um passo mais crítico e as ferramentas de inteligência

artificial, especialmente na análise de imagens, estão a ser cada vez mais utilizadas para otimizar os fluxos de trabalho laboratoriais e melhorar a precisão na identificação de estruturas celulares relacionadas a infeções. Estudos recentes também exploraram o uso de testes laboratoriais combinados com técnicas de Machine Learning no diagnóstico de infeções hospitalares e na identificação de condições de saúde desconhecidas. Além disso, o papel da inteligência artificial na imagem de doenças infecciosas, especialmente durante a pandemia do Covid-19, abriu novos caminhos para modelos mais robustos, embora ainda existam desafios na calibração e confiabilidade dessas ferramentas. Como é que a inteligência artificial pode ser aprimorada para diagnosticar infeções hospitalares com mais precisão utilizando testes laboratoriais em ambientes de saúde?

**Dr. Catarina Messias** - O que vocês querem saber é como é que pode ser usada, não é?

**Mariana Graça** - Sim, aqui para fazer realmente o diagnóstico, a confirmação, como é que acha que pode beneficiar.

**Dr. Catarina Messias** - Não, eu acho que partindo de alguns dados que depois são fáceis deles absorverem a nível laboratorial e de alguns dados clínicos, eu penso que será muito útil e que se calhar será uma boa arma de diagnóstico, não é? De alguma forma estar associada à parte microbiológica laboratorial e de conseguir com mais rapidez e mais eficiência do que só o trabalho humano de andar a ver as análises, etc., conseguir de uma forma muito mais eficiente alertar logo para determinados tipos de infeções, por exemplo, pode, por exemplo, analisar determinadas análises do sangue, também cruzar com outros dados e eventualmente chamar logo a atenção. Portanto, permite se calhar cruzar mais rapidamente mais informação, não é?

**Mariana Graça** - Diferentes parâmetros e se calhar ficam mais eficientes na identificação de determinados diagnósticos. E agora vamos para a escolha do tratamento. Sistemas de suporte à decisão baseada em inteligência artificial podem auxiliar na personalização da terapia antibiótica e na otimização das estratégias de tratamento. Além disso, modelos de Machine Learning estão a ajudar a reduzir os usos necessários de antibióticos. No entanto, a integração total de inteligência artificial nos sistemas de saúde apresenta diversos desafios, incluindo preocupações de regulamentação, a padronização de abordagens entre instituições, a garantia de dados de alta qualidade e a definição do papel adequado da inteligência artificial em relação aos profissionais de saúde. Apesar desses desafios, o potencial da inteligência artificial para revolucionar a saúde é evidente, especialmente no desenvolvimento de abordagens personalizadas para a gestão de infeção e na criação de plataformas de diagnóstico integradas. Para aproveitar ao máximo os benefícios da inteligência artificial na área da saúde, a cooperação interdisciplinar e o compartilhamento de dados são essenciais. Como é que pode a inteligência artificial ser efetivamente integrada numa escolha terapêutica para infeções hospitalares, garantido que complementa a expertise clínica e ao mesmo tempo enfrenta desafios relacionados à qualidade dos dados, regulamentação e personalização dos tratamentos?

**Dr. Catarina Messias** - Eu acho que na escolha de antibióticos a inteligência artificial pode ser uma arma muito importante. Eu acho que também aqui também vai se conseguir gerir, se calhar, os fármacos de uma maneira muito mais precisa e há sempre um componente de algum erro humano, a pessoa pode gostar mais de um antibiótico ou de outro e ter assim uma tendência e acho que se for uma coisa mais padronizada e em termos de duração do tratamento, de adaptação às características do doente, de função renal, etc., acho que permite fazer uma grande otimização e acho que há certas coisas que falham muito menos. Agora também há sempre aquele ponto de partida de pôr a decisão do antibiótico, que seria uma decisão clínica, mas eu acho que tem de ser uma coisa bem estruturada em termos dos dados que vamos dar, do que se vai fornecer à inteligência para ela ir aprendendo, mas eu acho que pode ser uma ótima arma para o combate às infeções hospitalares. Estava aqui a ler a pergunta, garantindo. Exato. Há sempre o problema da qualidade dos dados e em termos de avaliação clínica, não é? Porque para poder, de facto, fornecer o melhor tratamento é preciso que esteja bem estabelecido nos dados que ela vai consultar todos os parâmetros do doente, não é? E isso também é sempre mais um problema se não tiverem, se não forem os tais dados de alta qualidade. Acho que é isso.

**Mariana Graça** - Sim, parece-me bem. É engraçado porque acho que as respostas vão todas um bocado dar à mesma lógica.

**Dr. Catarina Messias** - Ainda é assim tudo muito, um bocadinho, numa onda de suposição.

**Mariana Graça** - Exato, exato. Se calhar daqui a 50 anos já teremos algo mais concreto.

**Dr. Catarina Messias** - Exatamente.

**Mariana Graça** - Pelo avançar das coisas... E agora, por fim, falar do acompanhamento, que é a parte que eu não encontrei muita informação, na revisão de literatura, mas vamos ver aqui. Uma vez iniciado o tratamento, monitorar as respostas dos pacientes e prever os desfechos terapêuticos são etapas essenciais para garantir a recuperação. Modelos de inteligência artificial estão a ser cada vez mais utilizados para prever como os pacientes responderão aos tratamentos com base em fatores clínicos. A inteligência artificial e o Machine Learning têm vindo a transformar a área da saúde ao fornecer modelos que preveem a resposta dos pacientes aos tratamentos. Esses algoritmos consideram fatores como idade, condições crónicas, falência de órgãos e planos de tratamento atingindo níveis impressionantes de precisão. Diante desses avanços, como é que acha que a inteligência artificial pode aprimorar a estratégia de acompanhamento, especialmente na previsão de desfechos a longo prazo para pacientes com condições complexas?

**Dr. Catarina Messias** - Pois, o acompanhamento é mais complexo, não é? Porque nós estamos habituados ou já ouvimos falar de alguma coisa em termos de diagnósticos ou mesmo, lá está, em termos de antibióticos, de escolha de antibiótico e muito ligado sempre a avaliações laboratoriais e coisas que são fáceis de parametrizar e aqui eu acho que a nível da evolução clínica de acompanhamento de um doente é mais difícil de estabelecer um padrão, portanto vai ser uma coisa difícil para a inteligência artificial conseguir prever o desfecho, não é? Mas, pronto, mesmo assim eu acho que se calhar é preciso definir alguns critérios, não é? Acho que se calhar tem-se de definir critérios de respondeu, respondeu parcialmente, que é para depois à medida que se vai aprendendo com esses já se vai conseguir também prever mais ou menos a resposta dos próximos doentes, acho que é assim, mas se calhar é o que será ainda mais complicado, é o que me parece uma evolução ainda mais difícil. E aqui também por acaso tínhamos falado agora com as tecnologias, os smartwatches e assim, se calhar o envio de dados diretamente para os médicos depois analisarem, só que por isso também é a questão de nem toda a gente tem um Apple Watch ou um smartwatch, mas se calhar haver também algo que pudesse transmitir os dados em tempo real para saber se as respostas estão a ser as pretendidas, acha que pode ser uma boa opção?

**Dr. Catarina Messias** - Claro, eu por acaso estou... Exatamente.

**Mariana Graça** - Pois é que realmente esta parte aqui, tínhamos estabelecido esta divisão, mas esta aqui realmente não há muita informação, ainda há pouca, mas esta parte aqui não há muita, mas já vai aparecendo alguma por acaso.

**Dr. Catarina Messias** - Pois, eu estava a pensar um bocadinho em termos de infeções hospitalares, estava a pensar ainda nas infeções hospitalares, aqui já não é necessário.

**Mariana Graça** - Sim, porque as infeções à partida ficam logo tratadas, não é?

**Dr. Catarina Messias** - Sim, sim, pronto. Mas não, também alguns doentes podem ir completar o tratamento em ambulatório de que depois não se tem tanta informação e é mais um... lá está, é mais um dado difícil de obter. E à partida são doentes com várias patologias e portanto coisas complicadas e que será difícil de gerir e de ter assim uma base de dados que depois permita estabelecer conclusões, não é?

**Mariana Graça** - Ok, pronto. E era à base disto que eu queria saber estas informações. Agradeço a sua participação, vai me ajudar muito. E também gostava de dizer no final, quando tiver a tese, estou a prever entregar em maio, vou enviar também para darem uma olhadela, ver o que é que se concluiu e depois pode ser que ao longo dos tempos vão surgindo mais informações e possamos ver com os nossos próprios olhos a evolução. Muito obrigada pela sua disponibilidade.

**Dr. Catarina Messias** - Como é que vocês, posso só perguntar onde é que foram buscar o meu mail?

**Mariana Graça** - Ah, sim, o meu orientador, que é professor da Católica, sugeriu irmos ao site do SNS e depois lá temos as unidades locais de saúde e na parte da qualidade.

**Dr. Catarina Messias** - Ah, ok. Sim, sim, sim.

**Mariana Graça** - É muito bom porque era difícil entrar em contacto só...

**Dr. Catarina Messias** - Pois, eu imaginei que fosse através do hospital, mas depois fiquei a pensar, estranho.

**Mariana Graça** - Eu ainda também enviei para, enviei diretamente para as unidades locais de saúde para poderem reencaminhar o meu mail a quem achasse que fosse pertinente, só que depois era toda uma burocracia que tinha de enviar pedido de estudo, ou seja, era uma coisa muito complicada.

**Dr. Catarina Messias** - Ah, depois é uma complicação.

**Mariana Graça** - Sim, acho que é uma coisa simples que também não...

**Dr. Catarina Messias** - Não demora muito e também não custa nada, é mais prática assim.

**Mariana Graça** - Por isso, muito obrigada pela contribuição e depois fico de enviar um email com os resultados.

**Dr. Catarina Messias** - Está bem, está bem.

**Mariana Graça** - Muito obrigada. Continuação de um bom dia.

**Dr. Catarina Messias** - Adeus, adeus.

**Mariana Graça** - Obrigada.

### **APPENDIX C.3. – Interview with Dr. Helena Santos**

**Mariana Graça** - Olá, boa tarde.

**Dr. Helena Santos** - Olá, só um bocadinho que eu estou a tentar... Olá, como está?

**Mariana Graça** - Olá, tudo bem? Está tudo bem, obrigada. Consegue ouvir-me bem?

**Dr. Helena Santos** - Mais ou menos, diga.

**Mariana Graça** - Ok, bom. Então, antes de mais, gostaria de agradecer aqui o tempo e o interesse disponibilizado para me ajudar aqui na conclusão da tese. A entrevista é curta, é breve, não é preciso, assim, um grande conhecimento científico acerca da inteligência artificial, até porque eu não estou tanto à procura da parte que envolve programação e tudo mais, é mais a opinião dos profissionais com o que têm conhecimento na área da saúde e o que podem achar que podem contribuir para as minhas questões. Para ajudar a guiar a entrevista, eu vou só partilhar um pequeno PowerPoint para ser mais fácil acompanhar. Vou aqui partilhar, creio que já consegue ver.

**Dr. Helena Santos** - Ah, sim.

**Mariana Graça** - Ok, boa. Então, vamos dar início, também para ser breve, que eu sei que o tempo é curto, mas também não vai demorar muito. Como tinha dito no e-mail, eu chamo-me Mariana e encontro-me a finalizar o mestrado em Business na Católica e como parte da minha tese, que é A systematic Review of AI in Hospital Acquired Infections, encontro-me a explorar o papel da inteligência artificial na melhoria da gestão das infeções adquiridas em hospitais. Como sabemos, a inteligência artificial refere-se à simulação da inteligência humana por máquinas, especialmente sistemas computacionais. Isto inclui Machine Learning, onde os sistemas aprendem com os dados para fazer previsões ou tomar decisões, Processamento de linguagem natural, para compreender e gerar linguagem humana. E aprendizagem mais profunda, focada em redes neurais, para tarefas como reconhecimento de imagens. Na área da saúde, os sistemas de inteligência artificial variam desde ferramentas especializadas, como softwares projetados especificamente para prever riscos de infeção ou analisar dados laboratoriais, até plataformas de inteligência artificial de uso geral, que podem auxiliar em tarefas mais amplas, como interpretação de dados, geração de relatórios ou desenvolvimento de estratégias. Nesta entrevista, tenciono explorar as suas experiências com a inteligência artificial e como ela contribui para a prevenção, o diagnóstico, a escolha terapêutica e o acompanhamento na gestão das infeções hospitalares. Então, vamos começar pela parte da prevenção. Prevenir infeções hospitalares é um primeiro passo crucial para a sua gestão e a inteligência artificial tem sido cada vez mais utilizada para prever e mitigar riscos de infeção. Modelos de vigilância baseados na inteligência artificial podem ajudar na deteção da resistência antimicrobiana e na otimização das estratégias de controlo da infeção, reduzindo ainda assim a carga do trabalho dos profissionais. No entanto,

desafios como qualidade dos dados e barreiras de implementação ainda persistem. Além disso, embora a automação e a robótica tenham potencial no controlo da prevenção de infeções, as pesquisas atuais são limitadas, com pouca ênfase na conscientização e no treinamento dos profissionais de saúde em relação a estas tecnologias. O que eu gostava de saber é, na sua opinião, quais são os maiores desafios no uso da inteligência artificial para a prevenção de infeções hospitalares e como é que eles podem ser superados. Isto aqui pode falar do conhecimento que tem acerca de prevenção em termos hospitalares, como é que acha que se pode integrar aqui a inteligência artificial, de maneira a facilitar?

**Dr. Helena Santos** - Bem, eu oiço-a muito mau, devo dizer, mas assim de repente, do pouco conhecimento que tenho da inteligência artificial, eu penso que poderia ser benéfica em definir riscos, nomeadamente na admissão de um doente a um internamento, ou mesmo à urgência, perante vários critérios que estavam definidos na literatura, se fosse possível automatizar a averiguação desses critérios, um questionário ou o que fosse, atribuir-se-ia um grau de risco baixo, moderado, elevado a contrair uma infeção ou a transmitir uma infeção, porque sabemos que há doentes que não estão infetados, mas estão colonizados, e o histórico desses fenómenos importa pesquisar e importa integrar na avaliação inicial. Portanto, esta seria, para mim, de repente, a única, a principal vantagem. Depois, portanto, rastreio de risco. A avaliação do risco epidemiológico, vá. Do ponto de vista diagnóstico ou terapêutico, já poderiam também, mas isto é só na prevenção que quer, não é?

**Mariana Graça** - Sim, está. Agora, a seguir, já vamos para essa parte, sim.

**Dr. Helena Santos** - Não consigo ouvir. Não é limpo o som. Eu ouço o volume, mas não percebo bem. Mas diga, faz favor.

**Mariana Graça** - O que estava a dizer é, sim, em termos de prevenção, sim. Nós também já vamos falar aqui à frente, mais à frente da parte do diagnóstico e assim, mas em termos de prevenção parece-me bem o que disse, e consigo compreender perfeitamente, até mesmo através de outras entrevistas que já fiz, também há um bocado à volta disto, realmente, que falam. Ok. Se eu falar mais alto, consegue-me ouvir melhor?

**Dr. Helena Santos** - Talvez, consigo, mas diga, diga, diga.

**Mariana Graça** - Ok, bom, ótimo. Obrigada. Vamos passar, então, aqui para o diagnóstico. Diagnóstico. Continua a ver o PowerPoint, não é?

**Dr. Helena Santos** - Sim, sim, sim.

**Mariana Graça** - Então, identificar infeções com precisão e o mais cedo possível é essencial para um tratamento eficaz. A inteligência artificial tem mostrado potencial para aprimorar os processos diagnósticos, desde a análise de dados genéticos até ao uso de algoritmos de Machine Learning para triagem de sintomas. Os modelos de inteligência artificial demonstram potencial para melhorar a precisão e a eficiência do diagnóstico de diversas condições, incluindo infeções hospitalares. No entanto, desafios como preocupações como substituição de empregos, dilemas éticos e a integração da inteligência artificial nas práticas clínicas ainda persistem. Apesar das suas capacidades promissoras, os profissionais de saúde permanecem cautelosos em confiar totalmente na inteligência artificial, o que torna essencial a realização de mais pesquisas para aprimorar esses modelos e garantir uma colaboração eficaz entre o sistema de inteligência artificial e os médicos. Como é que acha que a inteligência artificial pode melhorar a precisão e a eficiência na identificação de infeções hospitalares em ambientes clínicos e quais desafios prevê na integração de modelos baseados na inteligência artificial com as práticas atuais de controle de infeção?

**Dr. Helena Santos** - A inteligência artificial pode, do conhecimento que tenho, eu não tenho a experiência prática

**Mariana Graça** - Claro, estamos a tentar implementar ainda.

**Dr. Helena Santos** - Pode, naturalmente, admito que sim, pode melhorar a eficiência e sobretudo a rapidez e a precocidade da identificação de infeções e até o risco, já falámos do risco, não é? E portanto, também as implicações terapêuticas. Agora, o que é importante realçar é que não vejo, nem verei, pelo menos no meu tempo de vida, a hipótese de substituição de um profissional de saúde, no diagnóstico. Porque a medicina não é matemática, dois mais dois nem sempre são quatro e é preciso ver se, quando chegamos à parcela dois, se fizemos bem o cálculo, se prestámos bem no interrogatório e, portanto, as premissas têm que ser, não é só o resultado, não é só a congregação dos vários critérios que definem uma doença, que definem um diagnóstico, é

também a própria avaliação, a própria valorização das queixas, valorização da gravidade, valorização do contexto todo ele, social, familiar, portanto, epidemiológico, financeiro, psicológico até na base de queixas que este doente me está a fazer se são creíveis. As queixas deste doente estão a ser hipervalorizadas ou, pelo contrário, estão a ser subestimadas. Isto é uma coisa que dificilmente a inteligência artificial fará e, portanto, nesta matéria de diagnóstico, a inteligência artificial não tem, não pode, que eu sei, avaliar a valorização dos critérios e da fiabilidade da informação para depois, obviamente, formular os diagnósticos. Se eu tenho um doente à frente que me diz que tem febre todos os dias, em casa no último mês, depois eu vou ver, não tem febre hoje, não tem febre agora, não tem febre logo à noite, não tem febre amanhã, importa muito fazer-lhe perguntas no momento para tentar fazê-lo entrar em contradição, para tentar aprimorar esse interrogatório inicial. E este conhecimento do comportamento humano e, evidentemente, a experiência também do profissional, porque nem toda a gente, quando sai da faculdade, tem esta potencialidade e também nos enganamos, como é evidente, não é? Mas a inteligência artificial nunca poderá substituir um profissional de saúde. Deve ser sempre coadjuvada, deve ser sempre, sobretudo, como é que eu hei de dizer? Não é fiscalizada, monitorizada. Portanto, sempre como um papel acessório, mas de extrema importância. De extrema importância, não tenho dúvidas nenhumas, que irá melhorar bastante a acuidade diagnóstica e, sobretudo, a rapidez, porque pode integrar vários fatores ao mesmo tempo, o que define o diagnóstico de uma infeção não é só o histórico clínico, não é só a observação do doente, são os exames complementares, são o historial no passado integrados ou não no contexto e, obviamente que a inteligência artificial pode fazer isso em um segundo, em um segundo, quando o humano faria em muitos minutos.

**Mariana Graça** - Então, aqui, se calhar, uma complementação, a inteligência artificial seria mais um complemento, nunca iria ser uma substituição.

**Dr. Helena Santos** - Não, não. A não ser que evoluam muito, do que eu sei.

**Mariana Graça** - Nunca sabemos o que é que vem para aí, não é? Ainda por cima com a rapidez com que as coisas avançam, ainda mais difícil fica prevê-lo. Mas, sim, compreendo o que está a dizer, obrigada. Ok, então, agora, para falar da confirmação de diagnóstico, que, se calhar, vai ser um bocado à volta do mesmo, mas vamos aqui ver. Então, uma vez detetada uma possível infeção, a confirmação do diagnóstico é um passo crítico. Ferramentas de inteligência artificial, especialmente na análise de imagens, estão a ser cada vez mais utilizadas para otimizar o fluxo de trabalho laboratoriais e melhorar a precisão na identificação de estruturas celulares relacionadas a infeções. Estudos recentes exploraram o uso de testes laboratoriais combinados com técnicas de Machine Learning no diagnóstico de infeções hospitalares e na identificação de condições de saúde desconhecidas. Além disso, o papel da inteligência artificial na imagem de doenças infecciosas, especialmente durante a pandemia do Covid-19, abriu novos caminhos para modelos mais robustos, embora ainda existam desafios na calibração e confiabilidade dessas ferramentas. Como é que a inteligência artificial pode ser aprimorada para diagnosticar infeções hospitalares com mais precisão utilizando testes laboratoriais em ambientes de saúde?

**Dr. Helena Santos** - Refere-se só utilizando testes laboratoriais?

**Mariana Graça** - Como é que acha que através dos testes laboratoriais, agora digamos que pode ser um médico a prescrevê-los, claro, não a inteligência artificial, como é que acha que a inteligência artificial pode aprimorar o diagnóstico de infeções?

**Dr. Helena Santos** - Aqui ela tem de ter a informação, os algoritmos, ou como é que se chama isso, para saber integrar determinados testes laboratoriais em quadros clínicos definidos, não é? A questão aqui é a programação, eu nem sei responder de outra forma, quer dizer, é possível, desde que bem ensinado, bem programado, é possível haver uma enorme mais-valia na interpretação de testes laboratoriais por parte da inteligência artificial. Desde que a informação seja toda prestada e bem catalogada, porque eu não faço ideia de como é que esses algoritmos funcionam. Agora, não pode é fazer diagnósticos com base em testes laboratoriais, nós não diagnosticamos alterações laboratoriais, diagnosticamos doenças em que há determinadas queixas, determinados sinais que são corroborados pela avaliação clínica e depois, uma vez mais tarde, por testes laboratoriais ou de imagem ou de pessoa. E, portanto, o que a inteligência artificial pode fazer é afunilar, engavetar, catalogar, guiar determinadas síndromes ou determinadas doenças, determinados diagnósticos com base nas alterações laboratoriais que encontra.

**Mariana Graça** - Ok. Sim, aqui também, por exemplo, lembro-me de falar de outras pessoas também falarem de haver já um protocolo que os médicos seguem para a confirmação de diagnóstico e, se calhar, também integrar

esse protocolo na inteligência artificial se calhar vamos obter dados mais precisos e também esta parte de afunilar.

**Dr. Helena Santos** - Mas estávamos a falar de protocolos mas de testes laboratoriais?

**Mariana Graça** - Não, o que eu estou a falar é que do que eu tenho visto porque eu não tenho conhecimento muito da parte da medicina mas que há todo um protocolo.

**Dr. Helena Santos** - Ah, tomara, eu queira deitar-lhes a mão! Por algum motivo eu aceitei esta entrevista. Eu não tenho dúvidas nenhuma, não tenho dúvidas nenhuma que a inteligência artificial vai nos ser de vantagem. É preciso é ter cuidado e ter critério e as devidas reservas porque a medicina é muito complicada. Agora, o diagnóstico médico nem sempre é taxativo nem sempre obedece a algoritmos. Tem casos atípicos tem clínica que é só em 1% dos casos. Agora, obviamente que tudo isto trabalhado em parceria com a inteligência artificial, nós vamos melhorar muito a nossa acuidade diagnóstica. Não só no acertar o diagnóstico como acertar a tempo, diagnóstico rápido, e vamos também reduzir o erro médico, o erro diagnóstico e isto eu acho que é importante. O que é preciso é que o contrário, a parte perversa, não suceda também que é deixar-nos influenciar pelas pistas, pelas pistas que a inteligência artificial, pelas sugestões que a inteligência artificial nos possa dar, porque o contexto que a inteligência artificial julga é o contexto é a nossa estatística é mais frequente isto, isto, isto estar associado àquilo, aquilo, aquilo e portanto o diagnóstico sobe muito, isto é verdade mas nem sempre é assim. eu fui confusa. É preciso não nos deixar-nos influenciar e não alterarmos o nosso raciocínio médico só porque um computador nos diz que o diagnóstico mais provável é este seguido daquele e em terceiro lugar o outro e porventura não coexistir os raciocínios porque isto, numa fase inicial o profissional de saúde não se deixar influenciar e só depois de fazer o seu raciocínio aceder à informação médica numa fase inicial para ter confiança no sistema

**Mariana Graça** – Certíssimo. Eu também não sei, achava que se calhar esta inteligência artificial ainda demorava uns bons aninhos, eu diria até estar mesmo integrada na medicina se calhar uns 50, mas já me disseram que eram menos.

**Dr. Helena Santos** - Eu já discuti com o chat GPT diagnósticos.

**Mariana Graça** - Pois, acredito muitas vezes é usado.

**Dr. Helena Santos** - Enfim, esquece-se de alguns, os outros não me lembrava eu, a interação pode vir a ser útil, mas é um desafio e um desafio delicioso.

**Mariana Graça** - Pois é mas com certeza vai ser muito bom e por acaso estou mesmo entusiasmada por saber quais vão ser os resultados.

**Dr. Helena Santos** - Entusiasmada em?

**Mariana Graça** - Em saber qual vai ser o resultado disto tudo. Estou muito interessada.

**Dr. Helena Santos** - Diga-me mais, por favor

**Mariana Graça** - Então, vamos aqui passar para a escolha do tratamento. Após o diagnóstico de uma infeção, a escolha do tratamento mais adequado é fundamental. Sistemas de suporte à decisão.

**Dr. Helena Santos** - Como?

**Mariana Graça** - Sistemas de suporte à decisão baseados na inteligência artificial podem auxiliar na personalização na terapia antibiótica e na otimização das estratégias de tratamento. Além disso, modelos de Machine Learning estão a ajudar a reduzir o uso desnecessário de antibióticos. No entanto, a integração total da inteligência artificial nos sistemas de saúde apresenta diversos desafios incluindo preocupações de regulamentação a padronização de abordagens entre instituições a garantia de dados de alta qualidade e a definição do papel adequado da inteligência artificial em relação aos profissionais de saúde. Apesar destes desafios, o potencial da inteligência artificial para revolucionar a saúde é evidente especialmente no desenvolvimento de abordagens personalizadas para a gestão de infeções e na criação de plataformas de diagnóstico integradas. Para aproveitar ao máximo os benefícios da inteligência artificial na área da saúde, a cooperação interdisciplinar e o compartilhamento de dados são essenciais. Como pode a inteligência artificial ser

efetivamente integrada numa escolha terapêutica para infeções hospitalares garantindo que complemente a expertise clínica e ao mesmo tempo enfrenta desafios relacionados à qualidade dos dados, regulamentação e personalização dos tratamentos?

**Dr. Helena Santos** - Eu aqui dava-lhe mais crédito à inteligência artificial. O diagnóstico é o grande problema. Eu aqui dava-lhe um crédito bastante maior em relação ao diagnóstico e acho sim que pode ajudar muito, desde que a informação esteja lá e esteja integrada e que depois a informação seja de acordo com o contexto em que se vive. Há antibióticos em Portugal que não existem no Reino Unido ou nos Estados Unidos e portanto não pode haver só uma parametrização universal. Há antibióticos que existem, a amoxicilina, toda a gente sabe que existe por todo o lado mas adaptada ao contexto local, regional, nacional o que for eu penso que a inteligência artificial pode jogar um papel muito importante na escolha terapêutica e no bom uso de antibiótico e poupar muito muito antibiótico mal receitado e mal prescrito uma vez feito o diagnóstico não tenho dúvidas.

**Mariana Graça** - Sim, por acaso esse aspeto eu não tinha referido realmente de haver antibióticos que há cá, não há lá fora, tem que haver toda uma parametrização .

**Dr. Helena Santos** - Há uns que não se pode dar na grávida, outros que não se pode dar na infância, tudo isto é possível de ser ultrapassado, mas está aqui a padronização da abordagem entre as instituições, é mesmo isso porque há protocolos de tratamento se esses protocolos forem inseridos como preferenciais na programação do programa, na programação da máquina e sendo uma escolha preferencial, depois pode no entanto haver sugestões de escolhas alternativas, se não estiver a correr bem, se a evolução não for boa, se o doente tiver uma intolerância, se vomitar, o que for, não tenho dúvidas que é aqui que a inteligência artificial pode ajudar na análise laboratorial e até imagiológica.

**Mariana Graça** - Sim, sim, no Covid-19 houve uma evolução extrema nesse aspeto.

**Dr. Helena Santos** - Mas sempre sobre a supervisão, a validação talvez seja a palavra certa do profissional de saúde.

**Mariana Graça** - E agora para falar do acompanhamento, que não há muita informação, portanto a ver aqui o que é que podemos concluir. Uma vez iniciado o tratamento, monitorar as respostas dos pacientes e prever os desfechos terapêuticos são etapas essenciais para garantir a recuperação Modelos de inteligência artificial estão a ser cada vez mais utilizados para prever como os pacientes responderão aos tratamentos com base em fatores clínicos. A inteligência artificial e o Machine Learning têm vindo a transformar a área da saúde ao fornecer modelos que preveem a resposta dos pacientes aos tratamentos. Estes algoritmos consideram fatores como idade, condições crónicas, falência de órgãos e planos de tratamento atingindo níveis impressionantes de precisão. Diante destes avanços, como acha que a inteligência artificial pode aprimorar as estratégias de acompanhamento? Especialmente na previsão de desfechos a longo prazo para pacientes com condições complexas

**Dr. Helena Santos** - Aqui é mais difícil de dizer. Evidentemente, é mais difícil de dizer e também convenhamos, não é o mais importante

**Mariana Graça** - Neste aspeto das infeções, não é? Quando é uma infeção, é tratar.

**Dr. Helena Santos** - Supostamente, exceto uma infeção crónica ou que exija um tratamento prolongado, o problema ou fica resolvido ou não fica. Agora, o que pode é haver um acompanhamento da evolução dos primeiros dias da terapêutica e da resposta à terapêutica. Mas para isso é preciso um humano. A não ser que o humano vá colocar critérios. Se tem febre, se comeu. Se não comeu, se está mais perto. Se não está mais perto, já urinou... Esta avaliação holística integrada de tudo. A máquina pode fazê-lo. Mas é preciso... Como é que a gente lhe dá os dados? Tem que olhar como?

**Mariana Graça** - Sim, mas por exemplo. Hoje em dia já nem toda a gente sabe, não é? Mas é só um exemplo, por exemplo, aqueles smartwatches que avaliam tudo e mais alguma coisa. Se calhar enviar informação em tempo real dos parâmetros não sei.

**Dr. Helena Santos** - Sim, mas lá está. Tem que haver alguém que vá avaliar os parâmetros. Já falamos do smartwatch. E que os transmita para a programação. Porque uma auscultação cardíaca, uma auscultação pulmonar, uma palpação abdominal, é coisa que a inteligência artificial nunca vai fazer. E depois há aquela coisa de o ar do doente. O estado a gente entra é uma coisa que tem que eu sei que é um bocado poética mas tem que ser sempre avaliado. Estou a falar de infeções graves, não estou a falar de amígdalas. Quando uma pessoa entra

na enfermaria, olha para o doente, tem a imagem guardada na memória de como ele estava no dia anterior e tem logo uma percepção naqueles segundos. Se ele está mais esperto, se está mais hidratado se está mais atento. São aspetos que nos fazem também, não cientificamente, não são aspetos científicos nem são matemáticos mas são de intuição de experiência de percepção, são a percepção que a inteligência nunca vai, nunca vai poder ter como o humano, a percepção. Mas de qualquer maneira pode ajudar mas eu por acaso acho que o acompanhamento é onde menos vai ser interessante

**Mariana Graça** – Ok. Mas acho que por exemplo pegar aí pela parte dos smartwatches e assim era uma boa sugestão?

**Dr. Helena Santos** - Eu ainda fiz essa comparação, os valores são aproximados mas há diferença, já foi há dois anos não sei como é que as coisas entretanto estão, mas os smartwatches não conseguem ter percepções clínicas não é? Conseguem ver parâmetros estabelecidos, estáticos, não é? A frequência cardíaca, a temperatura, a tensão arterial. Agora, isto são pequenos indicadores, que são importantes, são sinais vitais mas têm de ser integrados, têm de ser englobados e considerados e valorizados e interpretados numa visão ampla que no fundo distingue os profissionais com muita experiência e aqueles com pouca. Porque só a experiência pode dar uma percepção mais rápida e melhor da boa evolução, da boa hipótese diagnóstica pelo menos. Isso aí, diagnóstica é muito complicado... Mas podem-se lembrar de algum que a gente se esqueceu, sem dúvida... E jogar um pouco com as probabilidades, com a estatística.

**Mariana Graça** - Mas pronto, lá está, aí já e mais um bocado a influencia da informação que a IA tem, ou seja, não é tanto ver com precisão.

**Dr. Helena Santos** - Não, não. Mas há coisas que a IA, do que eu conheça, nunca vai poder fazer, que é a avaliação e a valorização dos aspetos clínicos, e falo mesmo do exame clínico, não é só da veracidade do relato das queixas, que é outra coisa que já falámos, é também da gravidade dos achados clínicos, a auscultação, palpação abdominal, é em todo o abdómen, é só aqui. E depois pergunto ao doente, então e se eu fizer assim, e se eu fizer assado. Esta interação com o doente, que é valiosa às vezes em direcionar as suspeitas diagnósticas em determinada direção, essa interação humano-humano é preciosa, eu não sei como é que nesse aspeto a inteligência artificial pode, sozinha não pode, pelo menos daquilo que conheço da IA.

**Mariana Graça** - Nós aqui o que tentámos fazer, olhámos para a gestão e dividimos nestas 5 etapas e realmente estamos a tentar perceber se é possível, após toda uma revisão de literatura, aqui no acompanhamento nem há assim tanta informação, e estamos a tentar perceber pela opinião dos profissionais...

**Dr. Helena Santos** - Se estamos a falar de prevenção de infeção, na minha ótica, enfim, evidentemente que a IA não me vai dizer assim, ah atenção à higiene das mãos, atenção ao bom uso dos equipamentos de proteção individual, não é isso que estamos a falar porque isso não é necessário. Mas se estamos a falar de sistematizar, de aprimorar, de tornar mais rápido, de acelerar todas as medidas do ponto de vista de avaliação de risco, de probabilidade no fundo, sim, aí logo à cabeça acho que a IA vai ajudar, vai ajudar também na acuidade de diagnóstico, mas aqui é preciso ter muito cuidado e é preciso ter um protocolo de atuação por causa da influência, o médico não se pode deixar influir por coisa nenhuma, nem pelo colega que está ao lado. Obviamente pode discutir e chegarem ou não a acordo, o que não pode é a substituição existir no diagnóstico. Agora pode ajudar e muito na acuidade, na rapidez e no abrir de leque de possibilidades diagnósticas e com base também na constelação de sintomas, sinais e achados ao exame físico que só pode ser feito por um humano e depois no fundo essa constelação, essa congregação, levantar uma série de hipóteses com grau de prioridades porventura diferentes e orientar o médio, orientar. Mas eu penso é que tem de haver muita disciplina nessa interação.

**Mariana Graça** - Sim, e com certeza há de ser algo que irá ser tido em conta.

**Dr. Helena Santos** - O tratamento é que eu acho que é essencial, vê-se tanta coisa disparatada de antibióticos por aí, seja IA ou “espertice” artificial, venha o que vier que nós precisamos de ajuda.

**Mariana Graça** - E era isto, muito obrigada pelas suas perspetivas e depois também, no final, quando entregar a tese, vou enviar para quem participou e pode ser que tenhamos umas boas conclusões.

**Dr. Helena Santos** - Ótimo e se depois quiserem mais alguma intervenção digam.

**Mariana Graça** - Muito obrigada.

## APPENDIX C.4. – Interview with Nurse João Fernandes

**João Fernandes** - Olá, boa tarde.

**Mariana Graça** - Olá João, obrigada pela sua disponibilidade. Vai ser muito bom aqui para o meu estudo, é a minha primeira entrevista, está a ser um bocadinho difícil que as pessoas adiram, mas é uma coisa simples e vai contribuir muito para este estudo, que acho que é bastante interessante e, hoje em dia, cada vez mais, esta área da inteligência artificial, também há cada vez mais pessoas com conhecimento.

**João Fernandes** - Eu vou confessar que a mim atrai-me essa parte de como é que se aplica a inteligência artificial um bocadinho na medicina, que ainda estou um bocadinho cético de como é que é possível e que perspectivas e etc. Então, estava um bocadinho curioso, pronto, é mesmo isto, a palavra.

**Mariana Graça** - Exato, é mesmo também por causa disso, é também por isso que estamos a procurar opiniões e, portanto, aqui estamos, é uma entrevista curtinha, não é preciso grandes conhecimentos da inteligência artificial, é mais até opiniões, portanto, vamos a isto. Tenho aqui um Powerpoint só para nos guiar, para ser mais prático, mas é mais aqui para nos orientarmos. Consegue ver aqui o Powerpoint?

**João Fernandes** - Consigo.

**Mariana Graça** - Boa, então vamos lá dar início. Sou a Mariana, estou a tirar o mestrado em Business na Católica e o título da minha tese é A Systematic Review of AI in Hospital-Acquired Infections, ou seja, estou aqui a tentar procurar um pouco como é que podemos incorporar a inteligência artificial na gestão envolvendo a prevenção e a deteção de infeções hospitalares. Para dar uma breve introdução, em inteligência artificial referimos à simulação da inteligência humana através de uso de máquinas, especialmente sistemas computacionais, isso inclui Machine Learning, onde os sistemas aprendem com os dados para fazer previsões ou tomar decisões, processamento de linguagem natural para compreender e gerar a linguagem humana e aprendizagens mais profundas focadas em redes neurais para tarefas como reconhecimento de imagens. Na área da saúde, os sistemas de inteligência artificial variam desde ferramentas especializadas, como softwares projetados especificamente para prever riscos de infeção ou analisar dados laboratoriais, até plataformas de inteligência artificial de uso geral que podem auxiliar em tarefas mais amplas, como interpretação de dados, geração de relatórios ou desenvolvimento de estratégias. Nesta entrevista, tenciono procurar as suas experiências com a inteligência artificial, como ela contribui para a prevenção, o diagnóstico, a escolha terapêutica e o acompanhamento na gestão destas infeções hospitalares. Então, para começarmos, vamos começar pela prevenção. Prevenir infeções hospitalares é um primeiro passo crucial para a sua gestão e a inteligência artificial tem sido cada vez mais utilizada para prever e mitigar riscos de infeção. Modelos de vigilância baseados na inteligência artificial podem ajudar na deteção da resistência antimicrobiana e na otimização de estratégias de controlo de infeção, reduzindo assim a carga de trabalho dos profissionais. No entanto, tal como estávamos a falar, desafios como qualidade dos dados e barreiras de implementação ainda persistem. Além disso, embora a automação e a robótica tenham potencial no controlo de prevenção de infeções, as pesquisas atuais ainda são limitadas, com pouca ênfase na conscientização e no treinamento dos profissionais de saúde em relação a essas tecnologias. Aqui a questão que eu gostava de colocar é, na sua opinião, quais são os maiores desafios no uso da inteligência artificial para a prevenção de infeções hospitalares e como é que eles podem ser superados?

**João Fernandes** - Ui, sinceramente, eu acho que basicamente essa parte da robótica estou muito, muito, muito desatualizado, ou seja, não sei muito sobre essa questão, mas na minha opinião basicamente, eu acho que tem muito a ver com dados, com uma melhor gestão dos dados, que são ao fim e ao cabo retirados, que são ao fim e ao cabo colocados e melhores, eu acho que sim, eu acho que passa por aí, melhor gestão dos dados, dos dados de resistências, dos dados do número de infeções e isso ser de uma forma melhor integrado, porque acho que é isso que falta um bocadinho, porque nós temos dados, temos não sei o quê, mas e depois integrar aquela informação toda numa coisa que seja um bocadinho mais, numa leitura mais fácil e que nos possa dar algum feedback mais robusto, é isso que eu acho, é um bocadinho isso que falta, na minha opinião, claro, obviamente.

**Mariana Graça** - Ou seja, maior sistematização da qualidade de integração dos dados, acho que pode ser por aí, dos dados que temos, não é?

**João Fernandes** - O meu conhecimento de inteligência artificial não é assim tão vasto que consiga vislumbrar outra hipótese neste momento, obviamente.

**Mariana Graça** - Claro, mas é mesmo por aí, porque também o meu trabalho aqui é mais à volta da gestão, ou seja, não é tanto da parte de programação e assim, que nem, pronto, claro que também vai haver aqui uns pontos na minha tese que vão puxar, pronto, pesquisas já feitas e assim, mas não me vou focar tanto, porque nem é tanto por aí. Portanto, sim, é mais assim sistematização dos dados e aqui uma melhora nesta parte da gestão dos dados, claro. Ok, está ótimo assim. Agora passando para o diagnóstico. Identificar infeções com precisão e o mais cedo possível é essencial para um tratamento eficaz. A inteligência artificial tem mostrado bastante potencial para aprimorar os processos diagnósticos, desde a análise de dados genéticos até ao uso de algoritmos de Machine Learning para triagem de sintomas. Sistemas de inteligência artificial demonstram potencial para melhorar a precisão e eficiência do diagnóstico de diversas condições, incluindo desta questão das infeções hospitalares. No entanto, desafios como preocupações com a substituição de empregos, dilemas éticos e a integração da inteligência artificial nas práticas clínicas ainda persistem. Apesar de apresentar capacidades promissoras, os profissionais de saúde permanecem cautelosos em confiar totalmente na inteligência artificial, o que torna essencial aqui a realização de mais pesquisas para aprimorar esses modelos e garantir uma colaboração eficaz entre os sistemas de inteligência artificial e os médicos. Como é que acha que a inteligência artificial pode melhorar a precisão e eficiência na identificação de infeções em ambientes clínicos e quais desafios prevê na integração de modelos baseados em inteligência artificial com as práticas atuais de controlo da infeção?

**João Fernandes** - Eu acho que... É algo mais complicado. Eu acho que, para já, as barreiras... A grande barreira, na minha opinião, é que as pessoas ainda não estão bem cientes desta possibilidade, primeiro. Depois, não acreditam nesta possibilidade. Depois, eu acho que não há muita informação, também, basicamente. Eu acho que isto é uma área ainda um bocadinho nova. Também, entrar em um hospital, meu Deus, é completamente novo. Raramente se fala nesta questão da inteligência artificial. Eu acho que as pessoas não acreditam que isto seja possível ainda, ou seja, que seja possível haver um diagnóstico sem ser feito por um clínico, integrando todas as partes do que está em causa. Ou seja, basicamente, eu acho que a medicina está muito baseada, também, é verdade, em que os profissionais são muito robôs. Na prática, no meu ver, neste momento, nós próprios, nós profissionais, somos uns autênticos robôs. E, portanto, as pessoas ainda não perceberam isso, não é? Portanto, aquela coisa de olhar para a pessoa e ter um diagnóstico baseado na intuição e na clínica e no estar a ver o doente e não sei o quê, isso já há muito tempo, na minha opinião, que já passou há muito tempo. E as pessoas é que ainda não perceberam que na prática estão a fazer um sistema. Elas próprias são inteligência artificial sem o saberem. Não sei se me estou a fazer entender. Mas pronto, eu acho que é um bocado isto. E a inteligência artificial permite melhorar muito nós que estamos a fazer já este papel de inteligência artificial sem o sabermos. Porque, na prática, a medicina está muito pouco humanizada, na prática, não é? Porque não há, de facto, ou muito pouco, a integração da pessoa como um todo, não é? Nós somos vistos como... A pessoa que tem um problema renal é visto como um problema renal, não é? É visto como uma integração de todo. É muito pouco visto como uma integração do total, não é? E depois vai ao especialista de... vai ao nefrologista e depois também tem um problema cardíaco e vai ao cardiologista e não há uma integração destes processos todos. E, na prática, a inteligência artificial, eu penso que quando nós passarmos a acreditar que isto faz muito mais sentido e que na prática as pessoas têm um bocadinho medo de perder o seu lugar, não é? Porque basicamente é o que vai acontecer e não percebem muito bem qual é que vai ser o seu papel, os médicos neste caso, os profissionais de saúde de modo geral, qual é que será o seu papel quando este processo da inteligência artificial tiver, enfim, daqui a, sei lá, 100 anos, 50 anos, não faço ideia, qual é que é o papel então, o meu papel enquanto farmacêutico, ser humano farmacêutico e o papel enquanto médico, ser humano médico. Porque depois, se calhar, haverá com certeza outros papéis, nós podemos ter um meio disto tudo, mas isto mete um bocado de medo, como é evidente, não é? Com certeza que não será no meu tempo, digo eu, acredito eu, será uma coisa para daqui a 50 anos, acho eu, tenho impressão, mas eu acho que é um bocadinho este ceticismo que nós temos, profissionais de saúde.

**Mariana Graça** - Certíssimo. Muito bem. Agora, passando para a confirmação de diagnóstico. Bem, uma vez que uma infeção é detetada, possivelmente detetada, a sua confirmação é um passo crítico. As ferramentas de inteligência artificial, especialmente na análise de imagens, estão a ser cada vez mais utilizadas para otimizar fluxos de trabalho laboratoriais e melhorar a precisão na identificação de estruturas celulares relacionadas a infeções. Estudos recentes exploraram o uso de testes laboratoriais culminados com técnicas de Machine Learning no diagnóstico de infeções hospitalares e na identificação de condições de saúde desconhecidas. E, para além destes estudos, o que tem de ser visto é que o papel da inteligência artificial na imagem de doenças infecciosas, especialmente durante a pandemia do COVID-19, que também destrói-se aqui uma grande abertura para esta área, abriu novos caminhos para modelos mais robustos, embora ainda existam desafios na calibração e confiabilidade destas ferramentas à confirmação do diagnóstico. Como é que a inteligência artificial pode ser aprimorada para diagnosticar infeções hospitalares com mais precisão, utilizando testes laboratoriais em ambientes de saúde? Não faço ideia. É o que eu digo, o meu conhecimento da inteligência artificial não tem essa vastidão. Essa pergunta eu não sei responder mesmo, porque como é que os testes diagnósticos podem ser aprimorados? Eu acho que talvez, tendo em conta que os dados se calhar são muito mais precisos, talvez, acho

que é a precisão, acho que é basicamente a gente ter a certeza que de facto aquele diagnóstico está correto, com muito mais fineza, digamos assim, se é que esta expressão existe, mais clareza, mais precisão, basicamente é isso, ou seja, eu ter a certeza que aquele diagnóstico, e talvez, espero eu, a minha grande esperança é que esta inteligência artificial possa ver mais uma vez o doente como um todo. E não é só o diagnóstico de uma patologia renal, não, o diagnóstico de uma patologia renal integrado naquele corpo todo, que tem outras patologias se calhar associadas, outras comorbidades, e aquilo ao fim e ao cabo vai agregar, isto é a minha utopia também, a minha utopia será que estes sistemas permitam a integração do ser humano como um todo? Muito daquilo que eu defendi à pouco na resposta anterior, que é não vermos o doente como a patologia não sei das quantas, ou como o doente da ortopedia, que tem uma patologia na ortopedia no joelho, mas não, temos que ver que aquela questão do joelho se calhar também tem uma origem renal porque isto ou porque aquilo, então, isso era mesmo o ideal dos ideais, que é a complementaridade do ser humano como um todo e não como uma doença, como eu acabei de dizer à pouco. Então, eu acho que é a precisão e esta capacidade de análise global daquele doente como um ser humano, que tem esta ou aquela patologia, mas que é visto como um todo. Isto é um bocadinho, é a minha utopia mesmo, é mesmo aquilo que eu acho que seria muito importante para a medicina atualmente, que é o que falta na prática. Sinto que através de diferentes dados conseguiu fazer uma associação mais integrada daquele processo, daquela pessoa e mais uma vez, não ver a pessoa como a patologia Y ou X, mas como um ser humano que tem aquela questão no rim, aquela questão também no cardíaco, aquela questão sei lá onde, etc, mas aquilo é integrado num todo e não são diagnósticos assim espalhados, assim dispersos, nem se consegue bem integrar aquilo tudo. Portanto, e isto eu acho que acaba por ser um bocadinho mais preciso, porque havendo uma integração do processo das várias patologias do doente, acaba-se se calhar, digo eu, acredito eu, ou espero eu, ou gostaria eu, acho que é mais gostaria eu que fosse um bocadinho mais integrado e preciso nesse aspeto.

**Mariana Graça** - Por acaso é engraçado ter falado aí da patologia dos joelhos, já vou para a terceira operação ao misco e também já pensei, se calhar temos que começar a ver aqui algumas coisas, porque eu sou operada e nunca fica bom, se calhar é melhor fazer uns exames, outras possíveis causas... Quem sabe, não é?

**João Fernandes** - Sim, porque eu dou-lhe o meu joelho, então é do menisco, mas será que não é tipo o ácido úrico aumentado e sei lá, estou aqui a inventar, não é? Mas se calhar tem outra patologia qualquer. também não está a curar aquela situação e enfim, sei lá. E se calhar através da inteligência artificial há assim uma maior precisão e mais rapidez até na conexão de todos esses processos. Acredito eu ou espero eu, mas atenção, um conhecimento de inteligência artificial não vai tão longe, até porque eu estou com muita curiosidade, eu próprio estou com muita curiosidade de perceber um bocadinho mais em que ponto é que estamos da inteligência artificial na saúde e da sua prática e da sua integração na saúde neste momento, não sei, estou mesmo um bocado a leste. Acho que agora o objetivo é mesmo tentar primeiro aprimorar a inteligência artificial e depois em todos estes pontos, como por exemplo esta aqui da gestão das infeções hospitalares, que depois temos que dividir por fases, em todas estas fases vai ter que haver aqui muito estudo, muita programação, coisas que... A única coisa que utilizo é, às vezes faço umas perguntas no âmbito da saúde, obviamente também, não só, mas também, a única interação que eu tenho é com o ChatGPT, mais nada, que são os primórdios da inteligência artificial, acredito.

**Mariana Graça** - Agora aqui falando na escolha do tratamento. Após o diagnóstico de uma infeção, a escolha do tratamento mais adequado é fundamental. Sistemas de suporte à decisão baseado em inteligência artificial pode auxiliar na personalização da terapia antibiótica e na otimização das estratégias de tratamento. Além disso, os modelos de Machine Learning estão a ajudar a reduzir o uso desnecessário de antibióticos. No entanto, a integração total de inteligência artificial nos sistemas de saúde apresenta diversos desafios, incluindo preocupações de regulamentação, a padronização de abordagens entre instituições, a garantia de dados de alta qualidade e a definição do papel adequado da inteligência artificial em relação aos profissionais de saúde. Apesar destes desafios, o potencial da inteligência artificial para revolucionar a saúde é evidente, especialmente no desenvolvimento de abordagens personalizadas para a gestão de infeções e na criação de plataformas de diagnóstico integradas. Para aproveitar ao máximo os benefícios da inteligência artificial na área da saúde, a cooperação interdisciplinária e o compartilhamento de dados são essenciais. Como pode a inteligência artificial ser efetivamente integrada numa escolha terapêutica para infeções hospitalares, garantido que complementa a expertise clínica e ao mesmo tempo enfrenta desafios relacionados à qualidade dos dados, regulamentação e personalização dos tratamentos?

**João Fernandes** - Quanto à escolha do tratamento, hoje em dia também nós temos, aqui a medicina é muito baseada em protocolos, basicamente, hoje em dia há protocolos institucionais de cada instituição à partida, espero eu. Então basicamente perante um diagnóstico o médico já tem uma série, um protocolo que deve ser respeitado dentro do nosso hospital, não é? E portanto, basicamente, o que a inteligência artificial pode vir a fazer neste caso é sistematizar um pouquinho mais isto, porque os protocolos já existem, que devem ser seguidos, as guidelines já existem, portanto basicamente isto não é assim tão diferente do que se passa hoje em

dia. Em vez de ser eu médico, vá, o profissional de saúde, vou escolher o protocolo X, e o protocolo X automaticamente já sai, que a inteligência artificial, espero eu, associa logo o diagnóstico a esse protocolo, obviamente, e faz logo as prescrições do tratamento, duração, etc, etc. Depois não sei muito bem como é que vão gerir no meio disso tudo as várias nuances de efeitos secundários, ou doses que acabam por ser tóxicas, e depois essa parte aí não sei muito bem como é que se integra, mas basicamente a escolha do tratamento em função do diagnóstico atualmente já é feita um bocadinho por guidelines, portanto o médico já não tem que saber decorar nada disto, porque já há guidelines e protocolos que fazem para que isto seja um pouquinho mais sistematizado dentro do hospital e que as pessoas sigam mais ou menos a mesma guideline, basicamente a mesma sistematização, não é tão diferente. Ou seja, vai haver um maior cumprimento das guidelines e dos protocolos que são instituídos na prática, basicamente. Não vai haver as invenções, vá, digamos assim. O importante é que estes protocolos estejam bem integrados aqui nesta área da inteligência artificial. Pois, isso é outra conversa. Isso já não sei, essa parte aí já me exige que se faça mais programação, enfim.

**Mariana Graça** - Ok, então agora vamos para a última que é o follow-up, o acompanhamento, que não tenho muita informação ainda, mas após iniciar um tratamento convém irmos monitorando as respostas dos pacientes e prever os desfechos terapêuticos para garantir a recuperação. Do que eu procurei, existem modelos de inteligência artificial que estão a ser cada vez mais utilizados para prever como os pacientes responderão aos tratamentos com base em fatores clínicos. A inteligência artificial e o machine learning têm vindo a transformar a área da saúde ao fornecer modelos que preveem a resposta dos pacientes aos tratamentos. Estes algoritmos consideram fatores como idades, condições crónicas, valência de órgãos e planos de tratamento. E, pelo que se tem visto, atingem níveis impressionantes de precisão. Diante destes avanços, como é que acha que a inteligência artificial pode aprimorar a estratégia de acompanhamento? Especialmente na previsão de desfechos a longo prazo para pacientes com condições complexas.

**João Fernandes** - Como é que acho que pode ser feita esta estratégia? Eu acho que basicamente a resposta tem um bocadinho a ver com aquilo que eu há pouco falei, da integração do ser humano como um todo. Ou seja, eu estou a prescrever o antibiótico X ou Y, para uma infeção específica, mas eu estou a esquecer que aquela pessoa, ou eu não sei, muitas vezes, o que acontece é que muitas vezes, quer dizer, eu não tenho de saber, ou não sei, se calhar o doente não me disse, que aquele doente se calhar é seguido na consulta de cardiologia ou na consulta sei lá do quê. Imagine, um doente que entra aqui na urgência e que se calhar nem fala ou que nem tem capacidade de, sei lá, não sabe ou não percebe que pode ter uma influência muito grande, ele estar a ser seguido na cardiologia ou sei lá, em outro hospital. Portanto, esta é pouca capacidade. Nós neste momento integramos os dados todos na saúde, que está a melhorar, está a melhorar, como é óbvio, mas ainda está muito primário. Deu-se saber que aquela pessoa é seguida num hospital X, Y, Z, desta e aquela patologia, portanto eu estou a prescrever neste momento um antibiótico e se calhar estou à espera de um resultado que é o que, basicamente, o que seria de esperar, se aquele paciente tivesse só aquela infeção, mas na prática ele não tem só aquela infeção, tem a patologia X, Y, Z, não sei o quê, seguido num hospital tal, tal, tal e possivelmente o desfecho não vai ser o mesmo, porque eu não estou, eu não sei ou não estou a contar que aquele doente tenha outras patologias associadas e então eu se calhar na deteção daquele diagnóstico, e a inteligência artificial poderá permitir isso, eu já sei que outras patologias, ou seja, o doente mais uma vez é visto como um todo, como um ser humano completo, multifatorial, não é? E depois também há aqui outro fator, que é o fator individual de cada um de nós, que nós muitas vezes nos esquecemos, nós não somos uns seres, somos muita coisa, muita coisa mesmo. E eu não sei até quando é que a inteligência artificial vai um dia conseguir integrar-nos, não só como seres que têm patologias, mas como seres que, sei lá, são normais, vá, digamos assim, entre aspas, não têm patologia, mas que têm condições que fazem com que o antibiótico X ou Y não tenha um comportamento idêntico ao meu vizinho do lado. Eu até posso não ter patologia nenhuma, mas o antibiótico em mim comportasse-se de uma forma diferente que se comporta com o ser humano, e nós muitas vezes, porque não há conhecimento sequer, nem sequer há, eu acho que as pessoas até pensam, mas não há forma de hoje em dia percebermos como é que a minha fisiologia normal, que é normal, pode condicionar efetivamente um tratamento, porque nem sequer pensamos nisso. Ou seja, neste momento nós somos estatísticas. Se o antibiótico A, B ou C se comporta em média na população de uma maneira tal, então eu vou esperar que naquele doente se comporte dessa maneira tal, mas não, porque quer dizer, eu sou um ser completamente diferente da média da população. E nós, e obviamente na saúde, os medicamentos são administrados, as doses são administradas em função da média da população, do comportamento daquilo que nós achamos que é o comportamento da população, é a média. Só que há muitos doentes que saem fora disso tudo e nem sequer é por patologias, é porque fisiologicamente são diferentes. E se de alguma forma a inteligência artificial um dia conseguir perceber essas nuances específicas de que nós somos seres completamente diferentes dos outros, tendemos por uma média mas que na prática não somos, quer dizer que nós não somos estatísticas, então se algum dia a inteligência artificial conseguir perceber esta nuance de nós não sermos uma média e sermos efetivamente seres individuais, então a possibilidade de ajustarmos doses a cada ser individual em função da sua fisiologia, absolutamente normal, seria assim tipo o ideal, não sei se isto algum dia vai ser possível, mas isto era o ideal, era eu ter de facto capacidade de personalizar aquela terapêutica para

aquele doente em função das especificidades fisiológicas até normais daquele doente. Isto é muito difícil, acredito eu, mas, portanto, o resultado esperado é o resultado para aquela pessoa que é um ser único. Obviamente que isto é muito difícil, quer dizer, então eu tinha de ter, quer dizer, basicamente como é que eu vou ajustar aquele antibiótico àquela pessoa que eu sei lá, não sei que fisiologicamente aquela pessoa funciona de uma maneira muito específica, isto é muito difícil. Ou seja, nós quando damos uma dose de um antibiótico é em função daquilo que é o normal para uma população da qualidade e daquela faixa etária e pronto, com aquelas questões patológicas que aquela pessoa tem, mas de um modo geral, de um modo muito específico, como é óbvio, se não tinha que haver doses muito específicas.

**Mariana Graça** - Ok, obrigada, era mesmo isto que eu procurava. Vou continuar aqui a tentar também saber mais opiniões. Se tiver conhecimento de alguém que possa também ser útil para este estudo pode-me enviar um mail, se alguém tem interesse, que é sempre bem-vindo, novas opiniões. E é isso, agradeço imensamente a sua disponibilidade. Também a sua opinião e obrigada, muito obrigada.

**João Fernandes** - Ok, obrigada, boa tarde e até breve. Até breve, até uma próxima. Obrigada.

**Mariana Graça** - Obrigada.

## APPENDIX C.5. – Interview with Dr. Nuno Pereira

**Mariana Graça** - Olá, boa tarde.

**Dr. Nuno Pereira** - Olá, tudo bem?

**Mariana Graça** - Tudo bem? Doutor Nuno, obrigada pela sua participação e o tempo disponibilizado e interesse também neste tema da inteligência artificial no que toca às infeções hospitalares. Não sei se já tinha algum contacto com esta área, teve algum contacto ou se foi só o interesse.

**Dr. Nuno Pereira** - Contacto prático não tenho.

**Mariana Graça** - Sim, é normal.

**Dr. Nuno Pereira** - Ou seja, utilizar ferramentas na prática, não, mas algum conhecimento da área, sim.

**Mariana Graça** - Boa, boa. Bom, é isso que nós procuramos aqui, recolher opiniões de diferentes profissionais. Não são opiniões muito científicas, mas é tanto procurar um pouco de conhecimento geral e tendo em conta também a vertente da componente hospitalar, o que é que podemos aqui recolher para também, no final desta tese, vermos se temos uma boa opinião em relação ao uso de inteligência artificial na gestão das infeções hospitalares. Para guiar aqui a entrevista, eu fiz um mini Powerpoint, só para ser mais prático, que vou partilhar. Creio que já consegue ver. Portanto, como já tinha dito no email, chamo-me Mariana, estou a finalizar o meu mestrado em Business, na Católica e como parte da minha tese, que é a Systematic Review of AI in Hospital Acquired Infections, enquanto vou explorar o papel da inteligência artificial na melhoria da gestão das infeções adquiridas em hospitais. Como sabemos, a inteligência artificial refere-se à simulação da inteligência humana por máquinas, especialmente sistemas computacionais. Aqui não procuro muito saber acerca desta parte da programação, que também não é tanto a minha área, mas que também é interessante procurar depois mais tarde saber em termos de resultados. Isto já faz parte um bocado da minha revisão de literatura, pois tentar assimilar pesquisas. Os sistemas computacionais incluem o Machine Learning, onde os sistemas aprendem com os dados para fazer previsões ou tomar decisões, processamento de linguagem natural para compreender e gerar a linguagem humana e aprendizagens mais profundas, que estão focadas em redes neurais para tarefas como reconhecimento de imagem. Na área da saúde, os sistemas de inteligência artificial variam desde ferramentas especializadas, como softwares projetados especificamente para prever riscos de infeção ou analisar dados laboratoriais, até plataformas de inteligência artificial de uso geral, que podem auxiliar em tarefas mais amplas, como a interpretação de dados, geração de relatórios ou desenvolvimento de estratégias. Nesta entrevista, tenciono explorar as suas experiências com a inteligência artificial e como ela contribui para a prevenção, o diagnóstico, a escolha terapêutica e o acompanhamento na gestão das infeções hospitalares. Que foi assim um bocado a maneira como nós dividimos esta gestão. Para dar início, vamos começar então com a prevenção. Prevenir infeções hospitalares é um primeiro passo crucial para a sua gestão e a inteligência artificial tem sido

cada vez mais utilizada para prever e mitigar riscos de infecção. Modelos de vigilância baseados em inteligência artificial podem ajudar na detecção de resistência antimicrobiana e na otimização das estratégias de controlo de infecção, reduzindo assim a carga de trabalho dos profissionais. No entanto, desafios como qualidade dos dados e barreiras de implementação ainda persistem. Além disso, embora a automação e a robótica tenham potencial no controlo da prevenção de infeções, as pesquisas atuais ainda são limitadas com pouca ênfase na conscientização e no treinamento dos profissionais de saúde em relação a essas tecnologias. O que eu gostava de saber aqui na parte da prevenção é, na sua opinião, quais são os maiores desafios no uso de inteligência artificial para a prevenção de infeções hospitalares e como é que eles podem ser superados?

**Dr. Nuno Pereira** - Não é uma pergunta fácil.

**Mariana Graça** - Não há respostas corretas, é mesmo o que acha que pode influenciar aqui esta parte.

**Dr. Nuno Pereira** - Tem um bocadinho a ver também com aquilo que nós entendermos, com o que é que pode ser feito em termos de prevenção, não é? Nós, se pensarmos nas infeções hospitalares, a forma de as prevenir, apesar de tudo, está razoavelmente documentada. Ou seja, o que é que nós devemos fazer para as evitar está razoavelmente documentado. E, portanto, não antevejo a utilização, por exemplo, de inteligência artificial para identificar novos campos de atuação de prevenção. Acho que os pontos onde nós temos de atuar já são razoavelmente conhecidos. Embora não negue que possamos descobrir algumas coisas que não sabemos, mas não me parece que seja por aí. Dentro daquilo que são boas práticas, acho que onde é que poderá estar papel na identificação de doentes que estão em maior risco? E aí acho que um dos desafios poderá ser os dados não estarem estruturados. Portanto, a obtenção de dados não estruturados, o texto livre e tudo isso. E depois há uma outra parte que tem a ver com a aplicação de boas práticas, aqueles que nós chamamos, na tradução portuguesa, de fechos de intervenção. E em que aí o principal papel que eu vejo até será na extração de dados, por assim dizer, relativamente ao seu cumprimento e à geração de lembretes, por exemplo, para as pessoas o fazerem. Qual é que será o maior desafio à incorporação deste tipo de ferramentas? Eu diria tempo para desenvolvimento e disponibilidades profissionais, custo, porque, como se calhar a Mariana já se apercebeu, não há propriamente imenso financiamento para inovação no âmbito do Sistema Nacional de Saúde. E depois eu acho que há um terceiro desafio que é, talvez o maior destes todos, que é, por ótimas ferramentas que tenha, conseguir que as pessoas as utilizem. E isso é para quem trabalha nesta área, como eu, nós percebemos isso. Nós sabemos que coisas muito low-tech, como a higiene de mãos, são altamente custo-efetivas. Mas temos muita dificuldade, nós, e não é só um problema português, em que as pessoas efetivamente adiram a esse tipo de boas práticas. Portanto, acho que o principal desafio deles todos é a utilização das ferramentas que possam vir a ser criadas ou geradas ou que possam estar disponíveis.

**Mariana Graça** - Ok, certíssimo, obrigada. Então, aqui da prevenção já estamos resolvidos, vamos passar então para o diagnóstico. Identificar infeções com precisão e o mais cedo possível é essencial para um tratamento eficaz. A inteligência artificial tem mostrado potencial para aprimorar os processos diagnósticos, desde a análise de dados genéticos até o uso de algoritmos de Machine Learning para triagem de sintomas. Os modelos de inteligência artificial demonstram potencial para melhorar a precisão e a eficiência do diagnóstico de diversas condições, incluindo das infeções hospitalares. No entanto, desafios como preocupações como substituição de empregos, dilemas éticos e a integração da inteligência artificial nas práticas clínicas ainda persistem. Apesar das suas capacidades promissoras, os profissionais de saúde permanecem cautelosos em confiar totalmente na inteligência artificial, o que torna essencial a realização de mais pesquisas para aprimorar esses modelos e garantir uma colaboração eficaz entre os sistemas de inteligência artificial e os médicos. Como é que acha que a inteligência artificial pode melhorar a precisão e a eficiência na identificação de infeções hospitalares em ambientes clínicos? E quais desafios prevê na integração de modelos baseados em inteligência artificial com as práticas atuais de controlo de infeção?

**Dr. Nuno Pereira** - Vou começar, é uma narrativa circular. Vou começar como acabei com a outra.

**Mariana Graça** - Está tudo muito interligado.

**Dr. Nuno Pereira** - A minha resposta é que é circular. Não é a pergunta em si. Não me interprete mal. Eu acho que, mais uma vez, vou começar pelo fim. Que desafios prevê na integração dos modelos nas atuais práticas de controlo de infeção? Acho que tem muito a ver com, mais uma vez, disponibilidade de recursos. É o principal desafio. E aqui, na minha área de trabalho, acho que estes desafios que colocou aqui relativamente aos dilemas éticos ou substituição de empregos não se coloca porque nós estamos numa área, não sei se a Mariana já se terá apercebido disso em outras entrevistas, em que nós somos claramente deficitários em termos de recursos humanos. Se for consultar dados europeus do SCDC, percebe que o nosso staffing na área da prevenção e

controlo de infeção comparado com países da Norte da Europa é ridículo. E, portanto, este desafio eu retiraria da equação. Aliás, vemos com muito bons olhos coisas que nos facilitem o trabalho e que nos retirem necessidades de recursos que nós já não os temos e, portanto, temos só acumulação de tarefas. E depois, há aqui, eu acho que isto tem duas vertentes. Deixa-me só fazer aqui um parêntese e perguntar-lhe qual é que é o seu background. Percebi que está a fazer agora mestrado, mas...

**Mariana Graça** - Portanto, eu tenho licenciatura em Química e estou a acabar agora o mestrado em Gestão.

**Dr. Nuno Pereira** - Ok, pronto. Só para perceber se era da área da Saúde ou não. Mas se eu disser alguma coisa que esteja fora do seu âmbito habitual? Por favor, diga.

**Mariana Graça** - Sim, eu digo.

**Dr. Nuno Pereira** - A infeção hospitalar. Eu acho que há aqui duas vertentes que nós temos de separar para responder a esta questão. Ou seja, nós temos a vertente infeção hospitalar, prevenção da infeção e aquilo que nós, unidades de prevenção e controlo de infeção, fazemos é muito retrospectivo. A nossa atividade é perspetiva, mas aquilo que nós nos baseamos para agir é muito retrospectivo. Ou seja, vigilância epidemiológica lá do censo e, portanto... E aí eu acho que há um papel grande para este tipo de ferramentas, ok? A vigilância em Portugal ainda é muito manual e, portanto, há ferramentas de vigilância semiautomática e, com inteligência artificial, provavelmente, de vigilância automática e, com isso, conseguir-se fazer uma vigilância de infeção hospitalar que seja global. Portanto, eu não conheço... Posso insistir, mas não conheço nenhum hospital em Portugal que faça vigilância de toda a infeção hospitalar. Ou seja, que saiba precisamente quantas pneumonia associadas à hospitalização é que teve no ano de 2024. E, portanto, acho que aí pode ser um acréscimo brutal se conseguir, de facto, pôr a funcionar esse aspeto em que nos vai dar dados robustos e aqui também não se coloca tanto a questão deles serem dignos para uma decisão clínica, não é? É para fins epidemiológicos, portanto, mas que nos possa ao longo do tempo dar uma ideia de como é que a incidência de infeção hospitalar está a ocorrer e como é que ela se distribui por várias áreas dos hospitais ou dos cuidados de saúde. Isso, obviamente, vai-nos aportar mais informação, vai-nos permitir decidir melhor e fazer melhoria da qualidade. Isso é um lado. Depois, também acho que há um papel na identificação de infeções hospitalares, mas aí no sentido de auxiliar à decisão clínica. Ou seja, acho que de forma genérica os modelos de inteligência artificial vão ser incorporados naturalmente na prática clínica para sistemas de apoio à decisão clínica, para a sinalização de doentes que podem ter determinado tipo de diagnóstico. E da forma que eu vejo, obviamente eu não sou um perito na área, isto poderá reduzir necessidades de recursos, mas necessitará, até do ponto de vista provavelmente da decisão e do ponto de vista ético ou médico-legal, de uma validação humana. Portanto, eu vejo mais como um sistema de apoio à decisão clínica, e nesse sentido, pegando aqui no início da sua pergunta, pode melhorar a precisão, de certeza, pode melhorar a eficiência, também de certeza, porque eu parto um bocadinho da minha própria experiência. Quando estou a aconselhar um colega ou a discutir com um colega a melhor antibioterapia para tratar determinada infeção hospitalar, há um conjunto de informação que eu vou sempre consultar, e que está habitualmente nos sistemas informáticos do nosso Serviço Nacional de Saúde, está em mais de uma plataforma, e portanto há múltiplos cliques. Se, quanto mais não seja isso, algo que aprenda aquilo que eu quero consultar para decidir, e me mostra essa informação à partida, só isso aumentaria a eficiência. Mas acho que ainda há outra coisa que é, para melhorar a precisão do diagnóstico, há informação que eu às vezes posso não consultar habitualmente, e que pode ser importante para me fazer prever determinada infeção hospitalar. Portanto, vejo esses dois campos paralelos. Um que pode ter aqui, de facto, alguns dilemas éticos e médico-legais, e um outro que eu acho que não tem dilema nenhum, a partir do momento em que a ferramenta seja robusta, acho que só seria vista com bons olhos, porque são melhores dados para a decisão em vigilância epidemiológica e prevenção e controlo de infeção.

**Mariana Graça** - Ok. Então uma ferramenta mais de apoio, não tanto de substituição, digamos.

**Dr. Nuno Pereira** - Certo. Há outra coisa, desculpe-me já agora, não estava a querer lembrar. Há infeção hospitalar, mas este mais no sentido da vigilância epidemiológica, que nós diagnosticamos, ou podemos classificá-la como tal, lá está, retrospectivamente, mas que tem um período de vigilância. Por exemplo, infeções associadas à cirurgia. É importante que nós saibamos qual é a incidência delas, quando é que elas acontecem e quando é que não acontecem. O período de vigilância recomendado, por exemplo, pelo SCDC, o Centro de Controle de Doenças Europeu, para cirurgias que não tenham colocação de qualquer implante, é de um mês. A maior parte dos doentes já não estão no hospital, no mês seguinte a terem feito a sua cirurgia, e muitos deles podem não ter uma consulta de reavaliação nesse período que nos permita fazer esse diagnóstico. E, portanto, há uma coisa da inteligência artificial que me parece que pode ter aqui um papel que tenha a ver com os bots para fazer consulta remota. No fundo, consulta, entre aspas, não é? Algo que me possa ligar a perguntar-me duas ou três coisas que eu tenho e que seja capaz de adaptar ao discurso de quem está ali a responder. E os bancos já têm isso a funcionar, que no outro dia recebi uma chamada, claramente, feita por um bot e que ele teve capacidade de

conversar comigo e durante algum tempo eu tive dificuldade em perceber que era um bot. E lá está. Mas é uma criação de uma funcionalidade. Não vai substituir ninguém porque a maioria das instituições neste momento não têm recursos humanos para fazer este acompanhamento por via telefónica. Portanto, não vai substituir um humano. Vai criar, vai melhorar. Vai criar aqui um mecanismo, provavelmente, que podia acrescentar e que nos podia dar uma imagem mais fidedigna da incidência de infeção, por exemplo, do local cirúrgico.

**Mariana Graça** - Ok, muito bem. Pois, eu acho que aqui, nas minhas perguntas, eu acho que vai sempre um bocado à volta do mesmo. Mas, no fundo, conseguimos sempre concluir alguma coisa diferente. É bom ter esta perspetiva. E agora, aqui, o que eu queria saber era a confirmação de diagnóstico. Então, uma vez que é detetada uma possível infeção, a confirmação de diagnóstico é um passo crítico. Ferramentas de inteligência artificial, especialmente de análise de imagens, estão a ser cada vez mais utilizadas para otimizar fluxos de trabalho laboratoriais e melhorar a precisão na identificação de estruturas celulares relacionadas a infeções. Estudos recentes exploraram o uso de testes laboratoriais combinados com técnicas de Machine Learning no diagnóstico de infeções hospitalares e na identificação de condições de saúde desconhecidas. Além disso, o papel da inteligência artificial na imagem de doenças infecciosas, especialmente durante a pandemia do COVID-19, que, por acaso, contribuiu muito para o desenvolvimento desta área da inteligência artificial, abriu novos caminhos para modelos mais robustos, embora ainda existam desafios na calibração e confiabilidade destas ferramentas. Como é que acha que a inteligência artificial pode ser aprimorada para diagnosticar infeções hospitalares com mais precisão utilizando testes laboratoriais em ambientes de saúde?

**Dr. Nuno Pereira** - Ora bem, aqui eu tenho mais dificuldade porque é um bocadinho mais fora da minha praia. O que é que nós estamos a assistir em termos de diagnóstico microbiológico? Portanto, o que é aquilo que estamos a falar. Estamos claramente a migrar a tecnologia do século XIX para a metodologia rápida. Portanto, passado da identificação do agente em cultura para a identificação do material genético do agente em produtos biológicos. E isto está a aumentar a velocidade com que nós conseguimos estabelecer um diagnóstico e ajustar melhor as nossas atitudes terapêuticas. Eu conheço pior este terreno e não sei muito bem como é que a indústria da tecnologia desta área está a meter aqui a inteligência artificial ao barulho. Há uma área em que eu tenho algum conhecimento e que eu vejo que terá um papel importante que é no tratamento dos dados provenientes de análise genética. Portanto, por exemplo, sequenciação de material genético de agentes microbiólogos que tipicamente é um, perdoem o anglicismo, bottleneck para aceder a sequenciação é num termo de engenheiros bioinformáticos em quantidade suficiente para depois fazer a integração destes dados e perceber que aquela sequência de A's, C's, G's e C's o que é que ela significa em termos de mecanismos moleculares, por exemplo, de resistência e o que é que isso traduz em que tem de alterar a terapêutica. E sei que nessa área há algum trabalho da inteligência artificial de pegar nos dados e, passa a expressão, cuspir um resultado muito mais rapidamente do que ter que ter aqui um bioinformático a fazer esse trabalho e a consultar bases de dados de referência e tudo isso. E é mais aí que eu vejo a intervenção. Porque depois, na rotina laboratorial habitual que obviamente tem ali a otimização dos fluxos de trabalho laboratoriais mas a maior parte dos fluxos laboratoriais na área microbiológica são muito coisas dicotómicas que uma árvore de decisão faz que não precisa propriamente da inteligência artificial diria. Mas há aqui um mundo novo, lá está, das metodologias moleculares com análise de material genético. Mas mais do que isso também não consigo dizer porque, de facto, aí já sai um bocadinho da minha praia.

**Mariana Graça** - Não, mas está bom porque eu depois também vou procurar um bocado acerca deste tema que me está a falar e pode ser que também encontre mais informações que sejam pertinentes. Portanto, é sempre bom, se o que puder vir à cabeça é sempre bom porque é tudo bem vindo. Então, ótimo. Então, vamos passar agora para a escolha do tratamento. A escolha do tratamento de uma infeção é fundamental e atualmente sistemas de suporte à decisão baseada em inteligência artificial podem auxiliar na personalização da terapia antibiótica e na otimização das estratégias de tratamento. Além disso, modelos de Machine Learning estão a ajudar a reduzir o uso desnecessário de antibióticos. No entanto, a integração total da inteligência artificial nos sistemas de saúde apresenta diversos desafios, incluindo preocupações de regulamentação, a padronização de abordagens entre instituições, a garantia de dados de alta qualidade e a definição do papel adequado da inteligência artificial em relação aos profissionais de saúde. Apesar desses desafios, o potencial da inteligência artificial para revolucionar a saúde é evidente, especialmente do desenvolvimento de abordagens personalizadas para a gestão de infeções e na criação de plataformas de diagnóstico integradas. Para aproveitar ao máximo os benefícios da inteligência artificial na área da saúde, a cooperação interdisciplinar e o compartilhamento de dados são essenciais. Como é que acha que a inteligência artificial pode ser efetivamente integrada numa escolha terapêutica para infeções hospitalares, garantindo que complementa a expertise clínica e, ao mesmo tempo, enfrenta desafios relacionados à qualidade dos dados, regulamentação e personalização dos tratamentos?

**Dr. Nuno Pereira** - Aqui acho que é uma área em que, evidentemente, vai ser extremamente útil. Um bocadinho daquilo que eu já tinha começado a dizer há pouco. Nós, quando tomamos uma decisão, por exemplo, sobre terapêutica antibiótica, sobre um antimicrobiano que vamos prescrever, consideramos um conjunto de informação habitual e o momento mais crítico, habitualmente, nessa escolha é quando eu não sei qual é o agente microbiano que está a causar aquela infeção. Portanto, eu já sei que tenho uma infeção, ou suspeito que tenho uma infeção, e aí também, provavelmente, os modelos de apoio para sinalizar características dos doentes que provavelmente terão uma infeção e dizer e provavelmente é pulmonar, ou é urinário, ou é abdominal, ou o que quer que seja, também existirá provavelmente papel aí para a inteligência artificial, mas depois o passo seguinte é ok, eu sei que é uma infeção, provavelmente é pulmonar, portanto provavelmente é uma pneumonia, habitualmente os agentes que estão aqui envolvidos são estes e habitualmente o perfil de sensibilidade dos agentes aos antibióticos que eu tenho disponíveis é este. E isto é o que nós fazemos hoje em dia. Uns um bocado melhores, outros piores, outros têm mais informação, outros pior. É óbvio que há aqui um campo brutal para isto ser uma decisão melhor informada com ferramentas que peguem em tudo isto que habitualmente nós fazemos e ainda peguem em outros padrões que nós completamente desconhecemos porque há um manancial de informação imenso, por exemplo, na pesquisa do doente similar àquele que eu tenho à minha frente, em termos de idade, com probabilidade, se diz a que foi submetido, duração de internamento, para dizer que há uma probabilidade grande do agente ser este. Ou, se escolher este antibiótico, a probabilidade de acertar é X, que é uma coisa que nós habitualmente não temos. Vou usar um exemplo. Se eu tiver um doente que eu sei que tem uma bactéria no sangue imagine isso, nessa situação. Tenho uma situação em que há bacteremia, tenho uma bactéria no sangue. E eu habitualmente, quando sei isso, significa que alguém já no laboratório conseguiu visualizar a existência da bactéria e, portanto, eu até já sei se ela é de tipo gram negativo ou gram positivo. Dentro dos gram negativo, eu sei como é que tem sido o meu padrão no hospital. Mas isso é super grosseiro, como calcula, não é? E sei-lhe dizer, bem, se agora me disseres que, para além de um gram negativo, é uma clevesiela, eu, comparando com o meu histórico de clevesielas no sangue do ano passado, sei que 40% delas vai ser resistente a cefalosporinas de terceira geração. E eu que me dedico a esta área, eu sei esta informação toda. E isto é super grosseiro. Eu considero isto super grosseiro. O médico comum, entre aspas, que está na enfermaria de medicina interna a tratar este doente, nem esta informação toda tem. Ou quer dizer, pode tê-la, mas não a considera. E aqui, nesta área, em particular, eu sei que já existem algumas ferramentas. Estamos até em conversação para fazer um piloto com uma empresa dinamarquesa de uma ferramenta deste tipo, de apoio à decisão clínica, que depois se quiser consultar, que se chama Treat, de tratamento. Eles de facto têm uma ferramenta que já inclui coisas muito engraçadas, que já estima de acordo com a informação clínica de alguns parâmetros qual é a gravidade do doente, qual é a probabilidade de ser determinado foco, e se eu lhe disser qual é o antibiótico que estou a pensar iniciar ele devolve uma probabilidade de acertar ou de ter eficácia, passo a expressão. Agora, esse próprio software que lhe estou a falar tem vinte anos de desenvolvimento e já tem muitos surtos clínicos mas ainda incorpora muito poucas coisas como ir à linguagem natural dos textos clínicos e ir buscar também informação daí. Portanto acho que pode aí ser muito melhorado. O que é que eu vejo como desafios? Um: como é que isto se regulamenta. Se calhar a Mariana já tem ideia disso, já deve ter estudado esse campo. Neste momento há já duas ou três ferramentas na de IA, sobretudo na área da Cepsis que obtiveram aprovação da FDA como dispositivo médico, a própria aplicação, portanto, é uma coisa que vai ser usada em doentes e portanto seguiu a regulamentação do dispositivo médico. E eu acho que essa via, embora interessante para assegurar que estamos a ter ferramentas que são robustas e seguras e que não estamos a usar algo para prever ou para ser um sistema de apoio à decisão clínica e que depois nos possa enviesar a nossa decisão, apesar de tudo esse caminho regulamentar sobretudo na Europa é super lento, ok? Portanto não sei se poderemos ir por aí. Mas de qualquer forma tem que haver alguma segurança de que não estamos a ter vieses. Depois há o fator humano que vai ser muito difícil, que é, vai ser necessário haver aqui uma grande capacidade formativa, para perceber como é que nos fluxos de trabalho, que vão ter claramente que mudar, eu vou ter que incorporar este aconselhamento. Neste momento eu não tenho este tipo de ferramentas de apoio à decisão clínica que são muito excipientes ou não existem, em maior parte dos sítios. De repente eu tenho aqui uma coisa que me aparece quando eu prescrevo um antibiótico a dizer olhe, atenção que eu acho que o senhor tem uma pneumonia e portanto... Como é que o médico humano vai gerir esta informação, como é que vai gerir... A gente costuma dizer que a medicina é gerir incerteza no fundo, não é... Porque nós não temos 100% certeza nunca, e como é que vamos gerir o facto de ter aqui agora o sistema informático... quer dizer... estás a prescrever este antibiótico, isto provavelmente vai ser 80% das vezes eficaz. Na maioria das infeções que não têm gravidade e o doente não está em estado crítico provavelmente é excelente. Mas se calhar se eu der esta informação a um clínico que está no serviço de urgência, a um médico que está no serviço de urgência a ver um doente dizer, olhe, este antibiótico vai resultar 80% das vezes, mas se deres este vai acertar 100% das vezes. Isto, no limite, pode ter o efeito perverso que é aumentar a seleção de estirpes recedentes e aumentar resistência microbiana. Portanto, como é que nós vamos fazer o deployment deste tipo de tecnologias e integrá-los, sem que isto depois também conduza a efeitos deletérios, não é? Eu estou a tomar uma decisão, e se ninguém me diz nada sobre aquilo eu acho que estou a tomar a melhor decisão e acho que estou de acordo com as boas práticas e com as melhores

recomendações, mas se a certa altura tenho o sistema a dizer, olhe, isto tens uma probabilidade de acertar de 75%. Como é que isto vai ser integrado e como é que se vai gerir essa incerteza acho que isso é absolutamente interessante e vai ter de ser algo de, obviamente, estudo científico.

**Mariana Graça** - Até lá acho que ainda vai demorar um bocadinho mas o que importa é dar os primeiros passos. Assim, do que eu ouvi, já há bastantes empresas focadas neste aspeto. Se calhar daqui, não digo, 50 anos, 70 anos, se calhar já vamos ter aqui uma coisa bem incorporada.

**Dr. Nuno Pereira** - Acho que está a ser pessimista Mariana. Acho que vai mudar muito rapidamente.

**Mariana Graça** - Cada vez as mudanças são mais rápidas.

**Dr. Nuno Pereira** - Acho que se tivermos esta conversa daqui a 10 anos, já estará completamente diferente. Até a forma como nós, provavelmente, vamos ter de fazer os recursos médicos, de medicina, vai ter de ser completamente diferente. Eu tenho muita dificuldade em dar aulas aos meus alunos com o estilo dispositivo hoje em dia, quer dizer... Já devíamos ter mudado isso.

**Mariana Graça** - Muito bem, então agora vamos para a etapa final que é o acompanhamento, que, muito sinceramente ainda não encontrei muita informação, não há muita informação sobre este follow-up. Mas vamos aqui ver o que encontramos. Então, acompanhamento. É importante monitorar as respostas dos pacientes e prever os desfechos terapêuticos para assim garantir uma boa recuperação e há modelos de IA que estão a ser cada vez mais utilizados para prever como é que os pacientes responderão aos tratamentos com base em fatores clínicos. Tanto a IA como o Machine Learning têm vindo a transformar a área da saúde ao fornecer modelos que preveem a resposta dos pacientes aos tratamentos. Estes algoritmos consideram fatores como idade, condições crónicas, falência de órgãos e planos de tratamento que têm vindo a atribuir níveis bastante bons de precisão. Diante destes avanços, como é que acha que a IA pode aprimorar as estratégias de acompanhamento, especialmente pronto na previsão de desfechos a longo prazo para pacientes com condições complexas.

**Dr. Nuno Pereira** - Costumo dizer que a infeciologia, que é a minha área, tem uma coisa boa que é: nós curamos os doentes. Portanto habitualmente não estamos a pensar em desfechos a muito longo prazo. Ou seja, eu quando trato uma infeção, o meu desfecho é a mortalidade intra-hospitalar habitualmente, não é, é isso que eu estou a tentar evitar. Se eu tiver um modelo de apoio à decisão que me diga, atenção tu vais tratar esta infeção, mas a probabilidade deste doente estar vivo daqui a 3 meses é baixíssimo porque ele tem uma neoplasia no pâncreas, isso não me vai fazer não tratar, a não ser que o tratamento em si seja altamente evasivo e custoso em termos de qualidade de vida para o doente, aí, claro que essas considerações têm de se fazer. Agora, tenho mais dificuldade em olhar aqui para esta área do ponto de vista da infeção, porque habitualmente a infeção é um quadro auto limitado. Auto limitado que não é auto limitado, mas é um quadro limitado, passo a expressão. Porque nós o limitamos dando uma terapêutica adequada, ou porque evolui desfavoravelmente e o doente não sobrevive. Mas, há aqui um papel para prever, lá está, aquilo que estava a dizer, tendo em conta as disfunções de órgão que este doente tem, a idade que ele tem e as comorbilidades, a probabilidade que tu tens de, com este antimicrobiano, para veres com que esta informação seja tratada é X, se juntares aqui uma drenagem por radiologia de intervenção porque ele também tem um abscesso, a probabilidade é Y, mas aqui estamos um bocadinho, sei lá... Eu aqui via mais papel por exemplo na área da insuficiência cardíaca, em que são doentes crónicos, ou diabetes, ou o que quer que seja, do que propriamente na área da infeção, tenho um bocadinho mais de dificuldade em aprimorar isto, ou em ver isto.

**Mariana Graça** - Quando olhamos para uma infeção, olhamos para ser tratada.

**Dr. Nuno Pereira** - Claro que nós também temos infeções complexas, atenção. Há infeções que são tratadas por semanas a meses. São um nicho, mas são infeções menos frequentes. Não é a pneumonia que estávamos a falar há bocado nem infeções urinárias mas, infeções ósseas, infeções cardíacas, portanto endocardite, em que nós tratamos por semanas e aí pode haver um papel melhor para esta predição um bocadinho mais longo prazo. Presumo que quando fala de longo prazo, não estamos sequer a falar disto, pelo menos dos 6 meses, habitualmente pelo menos ao ano não é? E o número de infeções que nós tratamos, e aqui, estamos a falar sobretudo de resistências bacterianas, e portanto, estou a falar de infeções bacterianas é bastante reduzido, o número de infeções que tratamos por essa duração. Claro que se formos para outro terreno completamente diferente, tipo a infeção por VIH que se trata a vida inteira, isso já são outros quinhentos, mas aqui na área das infeções bacterianas, habitualmente não tratamos por períodos longos. Dito isto, acho que há um papel para o acompanhamento, ou seja, cada vez mais tentar que os doentes estejam cada vez menos tempo dentro do hospital, portanto quer com altas precoces ou que o doente esteja bem, ou com os modelos de hospitalização em

casa, hospitalização domiciliária, e aí acho que há um papel para a IA na monitorização contínua dos doentes que é poder ter um doente em casa com um iWatch ou outro que tal e ter um computador enfermeiro que recebe a informação e percebe que é preciso alerta, que se calhar o doente precisa de vir ou precisa de uma visita mais frequente do que propriamente ir lá um enfermeiro uma vez por dia, aí vejo um papel efetivamente para essa monitorização do sucesso do tratamento. Obviamente que habitualmente os doentes que nós mandamos para casa já são doentes muito estáveis e a melhorar, não se manda um doente instável ou que não esteja a melhorar para casa. Se nós melhorarmos a capacidade de acompanhamento e de monitorização, aí podemos antecipar mais e isso é, um doente menos tempo no hospital são menos infeções para o próprio doente e para o sistema como um todo, obviamente.

**Mariana Graça** - E até esta parte até parece mais fácil porque já temos imensos dispositivos que se usam diariamente que podíamos incorporar no acompanhamento. Chegámos aqui ao final, obrigada. Quando tivesse a tese terminada gostava de enviar a tese a quem também participou e contribuiu.

**Dr. Nuno Pereira** - Era isso que lhe ia pedir, gostava muito de ler o trabalho.

**Mariana Graça** - É o mínimo, é o mínimo. Mais uma vez obrigada pela sua contribuição e pode ser que voltemos a falar eventualmente.

**Dr. Nuno Pereira** - Ok Mariana, desejo-lhe muita sorte.

**Mariana Graça** - Obrigada!

**Dr. Nuno Pereira** - Adeus, boa tarde.

## APPENDIX C.6. – Interview with Dr. Adrian Egli

There is no interview script because it was not possible to record the interview.

## APPENDIX D – Powerpoint presented during interview

### APPENDIX D.1. – Powerpoint in Portuguese

#### Etapas na Gestão de Infeções Nosocomiais através de IA

Entrevista

#### Diagnóstico

##### Benefícios da IA:

- ✓ Detecção de doenças e análise de imagens médicas;
- ✓ Melhora na precisão e eficiência do diagnóstico.

##### Desafios da IA:

- Substituição de empregos;
- Dilemas éticos;
- Integração da IA nas práticas clínicas.

##### Questão:

De que forma a IA pode melhorar a precisão e a eficiência na identificação de infeções hospitalares em ambientes clínicos e quais os desafios que prevê na integração de modelos baseados em IA com as práticas atuais de controlo de infeção?

#### Prevenção

##### Benefícios da IA:

- ✓ Detecção de resistência antimicrobiana;
- ✓ Otimização das estratégias de controlo de infeção;
- ✓ Redução da carga de trabalho dos profissionais.

##### Desafios da IA:

- Qualidade dos dados;
- Barreiras de implementação.

##### Questão:

Quais são os maiores desafios no uso da IA para a prevenção de infeções hospitalares e como é que eles podem ser superados?

#### Confirmação de diagnóstico

##### Benefícios da IA:

- ✓ Otimização de fluxos de trabalho laboratoriais;
- ✓ Melhora da precisão na identificação de estruturas celulares relacionadas a infeções.

##### Desafios da IA:

- Calibração;
- Confiabilidade.

##### Questão:

Como pode a IA ser aprimorada para diagnosticar infeções hospitalares com mais precisão utilizando testes laboratoriais em ambientes de saúde?

## Escolha do tratamento

### Benefícios da IA:

- ✓ Personalização da terapia antibiótica;
- ✓ Otimização das estratégias de tratamento;
- ✓ Redução do uso desnecessário de antibióticos

### Desafios da IA:

- Preocupações regulamentares;
- Padronização de abordagens entre instituições;
- Garantia de dados de alta qualidade.

### Questão:

Como pode a IA ser efetivamente integrada numa escolha terapêutica para infeções hospitalares, garantindo que complemente a expertise clínica e ao mesmo tempo enfrente desafios relacionados à qualidade dos dados, regulamentação e personalização dos tratamentos?

## Acompanhamento

### Benefícios da IA:

- ✓ Modelos que **prevêm** a resposta dos pacientes aos tratamentos;
- ✓ Níveis impressionantes de precisão.

### Questão:

Diante estes avanços, como acha que a IA pode aprimorar as estratégias de acompanhamento, especialmente na previsão de desfechos a longo prazo para pacientes com condições complexas?

## APPENDIX D.2. – Powerpoint in English

# Steps in the Management of Nosocomial Infections through AI

## Interview

### Diagnosis

#### Benefits of AI:

- ✓ Disease detection and medical image analysis
- ✓ Improved diagnostic accuracy and efficiency

#### Challenges of AI:

- Job replacement;
- Ethical dilemmas;
- Integrating AI into clinical practices

#### Question:

How can AI improve the accuracy and efficiency of identifying hospital-acquired infections in clinical settings, and what challenges do you foresee in integrating AI-driven models with existing infection control practices?

### Therapeutic choice

#### Benefits of AI:

- ✓ Personalization of antibiotic therapy;
- ✓ Optimization of treatment strategies;
- ✓ Reducing unnecessary use of antibiotics.

#### Challenges of AI:

- Regulatory concerns;
- Standardization of approaches across institutions;
- High quality data assurance.

#### Question:

How can AI be effectively integrated into therapeutic decision-making for hospital-acquired infections, and how can it complement clinical expertise while addressing challenges related to data quality, regulation, and personalization of treatment strategies?

### Prevention

#### Benefits of AI:

- ✓ Antimicrobial resistance detection;
- ✓ Optimization of infection control strategies
- ✓ Reduction of professionals' workload.

#### Desafios da IA:

- Data quality;
- Implementation barriers.

#### Question:

What are the biggest challenges in using AI for infection prevention in hospitals, and how can they be addressed?

### Diagnosis confirmation

#### Benefits of AI:

- ✓ Optimizing laboratory workflows;
- ✓ Improved accuracy in identifying cellular structures related to infections

#### Challenges of AI:

- Calibration;
- Reliability.

#### Question:

How can AI be improved to more accurately diagnose hospital-acquired infections using laboratory tests in real healthcare settings?

### Follow-up

#### Benefits of AI:

- ✓ Models that predict patients' response to treatments
- ✓ Impressive levels of accuracy.

#### Questão:

How do you think AI could enhance follow-up care strategies, especially in predicting long-term outcomes for patients with complex conditions?

## 9. REFERENCES

1. World Health Organization. (2022). *Member States information session on Infection Prevention and Control (IPC): Overview of the IPC situation worldwide: highlights of achievements and gaps (Agenda Item 1, 07-03)*. Geneva: WHO. [https://apps.who.int/gb/MSPI/pdf\\_files/2022/03/Item1\\_07-03.pdf](https://apps.who.int/gb/MSPI/pdf_files/2022/03/Item1_07-03.pdf)
2. European Centre for Disease Prevention and Control. (2024). *Healthcare-associated infections: Point prevalence survey in acute care hospitals 2022–2023*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/point-prevalence-survey-healthcare-associated-infections-and-antimicrobial-use-european-acute-care-hospitals>
3. Boarin, M. (2025). *Session report: Healthcare-associated infections and antimicrobial stewardship*. EAUN26 – 26th International EAUN Meeting. <https://eauncongress.uroweb.org/session-report-healthcare-associated-infections-and-antimicrobial-stewardship/>
4. Programa de Prevenção e Controlo de Infecções e Resistência aos Antimicrobianos (PPCIRA). (2021). *Infeções e resistências a antimicrobianos*. <https://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/infecoos-hospitalares-e-consumo-de-antibioticos-diminuiram-entre-2015-e-2020-pdf.aspx>
5. Weiner-Lastinger, L. M., Pattabiraman, V., Konnor, R. Y., Patel, P. R., Wong, E., Xu, S. Y., Smith, B., Edwards, J. R., & Dudeck, M. A. (2022). The impact of coronavirus disease 2019 (COVID-19) on healthcare-associated infections in 2020: A summary of data reported to the National Healthcare Safety Network. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 43(1), 12–25. <https://doi.org/10.1017/ice.2021.362>
6. Rong, R., Lin, L., Yang, Y. et al. (2023). *Trending prevalence of healthcare-associated infections in a tertiary hospital in China during the COVID-19 pandemic*. *BMC Infectious Diseases*, 23, 41. <https://doi.org/10.1186/s12879-022-07952-9>
7. Sartelli, M., Marini, C. P., McNelis, J., Coccolini, F., Rizzo, C., Labricciosa, F. M., & Petrone, P. (2024). *Preventing and controlling healthcare-associated infections: The first*

- principle of every antimicrobial stewardship program in hospital settings*. *Antibiotics*, 13(9), 896. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13090896>
8. Padoveze, M. C., & Fortaleza, C. M. C. B. (2014). Healthcare-associated infections: Challenges to public health in Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 48(6), 995–1001. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048004941>
  9. Tchouaket Nguemeleu, E., Beogo, I., Sia, D., Kilpatrick, K., Séguin, C., Baillot, A., Jabbour, M., Parisien, N., Robins, S., & Boivin, S. (2020). Economic analysis of healthcare-associated infection prevention and control interventions in medical and surgical units: Systematic review using a discounting approach. *Journal of Hospital Infection*, 106(1), 134–154. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.06.015>
  10. Ali, G.-C., Deshpande, A., Francombe, J., Gkousis, A., Gloinson, E., Gunashekar, S., Leach, B., Parkinson, S., & Gomes, H. (2021). *Digital technologies for the surveillance, prevention and control of infectious diseases: A scoping review of the research literature 2015–2019*. European Centre for Disease Prevention and Control. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/digital-technologies-surveillance-prevention-and-control-infectious-diseases>
  11. Scardoni, A., Balzarini, F., Signorelli, C., Cabitza, F., & Odone, A. (2020). Artificial intelligence-based tools to control healthcare associated infections: A systematic review of the literature. *Journal of Infection and Public Health*, 13(8), 1061–1077. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.05.008>
  12. Tozzo, P., Delicati, A., & Caenazzo, L. (2022). Human microbiome and microbiota identification for preventing and controlling healthcare-associated infections: A systematic review. *Frontiers in Public Health*, 10, 989496. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.989496>

13. Centers for Disease Control and Prevention. (2023). Core infection prevention and control practices for safe healthcare delivery in all settings. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/core-practices/index.html>
14. Cunha, B. A., & Sivaraman, V. (2025). Nosocomial Infections. Medscape. <https://emedicine.medscape.com/article/967022-overview>
15. Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Antimicrobial resistance in healthcare settings. <https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance/healthcare/index.html>
16. World Health Organization. (2022). WHO launches first ever global report on infection prevention and control. <https://www.who.int/news/item/06-05-2022-who-launches-first-ever-global-report-on-infection-prevention-and-control>
17. World Health Organization. (2024). *Key facts and figures on healthcare-associated infections and hand hygiene*. <https://www.who.int/campaigns/world-hand-hygiene-day/key-facts-and-figures>
18. Duszynska, W., et al. (2020). Health care associated infections monitoring, prevention and cost assessment at intensive care unit of University Hospital in Poland, 2015–2017. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 582. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05482-w>
19. Kramer, A., et al. (2024). *How long do bacteria, fungi, protozoa, and viruses retain their replication capacity on inanimate surfaces? A systematic review examining environmental resilience versus healthcare-associated infection risk by “fomite-borne risk assessment”*. *Clinical Microbiology Reviews*, 37(4), e00186-23. <https://doi.org/10.1128/cmr.00186-23>
20. Admas, D., et al. (2024). *Bacterial etiologies, antimicrobial susceptibility pattern and clinical outcomes of infections in sterile body fluids: A 2-year study in a tertiary care hospital*. *Frontiers in Medicine*, 11, 1260841. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1260841>

21. European Centre for Disease Prevention and Control. (2023). Healthcare-associated infections: Types of infections. <https://www.ecdc.europa.eu/en/healthcare-associated-infections/types>
22. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2025). *Surgical Site Infection (SSI) Event Protocol, January 2025*. National Healthcare Safety Network (NHSN). <https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/9pscasicurrent.pdf>
23. Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Urinary tract infection (UTI) event protocol: January 2025*. National Healthcare Safety Network (NHSN). <https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/7pscaticurrent.pdf>
24. Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Bloodstream infection event: Central line-associated bloodstream infection (CLABSI) and non-central line-associated BSI protocol (Chapter 4)*. National Healthcare Safety Network (NHSN). [https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/4psc\\_clabscurrent.pdf](https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/4psc_clabscurrent.pdf)
25. Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Ventilator-associated events (VAE) and ventilator-associated pneumonia (VAP) event protocol*. National Healthcare Safety Network. [https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/10-vae\\_final.pdf](https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/10-vae_final.pdf)
26. Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Clostridioides difficile infection (CDI) prevention and control*. National Healthcare Safety Network. <https://www.cdc.gov/cdiff/clinicians/index.html>
27. Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Central line-associated bloodstream infection (CLABSI) event*. National Healthcare Safety Network. [https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/4psc\\_clabscurrent.pdf](https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/4psc_clabscurrent.pdf)
28. Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Infection control: Respiratory hygiene/cough etiquette in healthcare settings*. <https://www.cdc.gov/flu/professionals/infectioncontrol/index.htm>

29. World Health Organization. (2023). *Water, sanitation and hygiene (WASH)*.  
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health>
30. Yamin, D., Uskoković, V., Wakil, A. M., Goni, M. D., Shamsuddin, S. H., Mustafa, F. H., ... & Yusof, N. Y. (2023). Current and future technologies for the detection of antibiotic-resistant bacteria. *Diagnostics*, 13(20), 3246. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13203246>
31. Zhou, Y. (2025). Recent advances in electrochemical biosensors for bacterial detection. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2790676025000093>
32. Kumar, A. (2024). From Detection to Protection: Antibodies and Their Crucial Role in Rapid Viral Diagnostics. *Vaccines*, 12(5), 459. <https://doi.org/10.3390/vaccines12050459>
33. Lasch, P., et al. (2025). *A MALDI-ToF mass spectrometry database for identification and characterization of highly pathogenic bacteria*. *Scientific Data*, 12(1), 45.  
<https://doi.org/10.1038/s41597-025-04504>
34. Ferone, M., Gowen, A., Fanning, S., & Scannell, A. (2020). Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3106–3129. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12604>
35. Capatina, D., Feier, B., Hosu, O., Tertis, M., & Cristea, C. (2022). Analytical methods for the characterization and diagnosis of infection with *Pseudomonas aeruginosa*: A critical review. *Analytica Chimica Acta*, 1204, 339696. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.339696>
36. Baddal, B., et al. (2024). *Harnessing of Artificial Intelligence for the Diagnosis and Surveillance of Hospital-Acquired Infections: A Review*. *Journal of Clinical Microbiology*, 62(3), e01345-23. <https://doi.org/10.1128/jcm.01345-23>

37. Gawande, S. P., Raghavendra, K. P., Monga, D., Nagrale, D. T., Prabhulinga, T., Hiremani, N., et al. (2022). Development of loop-mediated isothermal amplification (LAMP): A new tool for rapid diagnosis of cotton leaf curl viral disease. *Journal of Virological Methods*, 306, 114541. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2022.114541>
38. Li, D., Liu, L., Huang, Q., Tong, T., Zhou, Y., Li, Z., Bai, Q., Liang, H., & Chen, L. (2021). Recent advances on aptamer-based biosensors for detection of pathogenic bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 45. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03014-5>
39. Tiwari, S., & Saxena, S. (2020). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA): A rapid and sensitive diagnostic tool for detection of infectious diseases. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.212>
40. Díaz-García, J., Herrera-López, E. J., & Dublan-García, O. (2022). New approaches for diagnosis of healthcare-associated infections: From biomarkers to biosensors. *Journal of Clinical Medicine*, 11(11), 3204. <https://doi.org/10.3390/jcm11113204>
41. Ofosu-Ampong, K. (2024). *Artificial intelligence research: A review on dominant paradigms and emerging trends*. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 72, 1–25. <https://doi.org/10.1613/jair.1.12234>
42. Learn Electronics With Me. (2025, January 31). *Four categories of AI*. Learn Electronics With Me. <https://www.learnelectronicswithme.com/2025/01/four-categories-of-ai.html>
43. Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
44. Fei, N., Lu, Z., Gao, Y., et al. (2020). Towards artificial general intelligence via a multimodal foundation model. *Nature Communications*, 13, 3094. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30761-2>

45. Nasef, D. (2025). *Integrating artificial intelligence in clinical practice, hospital management, and patient monitoring*. *Journal of Hospital Management and Health Policy*, 9(1), 9575. <https://jhmhp.amegroups.org/article/view/9575/html>
46. Shenoy, E. S. (2023). *Automating surveillance for healthcare-associated infections*. *Journal of Clinical Microbiology*, 61(4), e01345-23. <https://doi.org/10.1128/jcm.01345-23>
47. van der Werff, S. D., et al. (2025). *The future of healthcare-associated infection surveillance*. *Journal of Internal Medicine*. <https://doi.org/10.1111/joim.20100>
48. Wiemken, T. L., et al. (2024). *Use of artificial intelligence for healthcare-associated infection surveillance*. *American Journal of Infection Control*, 52(4), 401–406. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.09.014>
49. Chang, Y. J., Yeh, M. L., Li, Y. C., Lin, H. C., & Hsu, Y. J. (2011). Predicting hospital-acquired infections by scoring system with simple parameters. *PLoS ONE*, 6(8), e23137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023137>
50. Cohen, G., Hilario, M., Hugonnet, S., & Sax, H. (2003). Asymmetrical margin approach to surveillance of nosocomial infections using support vector classification. In *Proceedings of the Intelligent Data Analysis in Medicine and Pharmacology (IDAMAP 2003)* (pp. 1–13). Protaras.
51. Kourou, K., Exarchos, T. P., Exarchos, K. P., Karamouzis, M. V., & Fotiadis, D. I. (2015). Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 13, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2014.11.005>
52. He, J., Baxter, S. L., Xu, J., Xu, J., Zhou, X., & Zhang, K. (2019). The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature Medicine*, 25(1), 30–36. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0307-0>

53. Sendak, M. P., D'Arcy, J., Kashyap, S., Gao, M., Nichols, M., Corey, K., Ratliff, W., & Balu, S. (2020). A path for translation of machine learning products into healthcare delivery. *EMJ Innovations*, 4(1), 26-33. <https://doi.org/10.33590/emjinnov/19-00054>
54. Feng, T., Noren, D. P., Kulkarni, S., Mariani, J., Zhao, Z., Ghosh, S., Swearingen, J., Frassica, J., McFarlane, D., & Conroy, B. (2023). *Machine learning-based clinical decision support for infection risk prediction*. *Scientific Reports*, 6, 26094. <https://doi.org/10.1038/srep26094>
55. Wong, F., et al. (2023). Leveraging artificial intelligence in the fight against infectious diseases. *Science*, 381(6640), 164-170. [https://scorept-my.sharepoint.com/personal/mariana\\_graca\\_score\\_pt/Documents/Documents/Tese/5%20Phases.xlsx](https://scorept-my.sharepoint.com/personal/mariana_graca_score_pt/Documents/Documents/Tese/5%20Phases.xlsx)
56. Piaggio, D., Zarro, M., Pagliara, S., Andellini, M., Almuhini, A., Maccaro, A., & Pecchia, L. (2023). The use of smart environments and robots for infection prevention control: A systematic literature review. *American Journal of Infection Control*, 51(10), 1175–1181. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.05.011>
57. 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/s12652-022-04789-5>
58. Kavanagh, K. (2023). How artificial intelligence is revolutionizing diagnosis in health care. *Infection Control Today*. <https://www.infectioncontrolday.com/view/how-artificial-intelligence-is-revolutionizing-diagnosis-health-care>
59. Cardozo, G., Tirloni, S. F., Pereira Moro, A. R., & Marques, J. L. B. (2022). Use of artificial intelligence in the search for new information through routine laboratory tests: Systematic review. *JMIR Bioinformatics and Biotechnology*, 3(1), e40473. <https://doi.org/10.2196/40473>

60. Chu, W. T., Reza, S. M. S., Anibal, J. T., Landa, A., Crozier, I., Bağci, U., Wood, B. J., & Solomon, J. (2023). Artificial intelligence and infectious disease imaging. *The Journal of Infectious Diseases*, 228(Supplement\_4), 322–S336. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiad163>
61. SAgrebi, S., & Larbi, A. (2020). Use of artificial intelligence in infectious diseases. In *Artificial Intelligence in Healthcare* (pp. 415–433). Elsevier.
62. Miotto, R., Li, L., Kidd, B. A., & Dudley, J. T. (2016). Deep Patient: An Unsupervised Representation to Predict the Future of Patients from the Electronic Health Records. *Scientific Reports*, 6, 26094. <https://doi.org/10.1038/srep26094>
63. Sukhera, J. (2022). *Narrative Reviews: Flexible, Rigorous, and Practical*. *Journal of Graduate Medical Education*, 14(5), 628–634. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-22-00356.1>
64. Ardila, D., Kiraly, A. P., Bharadwaj, S., Choi, B., Reicher, J. J., Peng, L., ... & Tse, D. (2019). End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. *Nature Medicine*, 25(6), 954–961. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0447-x>