



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

S e t e m b r o 2 4 • S e p t e m b e r 2 4



©RISTI 2024 <http://www.risti.xyz>

Nº 55

Edição / Edición

Nº 55, 09/2024

Tiragem / Tirage: 1000

Preço por número / Precio por número: 17,5€

Subscrição anual / Suscripción anual: 30€ (2 números)

ISSN: 1646-9895

Depósito legal:

Indexação / Indexación

Academic Journals Database, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Google Scholar, IndexCopernicus, Information Systems Journal, Latindex, ProQuest, QUALIS, SciELO, SCImago, Scopus, SIS, Ulrich's, Web of Science.

Publicação / Publicación

RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Pc. 9 de Abril, 26, 4200-422 Porto, Portugal

E-mail: aistic@gmail.com

Web: <http://www.risti.xyz>

Director

Álvaro Rocha, ISEG, Universidade de Lisboa, PT

Coordenadores da Edição / Coordinadores de la Edición

Carlos Rompante Cunha, Instituto Politécnico de Bragança, PT

Conselho Editorial / Consejo Editorial

Abel Méndez, Instituto Tecnológico de Costa Rica, CR

Alejandro Peña, Universidad EAFIT, CO

Alma Gómez-Rodríguez, Universidade de Vigo, ES

Ana Rita Calvão, ESTGA, Universidade de Aveiro, PT

Ania Cravero, Universidad de La Frontera, CL

António Abreu Silva, ISCAP, Instituto Politécnico do Porto, PT

Antonio Garcia, Universidad de Santiago de Compostela, ES

António Godinho, ISEC, Instituto Politécnico de Coimbra, PT

Antonio Jiménez-Martín, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Arturo J. Méndez, Universidad de Vigo, ES

August Climent, Ramon LLull University, ES

Beatriz Rodríguez, Universidad de la Republica, UY

Borja Bordel, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Brenda L. Flores-Rios, Universidad Autónoma de Baja California, MX

Bruno Miguel Ferreira Gonçalves, Instituto Politécnico de Bragança, PT

Carlos Alexandre Silva, Instituto Federal de Minas Gerais, BR

Carlos Carreto, Instituto Politécnico da Guarda, PT

Carlos Morais, Instituto Politécnico de Bragança, PT

Carlos Rompante Cunha, UNIAG & CeDRI & Instituto Politécnico Bragança, PT

Carlos Vaz de Carvalho, Instituto Politécnico do Porto, PT

Célio Marques, Instituto Politécnico de Tomar, PT

Ciro Martins, Universidade do Algarve, PT

Cristina Caridade, Instituto Politécnico de Coimbra, PT

Daniel Polónia, Universidade de Aveiro, PT

Dante Carrizo, Universidad de Atacama, CL

Edwin Cedeño Herrera, Universidad de Panamá, PA

Fábio Marques, ESTGA, Universidade de Aveiro, PT
Felipe Vasquez, Universidad de La Frontera, CL
Fernando Moreira, REMIT, IJP, Universidade Portucalense &
IEETA, Universidade de Aveiro, PT
Fernando Paulo Belfo, Coimbra Business School – ISCAC,
Polytechnic Institute of Coimbra, PT
Fernando Ribeiro, Instituto Politécnico de Castelo Branco, PT
Fernando Bandeira, PT
Filipe Cardoso, Instituto Politécnico de Viseu, PT
Flor Gomes de María Sánchez Aguirre, Universidad César Vallejo, PE
Francisco Javier Lena-Acebo, Universidad de Cantabria, ES
Gabriel Guerrero-Contreras, Universidad de Cádiz, ES
Gerardo González Filgueira, Universidade da Coruña, ES
Gloria Valencia, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Guillllhermo Davila, Universidad de Lima, PE
Hélder Gomes, Universidade de Aveiro, PT
Helder Zagalo, Universidade de Aveiro, PT
Hélia Guerra, Universidade dos Açores, PT
Henrique Gil, Instituto Politécnico de Castelo Branco, PT
Henrique S. Mamede, Universidade Aberta, Portugal
Inês Domingues, ISEC, Instituto Politécnico de Coimbra, PT
Isaias Bianchi, Universidade Federal de Santa Catarina, BR
Ismael Etxeberría-Agiriano, Universidad del País Vasco, ES
Ivan Garcia, Universidad Tecnológica de la Mixteca, MX
Jeimy Cano, Universidad de los Andes, CO
João Emílio Almeida, ISTE - Porto, PT
João Paulo Ferreira, Instituto Politécnico de Coimbra, PT
Joao Roberto de Toledo Quadros, CEFET/RJ, BR
Joao Tavares, Universidade do Porto, PT
Joaquim Reis, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Jorge Eduardo Ibarra Esque, Universidad Autónoma de Baja California, MX
Jorge Hochstetter, Universidad de La Frontera, CL
José Álvarez-García, Universidad de Extremadura, ES

Jose Felipe Cocon Juarez, Universidad Autónoma del Carmen, MX
José Lousado, Instituto Politécnico de Viseu, PT
José Luis Pastrana Brincones, Universidad de Málaga, ES
Jose M. Molina, Universidad Carlos III de Madrid, ES
José Ribeiro, Politécnico de Leiria, PT
Jose Silvestre Silva, Academia Militar, PT
Josep Maria Marco-Simó, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Juan Angel Contreras Vas, Universidad de Extremadura, ES
Juan M. Santos-Gago, Universidad de Vigo, ES
Juan Pablo DAmato, Universidad Nacional del Centro de la
Provincia de Buenos Aires, AR
Leila Weitzel, Universidade Federal Fluminense, BR
Leonardo Bermón Angarita, Universidad Nacional de Colombia, CO
Lilia Muñoz, Universidad Tecnológica de Panamá, PA
Lucila Romero, Universidad Nacional del Litoral, AR
Luis Álvarez Sabucedo, Universidad de Vigo, ES
Luis Enrique Sánchez Crespo, Universidad de Castilla-la Mancha, ES
Luisa María Romero-Moreno, Universidad Sevilla, ES
Luz María Hernández Cruz, Universidad Autónoma de Campeche, MX
Luz Sussy Bayona Oré, Universidad Nacional Mayor de San Carlos, PE
Marcelo Marciszack, Universidad Tecnológica Nacional, AR
Marcelo Zambrano Vizuite, Universidad Tecnica Del Norte
Marco Painho, NOVA IMS, PT
Margarita Ramirez Ramirez, Universidad Autónoma de Baja California, MX
Maria Cristina Marcelino Bento, UNIFATEA, BR
María de la Cruz del Río-Rama, Universidad de Vigo, ES
Maria de los Milagros Gutierrez, Universidad Tecnológica Nacional, AR
Maria do Rosário Bernardo, Universidade Aberta, PT
Maria Hallo, Escola Politécnica Nacional, EC
Maria João Ferreira, Universidade Portucalense, PT
Maria João Gomes, Universidade do Minho, PT
Maria Sousa, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Marisol B. Correia, ESGHT - Universidade do Algarve & CiTUR, PT

Maristela Holanda, Universidade de Brasília, BR
Martin Llamas Nistal, Universidad de Vigo, ES
Miguel Casquilho, Universidade de Lisboa, PT
Miguel Ramón González Castro, Centro Tecnológico Aimen, ES
Mirna Ariadna Muñoz Mata, CIMAT, MX
Nelson Rocha, Universidade de Aveiro, PT
Nuno Melão, Instituto Politécnico de Viseu, PT
Nuno Ribeiro, Universidade Fernando Pessoa, Portugal
Patricia Dias, Universidade do Estado de Minas Gerais, BR
Paula Prata, Universidade da Beira Interior, PT
Paulo Martins, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Paulo Pinto, Universidade Nova de Lisboa, PT
Paulo Rurato, Universidade Fernando Pessoa, Portugal
Pedro Araújo, Universidade da Beira Interior, PT
Pedro R. Palos- Sanchez, Universidad de Sevilla, ES
Pedro Sanz-Angulo, Universidad de Valladolid, ES
Pedro Sobral, Universidade Fernando Pessoa, Portugal
Pedro Sousa, Universidade do Minho, Portugal
René Faruk Garzozzi-Pincay, Universidad Estatal Península de Santa Elena, EC
Ruben Pereira, ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, PT
Rui Pedro Marques, Universidade de Aveiro, PT
Rui Silva Moreira, Universidade Fernando Pessoa, PT
Samuel Sepúlveda, Universidad de La Frontera, CL
Santiago Raul Gonzales Sanches, Universidad Cesar Vallejo, PE
Sara Balderas-Díaz, Universidad de Cádiz, ES
Sergio Araya Guzmán, Universidad del Bío-Bío, CL
Sergio F. Lopes, Universidade do Minho, PT
Sergio Gálvez Rojas, Universidad de Málaga, ES
Solange N Alves-Souza, Universidade de São Paulo, BR
Telmo Silva, DigiMedia, Universidade de Aveiro, PT
Thiago Dias, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, BR
Verónica Vasconcelos, Polytechnic Institute of Coimbra, PT
Vítor Carvalho, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT

Vitor Santos, Universidade Nova de Lisboa - NOVA IMS, PT

Wagner Tanaka Botelho, Universidade Federal do ABC, BR

Yamid Hernández Julio, Universidad del Sinú, CO

Índice / Index

EDITORIAL

- A Internet de tudo: o grande ecossistema digital 1
Carlos Rompante Cunha

ARTIGOS / ARTICULOS / ARTICLES

- Smart Cities e Sustentabilidade: Análise
bibliométrica através do VOSviewer 5
Elisabete Paulo Morais

- Detección temprana de cáncer de mama: clasificación de
mastografías mediante un
modelo de aprendizaje profundo 21
Mariano Martinez Patiño, Ernesto Cortés Pérez, Sergio Sanchez Sanchez

- Adaptação e validação do “questionário de satisfação
académica” junto de estudantes portugueses do 3.º ciclo
do ensino básico e do ensino secundário 38
António Faria, Guilhermina Lobato Miranda

- Projeto e Análise de um Sistema para Aquecimento de
Lagos Artificiais para Criação de Carpas-Koi 58
*Gustavo Henrique Muller, Júlia Kuffel, Priscila Tanno
Nogueira de Carvalho, Ricardo Jose Pfitscher, Siméia Paula Storch*

- Validação Portuguesa da Escala de IT Mindfulness 71
Lígia Nascimento, Manuela Faia Correia

- Sistemas Expertos y su Impacto en el Control y Evaluación
del Desarrollo en Niños: Revisión Sistemática de Literatura 87
Gloria Paredes-Mamani

- Técnicas Baseadas em Refatoração para
resolver *Requirements Smells* 110
*Rafael Nascimento, Francisco Neto, Fernada Alencar, Ricardo Ramos,
Eduardo Aranha e Márcia Lucena*

A Internet de tudo: o grande ecossistema digital

The Internet of everything: the great digital ecosystem

Carlos Rompante Cunha¹

crc@ipb.pt

¹ Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, 5300-253 Bragança, Portugal

DOI: 10.17013/risti.55.1-3

1. Introdução

Na evolução recente dos sistemas e tecnologias de informação emergiram três grandes termos – dados, interligação e inteligência. Os grandes responsáveis foram a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA), ambas suportam uma interligação cada vez maior de tecnologias de sensorização e de atuação, aliadas a um tratamento estatístico, intensíssimo, dos dados.

Caminhamos para materializar a visão da Internet de Tudo (IoE), onde as pessoas e processos se juntam à abordagem clássica da IoT, levando à criação de valor através de uma rede inteligente e totalmente conectada, de pessoas, dados e processos – um ecossistema completo.

Neste número regular da RISTI foram submetidos pelos autores um total de 78 artigos científicos, oriundos de 12 países, para avaliação pelo Conselho Editorial, tendo sido selecionados para publicação os sete considerados como melhores, o que corresponde a uma apertadíssima e exigentíssima taxa de aceitação de 9%.

2. Estrutura

2.1. Este número da RISTI apresenta os seguintes artigos:

O primeiro artigo “Smart Cities e Sustentabilidade: Análise bibliométrica através do VOSviewer”, apresenta um estudo onde são analisadas as *smart cities* sustentáveis, cidades que utilizam tecnologias de informação e comunicação para melhorar a qualidade de vida, otimizar serviços urbanos e garantir o bem-estar económico, social, ambiental e cultural das gerações atuais e futuras. O objetivo é explorar as principais contribuições científicas sobre *smart cities* e sustentabilidade, através de uma análise bibliométrica de 6891 documentos da base de dados Scopus, utilizando o software *VOSviewer*. A pesquisa identifica seis grupos temáticos: qualidade de vida; IoT; Big Data e tecnologias de computação em nuvem; eficiência energética; informação e comunicação associadas ao crescimento urbano; alterações climáticas e poluição; e, transportes urbanos.

O segundo artigo “Detección temprana de cáncer de mama: clasificación de mastografías mediante un modelo de aprendizaje profundo”, no contexto da realidade do cancro da mama no México, apresenta uma rede neural de aprendizagem profunda com 28 camadas para classificar imagens mamográficas. O modelo inclui camadas de convolução, normalização por lotes, ativação ReLU e maxpooling, além de camadas totalmente conectadas e uma camada softmax para classificação multiclasse. O modelo alcançou precisão de 99,3% no treino e 99,4% na validação, superando resultados de estudos semelhantes.

O terceiro artigo “Adaptação e validação do “questionário de satisfação académica” junto de estudantes portugueses do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário”, apresenta o processo de adaptação e validação de um questionário de Satisfação Académica (QSA), originalmente desenvolvido para estudantes do ensino superior, para alunos portugueses do 3.º ciclo do ensino básico (QSA-EB) e do ensino secundário (QSA-ES). A validação incluiu a análise da sensibilidade dos itens, a Análise Fatorial Exploratória (AFE) e a precisão de cada fator identificado, medida pelo Alfa de Cronbach. Os resultados confirmaram a sensibilidade dos itens, a validade das dimensões teóricas do constructo e índices de precisão considerados fiáveis.

O quarto artigo “Projeto e Análise de um Sistema para Aquecimento de Lagos Artificiais para Criação de Carpas-Koi”, apresenta um sistema de aquecimento eficiente para lagos de criação de carpas-koi, usando a Internet das Coisas (IoT). O sistema combina resistências elétricas com canos pretos expostos ao sol para manter a água entre 20 °C e 30 °C, reduzindo o custo com aquecedores tradicionais. Sensores conectados à internet monitorizam a temperatura e o funcionamento do sistema. A modelação matemática mostrou que, com uma resistência de 10KW, o aquecimento de 20 °C para 30 °C demora 24 horas sem energia solar e 21 horas com ela, resultando num ganho de eficiência de 10%.

O quinto artigo “Validação Portuguesa da Escala de IT Mindfulness”, apresenta um estudo que explora o IT mindfulness como fator essencial para melhorar o uso e o desempenho de sistemas de informação, reduzindo falhas e stress causados pela tecnologia. O objetivo foi traduzir, adaptar e validar as versões completa e reduzida de uma escala de IT mindfulness para Portugal, usando uma amostra de 1107 docentes do ensino superior. Com análises fatoriais exploratória e confirmatória, foram criadas duas escalas psicometricamente robustas. As escalas são úteis para pesquisas e práticas de gestão, auxiliando na otimização da interação pessoa-tecnologia.

O sexto artigo “Sistemas Expertos y su Impacto en el Control y Evaluación del Desarrollo en Niños: Revisión Sistemática de Literatura”, apresenta um estudo que analisa o impacto dos sistemas especialistas no controlo e desenvolvimento infantil, essenciais para a deteção, diagnóstico e prevenção na saúde das crianças. A revisão abrange estudos de 2017 a 2023, com uma análise de 22.164 publicações em bases de dados como Web of Science, Scopus entre outras. Após aplicação de critérios de exclusão, destacou-se a contribuição significativa dos estudos asiáticos, que mostram como os sistemas especialistas melhoram o diagnóstico e controlo de 52 doenças infantis, 49 relacionadas com a saúde física e 11 com a saúde mental. A revisão mostra um impacto significativo nos cuidados infantis no diagnóstico, prevenção e avaliação.

Finalmente, o sétimo e último artigo “Técnicas Baseadas em Refatoração para resolver Requirements Smells”, apresenta um estudo que aborda a Especificação de Requisitos em Linguagem Natural, a forma mais comum de documentação no desenvolvimento de sistemas, mas que pode sofrer com ambiguidade e outros problemas de qualidade devido a falhas na escrita. O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de Técnicas de Refatoração para corrigir *Requirements Smells* e garantir os Critérios de Qualidade, inspirando-se no modelo de refatoração de código de Martin Fowler. A aplicação dessas técnicas visa trazer diversos benefícios, nomeadamente melhorar a qualidade.

3. Agradecimentos

Este editorial termina agradecendo a todos os autores e membros do conselho editorial que participaram no processo de revisão dos artigos que compõem esta edição, desejando que este número da RISTI seja mais um elemento de avanço do conhecimento e um importante contributo ibero-americano para o campo dos sistemas e tecnologias de informação, que estão a redesenhar e a expandir cada vez mais a economia digital.

Um agradecimento especial às associações científicas AISTI e ITMA, promotoras da RISTI, assim como às Bases de Dados de Revistas Académicas como Academic Journals Database, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Google Scholar, IndexCopernicus, Information Systems Journal, Latindex, ProQuest, QUALIS, SciELO, SCImago, Scopus, SIS, Ulrich's e Web of Science, entidades que contribuem para que a RISTI seja uma revista científica de referência internacional.

Smart Cities e Sustentabilidade: Análise bibliométrica através do VOSviewer

Elisabete Paulo Morais¹

beta@ipb.pt

¹ UNIAG, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal

DOI: 10.17013/risti.55.5-20

Resumo: Uma smart city sustentável é uma cidade inovadora que utiliza as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações e serviços urbanos e a competitividade, assegurando simultaneamente a satisfação das necessidades das gerações presentes e futuras em termos económicos, sociais, ambientais e culturais. O objetivo deste artigo é descobrir as principais contribuições da literatura científica sobre smart cities e sustentabilidade. Para o efeito, foi efetuada uma análise bibliométrica sobre o tema das cidades inteligentes sustentáveis, utilizando a base de dados Scopus. Esta pesquisa resultou numa lista de 6891 documentos, que foram posteriormente analisados com recurso ao software VOSviewer, incluindo vários métodos analíticos e unidades de análise. A análise das palavras-chave identificou seis grupos temáticos: (1) Qualidade de vida; (2) IoT, Big Data e tecnologias de computação em nuvem; (3) eficiência energética; (4) informação e comunicação associadas ao crescimento urbano; (5) alterações climáticas e poluição; e (6) transportes urbanos.

Palavras-chave: smart city; cidades inteligentes; sustentabilidade; VOSviewer; análise bibliométrica.

A bibliometric analysis of smart cities and sustainability using VOSviewer

Abstract: A smart and sustainable city is an innovative city that uses Information and Communication Technologies (ICT) and other means to improve the quality of life, the efficiency of urban operations and services, and competitiveness while ensuring that the needs of present and future generations are met in economic, social, environmental, and cultural terms. This article aims to discover the main contributions of the scientific literature on smart, sustainable cities. To this end, using the Scopus database, a bibliographic search was carried out on sustainable smart cities. This search resulted in a list of 6891 documents, which were then analyzed using VOSviewer software, including various analytical methods and units of analysis. The keyword analysis identified six thematic groups: (1) Quality of Life; (2) IoT, big data and cloud computing technologies; (3) energy efficiency; (4) information and communication with urban growth; (5) climate change and pollution; and (6) urban transport.

Keywords: smart city; sustainability; VOSviewer; Bibliometric analysis.

1. Introdução

Qual é a fonte do crescimento urbano e do desenvolvimento urbano sustentável? De acordo com Caragliu et al. (2011), esta questão tem merecido a atenção constante de investigadores e decisores políticos durante muitas décadas.

Nas últimas duas décadas, o conceito de “smart city” ou “cidade inteligente” tornou-se cada vez mais popular na literatura científica e nas políticas internacionais. No entanto, o conceito de cidade inteligente sustentável é mais recente.

Existem muitas definições de cidades inteligentes. Obtém-se frequentemente uma série de variantes concetuais substituindo “smart” por adjetivos alternativos, por exemplo, “inteligente” ou “digital”. O rótulo “cidade inteligente” é um conceito difuso e é usado de maneiras que nem sempre são consistentes (Albino et al., 2015). No trabalho realizado por Albino et al. (2015), os autores identificaram 23 definições diferentes de cidade inteligente.

A comunidade de investigação tem desenvolvido um grande número de soluções experimentais e em tempo real para cidades inteligentes, devido à conveniência e grande atenção dada à sustentabilidade no passado recente (Silva et al., 2018), (Martínez et al., 2023).

A composição de múltiplos atributos constrói uma cidade inteligente. De acordo com Mohanty et al. (2016), a maioria das propostas de cidades inteligentes é composta por quatro atributos principais: sustentabilidade, qualidade de vida, urbanização e inteligência.

Tecnologias como a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT), a aprendizagem automática, a aprendizagem profunda, a computação cognitiva e a análise de grandes quantidades de dados ajudaram os sistemas tradicionais com intervenções tecnológicas avançadas. A cidade inteligente é um desses projetos esperançosos que tem sido adotado em todo o mundo com o objetivo de tornar a vida dos seus habitantes mais confortável e inclusiva. Decorrente deste conceito surgiu também o conceito de universidade inteligente (Rico-Bautista et al., 2021). De acordo com Ahad et al. (2020) “todos os processos diários, como a governação, as políticas, os serviços e o feedback, são automatizados e os utilizadores podem aceder-lhes a partir de qualquer parte do mundo com a ajuda de dispositivos inteligentes. Esta automatização tem sido fundamental para reduzir os riscos ambientais através da utilização de técnicas respeitadoras do ambiente e rentáveis”.

As cidades são aceleradoras da mudança social, promovem a inovação, dispõem de infraestruturas interligadas e adotam e escalam facilmente a tecnologia. No entanto, estas cidades estão sobrecarregadas com questões como a gestão dos resíduos urbanos, a conservação dos combustíveis fósseis, a facilitação de sistemas de saúde acessíveis e atempados, a gestão eficiente do tráfego e a transparência na governação. Estas preocupações deram origem a espaços urbanos inovadores, tecnológicos e sustentáveis,

conhecidos como cidades inteligentes sustentáveis. As experiências das cidades inteligentes sustentáveis utilizam a tecnologia para monitorizar a sua comunidade e fornecer soluções sustentáveis e acessíveis para os espaços urbanos. A implementação bem-sucedida das cidades inteligentes sustentáveis requer uma rede de telecomunicações estável, segura, interoperável e fiável para suportar aplicações e serviços em áreas urbanas. Os recentes desenvolvimentos na tecnologia IoT e blockchain fornecem o ímpeto e o suporte para este desenvolvimento de cidades inteligentes sustentáveis (Padmapriya & Sujatha, 2021).

Face ao exposto, importa analisar os contributos mais significativos para o estudo das cidades inteligentes sustentáveis em termos dos principais temas e autores nos últimos anos. O objetivo desta questão é identificar os temas relacionados com as cidades inteligentes sustentáveis na literatura científica. Este esforço contribui para a clarificação do campo de estudo da área temática, permitindo que académicos e investigadores continuem a estudar estas questões científicas.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada em 15 de dezembro de 2023 na base de dados Scopus. Foram utilizados os termos “Smart cit*” e “Sustainab*”, limitados ao título, resumo e palavras-chave. Como resultado da pesquisa, foram obtidas 7666 publicações. Posteriormente, a pesquisa foi limitada a artigos, capítulos de livros e comunicações em conferências, obtendo-se um total de 6891 publicações.

Foi efetuada uma análise bibliométrica e utilizada a técnica da coocorrência de termos. A unidade de análise foi a publicação e as variáveis corresponderam aos termos incluídos no título, no resumo e nas palavras-chave. Os termos foram extraídos com recurso ao software VOSviewer (versão 1.6.20), de forma a construir um mapa com as relações entre os vários termos e a sua associação a clusters de áreas temáticas. Num estudo comparativo sobre a utilização e o desenvolvimento de três ferramentas - CiteSpace, HistCite e VOSviewer - esta última é mais frequentemente utilizada (Pan et al., 2018). De acordo com van Eck & Waltman (2014), esta metodologia analisa a distância entre os vários termos selecionados, sendo que quanto menor for a distância entre dois termos, mais forte é a relação entre eles. As cores do mapa representam os vários clusters de áreas temáticas, sendo que os termos com a mesma cor fazem parte do mesmo cluster e, por isso, estão mais fortemente relacionados entre si, em comparação com a contagem binária dos termos, que consiste em verificar se o termo está presente ou ausente em cada documento analisado.

3. Resultados

Esta secção contém uma apresentação detalhada dos resultados da análise bibliométrica realizada. Em primeiro lugar, são apresentados os resultados da análise descritiva. Em particular, o número de artigos publicados por ano; o top 10 de publicações por revista, instituição, país e área temática. São também identificados os 10 artigos mais citados. De seguida, são apresentados os resultados da análise por área temática.

3.1. Análise Descritiva

Na Figura 1, apresenta-se o número de publicações sobre o tema em análise. Verifica-se uma tendência de crescimento das publicações desde 2011, sendo 2023 o ano de pico (1101), com mais um artigo publicado do que em 2021 (1100). Os dois primeiros artigos neste domínio foram publicados em 2000. De realçar que apesar da pesquisa ter sido efetuada a 15 de dezembro de 2023 já havia artigos indexados a 2024.

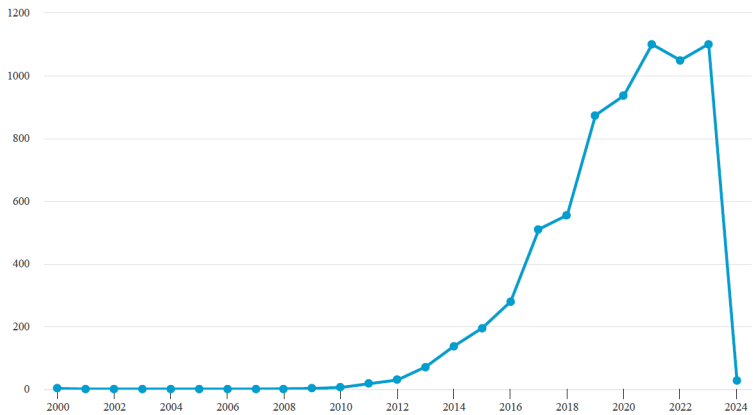


Figura 1 – Evolução anual do número de artigos publicados

Sustainability Switzerland e Sustainable Cities and Society são as revistas com mais artigos publicados, com um total de 345 e 165 artigos, respetivamente. Todas as revistas no top 10 publicaram mais de 70 artigos cada (Figura 2).

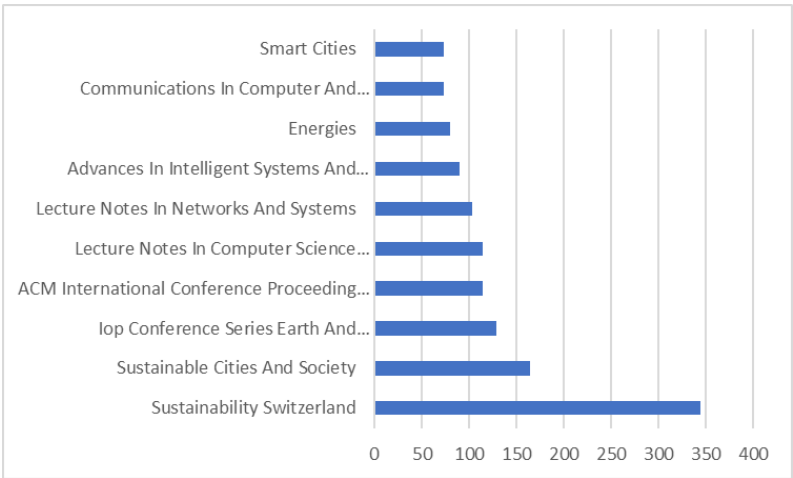


Figura 2 – Top 10 de revistas de acordo com o número de publicações

A Figura 3 mostra que a Índia é o país com mais publicações (954), o que corresponde a 13,8% da amostra. Segue-se a Itália (648) e os Estados Unidos (635). Os países do top 10 publicaram todos mais de 230 artigos.

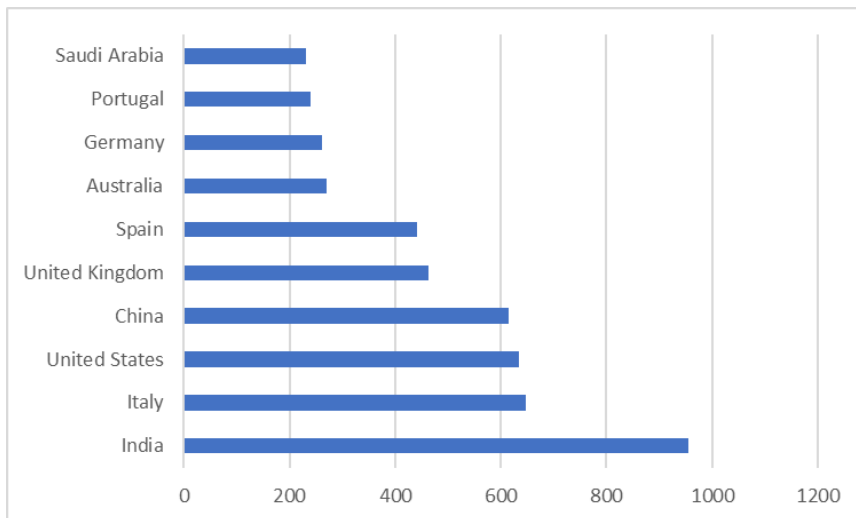


Figura 3 – Top 10 de países de acordo com o número de publicações

As áreas disciplinares mais representativas são as Ciências da Computação, com 3352 documentos, e as Engenharias, com 2889 documentos. As áreas disciplinares com menor representatividade são Economia, Econometria e Finanças.

Como mostra a figura 4, do total de 6891 publicações, 45% são publicadas em revistas científicas, 41% são artigos de conferências e 14% são capítulos de livros.

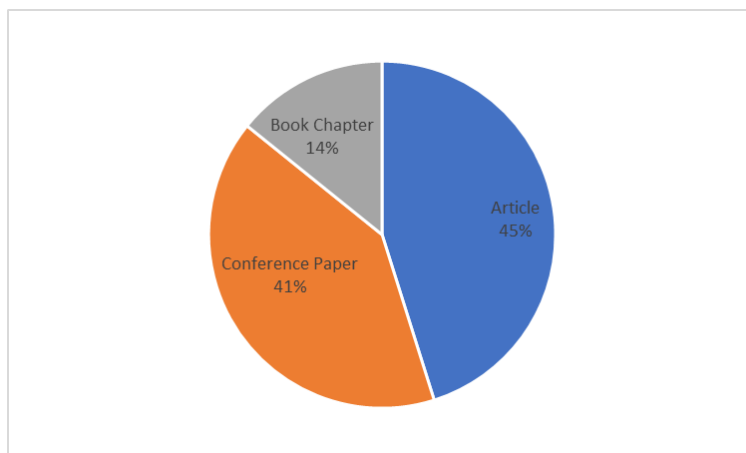


Figura 4 – Tipo de publicações

Para avaliar o potencial impacto que os artigos que compuseram a amostra do estudo têm sobre cidades inteligentes e sustentabilidade, foram analisados os 10 artigos com maior número de citações. A Tabela 1 apresenta o título, revista que o publicou, autores, ano e número de citações dos artigos mais citados em ordem decrescente. Os 10 artigos mais citados foram publicados entre 2011 e 2018. Embora o número de publicações sobre cidades inteligentes e sustentabilidade tenha aumentado significativamente entre 2016 e 2023. Os artigos mais citados vêm de uma variedade de revistas, com os dois mais citados vindo do Journal of Urban Technology e o quarto e quinto mais citados vindo do Sustainable Cities and Society.

Título	Revista	Autores/ano	Nº citações
Smart cities in Europe	Journal of Urban Technology	(Caragliu et al., 2011)	2163
Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives	Journal of Urban Technology	(Albino et al., 2015)	2010
The real-time city? Big data and smart urbanism	GeoJournal	(Kitchin, 2014)	1637
Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities	Sustainable Cities and Society	(Silva et al., 2018b)	959
Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review	Sustainable Cities and Society	(Bibri & Krogstie, 2017)	822
Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation	Lecture Notes in Computer Science	(Schaffers et al., 2011)	819
What are the differences between sustainable and smart cities?	Cities	(Ahvenniemi et al., 2016)	802
Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things	Transactions on Emerging Telecommunications Technologies	(Perera et al., 2014)	742
Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities; Making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization	Journal of Cleaner Production	(De Jong et al., 2015)	687
Internet of Things and Big Data Analytics for Smart and Connected Communities	IEEE Access	(Sun et al., 2016)	667

Tabela 1 – Top 10 de artigos mais citados

3.2. Tópicos por grupos temáticos

Considerando a análise das áreas temáticas e utilizando o software VOSviewer e a técnica de coocorrência de termos, foram identificados vinte e oito mil seiscentos e quarenta e

sete (28647) termos. Dos quais quinhentos e setenta e sete (577) tiveram um mínimo de vinte (20) ocorrências. A unidade de análise foi o conjunto das palavras-chave e o método de contagem foi a contagem total. Destas, 577 atingiram o limiar, resultando em um mapa, distribuído em seis (6) clusters. Isso pode ser observado na Figura 5.

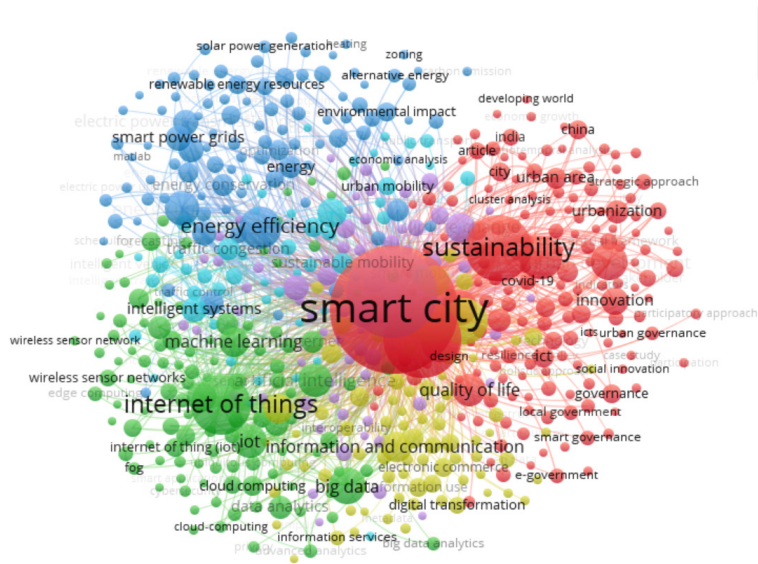


Figura 5 – Cluster temático baseado em todas as palavras-chave

O primeiro cluster, de cor vermelha na Figura 5, composto por cento e sessenta e oito (168) termos, associa as cidades inteligentes e a sustentabilidade com a qualidade de vida. As cidades inteligentes atraem uma atenção considerável de acadêmicos e planejadores urbanos, principalmente no contexto das políticas de desenvolvimento urbano. Baseadas em inovações tecnológicas, as cidades inteligentes são ecossistemas complexos que têm o potencial de melhorar a habitabilidade, a funcionalidade e a sustentabilidade urbanas através de uma rede de pessoas, processos e dados. No entanto, de acordo com acadêmicos e urbanistas, o conceito de cidade inteligente favorece os produtos e soluções tecnológicas em detrimento dos utilizadores finais e da sua qualidade de vida (Macke et al., 2018). A investigação conduzida por Ismagilova et al. (2019) centrou-se em vários aspetos das cidades inteligentes: mobilidade inteligente, vida inteligente, ambiente inteligente, cidadãos inteligentes, governo inteligente e arquitetura inteligente, bem como em tecnologias e conceitos relacionados. A discussão também se centra no alinhamento das cidades inteligentes com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU. De acordo com Ismagilova et al. (2019), as cidades inteligentes usam tecnologias de informação e comunicação para melhorar: a qualidade de vida de seus cidadãos, a economia local, o transporte, a gestão do tráfego, o meio ambiente e a interação com o governo. Na investigação realizada por Cesar et al. (2019), o estudo tem como objetivo analisar a influência dos fatores de governança inteligente na qualidade de vida no contexto

das cidades inteligentes da região Nordeste do Brasil. Os fatores de transparência, colaboração, participação e parceria, comunicação e *accountability* foram mensurados em termos de qualidade de vida. Os resultados da pesquisa indicam fortes e importantes relações entre os construtos. Entre os resultados da pesquisa, os autores destacam a identificação de linhas estratégicas que podem ajudar os líderes de cidades inteligentes a desenvolver políticas públicas e ações executivas municipais que envolvam a população no alcance de metas de desenvolvimento sustentável. Esses achados podem contribuir para o aprimoramento da governança das cidades inteligentes, a fim de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Na perspectiva de uma cidade inteligente, a pesquisa realizada por Macke et al. (2018) conclui que o sucesso nesta área pode ser alcançado através de quatro fatores (relações socio estruturais, bem-estar ambiental, bem-estar material e integração comunitária) revelados pela análise. De acordo com os resultados do estudo, o cumprimento destes critérios de sucesso melhoraria a qualidade de vida dos cidadãos e criaria uma comunidade mais forte dentro da cidade. Finalmente, o estudo fornece informações relevantes para investigadores sociais e urbanistas, identificando fatores que influenciam as percepções de qualidade de vida e fornece também elementos para o debate político e acadêmico.

O segundo cluster, a verde na Figura 5, é composto por cento e catorze (114) termos e relaciona a Internet das Coisas (IoT) com Big Data e a computação em nuvem. A expansão dramática da urbanização nas cidades modernas exige soluções inteligentes para resolver questões críticas como a mobilidade, os cuidados de saúde, a energia e as infraestruturas civis. A IoT é uma das tecnologias facilitadoras mais promissoras para enfrentar estes desafios, criando uma rede mundial maciça de objetos físicos interligados, dotados de eletrônica, software, sensores e conectividade de rede (Alavi et al., 2018). Bibri & Krogstie (2017) propõe um quadro analítico para aplicações centradas em dados possibilitadas pela IoT para promover a sustentabilidade ambiental no contexto de cidades inteligentes e sustentáveis. Shahat Osman (2019) apresenta um quadro de análise de grandes volumes de dados para cidades inteligentes denominado Painel de Análise de Dados de Cidades Inteligentes. A concepção deste painel baseia-se na resposta às seguintes questões de investigação: Quais são as características dos quadros de análise de big data aplicados em cidades inteligentes na literatura, e quais são os princípios essenciais de concepção que devem orientar a concepção de quadros de análise de big data para servir os objetivos das cidades inteligentes? Para responder a estas questões, foi efetuada uma revisão sistemática da literatura sobre estruturas de análise de grandes volumes de dados em cidades inteligentes. O quadro proposto introduz novas funcionalidades na estrutura de análise de grandes volumes de dados, representadas pela gestão e agregação de modelos de dados. Na era da IoT e dos ecossistemas das cidades inteligentes, o estacionamento inteligente e as soluções inovadoras conexas são necessários para tornar as cidades do futuro mais sustentáveis. O estacionamento inteligente, com a ajuda de sensores incorporados nos automóveis e nas infraestruturas das cidades, pode aliviar os estrangulamentos no estacionamento e proporcionar a melhor qualidade de serviço e benefícios aos cidadãos. No entanto, há vários aspetos de concepção que têm de ser bem estudados e analisados antes de implementar tais soluções. Na investigação conduzida por Al-Turjman & Malekloo (2019), os autores classificaram os sistemas de estacionamento inteligentes de acordo com fatores de concepção suaves e duros. Eles enfatizam a importância da confiabilidade dos dados, segurança, privacidade

e outros fatores críticos de design em tais sistemas. Foram exploradas as tendências emergentes no ecossistema de estacionamento, com foco na interoperabilidade e partilha de dados. Apresentam questões de investigação em aberto sobre o estado atual dos sistemas de estacionamento inteligentes e recomendam um modelo concetual para o estacionamento híbrido. A IoT para cidades inteligentes tem muitos domínios diferentes e depende de diferentes sistemas subjacentes para o seu funcionamento. Na investigação conduzida por Syed et al. (2021), os autores fornecem uma cobertura holística da IoT nas cidades inteligentes. Discutem os componentes fundamentais que compõem o panorama das cidades inteligentes baseadas na IoT, seguidos das tecnologias que permitem estes domínios em termos das arquiteturas utilizadas, das tecnologias de rede empregues e dos algoritmos artificiais utilizados nos sistemas de cidades inteligentes baseados na IoT. Analisam as práticas e aplicações mais comuns em vários domínios de cidades inteligentes e identificam os desafios enfrentados na implantação de sistemas IoT para cidades inteligentes, juntamente com medidas de mitigação.

O terceiro cluster, de cor azul escura na Figura 5, é composto por noventa e nove (99) termos e associa as cidades inteligentes e a sustentabilidade à eficiência energética. Os países em desenvolvimento enfrentam o desafio constante de alcançar tanto o crescimento económico como a proteção ambiental. Haverá uma escassez de eletricidade no mundo devido ao aumento exponencial da procura de eletricidade provocado pelo rápido crescimento da população mundial. Com o desenvolvimento da IoT, mais dispositivos inteligentes serão integrados em edifícios residenciais em cidades inteligentes que participam ativamente no mercado da eletricidade através de programas de resposta à procura para gerir eficientemente a energia a fim de satisfazer esta procura crescente de energia (Hafeez et al., 2020). O estudo realizado por Guo et al. (2022) toma como ponto de partida uma política-piloto de cidade inteligente na China e avalia sistematicamente os efeitos da construção de uma cidade inteligente na poupança de energia e na redução das emissões de CO₂, utilizando um método progressivo de diferença-em-diferenças. Os resultados da investigação mostram que a construção de cidades inteligentes reduziu significativamente as emissões de CO₂ per capita, com um efeito de redução de aproximadamente 18,42 pontos percentuais logarítmicos. Esta conclusão permanece válida no teste placebo, no método da variável instrumental e numa série de verificações de robustez. Concluíram também que existe uma relação em forma de U invertido entre a eficiência energética e as emissões de CO₂ per capita, e que a maioria das cidades chinesas ultrapassou o ponto de inflexão; que a construção de cidades inteligentes permite obter poupanças de energia e reduzir as emissões de CO₂ per capita através da melhoria da eficiência energética; e que o efeito da construção de cidades inteligentes na redução das emissões de CO₂ é mais evidente nas cidades com níveis administrativos mais elevados, níveis mais elevados de progresso tecnológico e de inovação ecológica, e níveis mais elevados de estrutura industrial avançada. Esta investigação fornece uma base empírica sobre a forma como os países ou regiões em desenvolvimento podem avançar para o desenvolvimento sustentável através da transformação digital e inteligente e demonstra a importância de prever a construção de novas infraestruturas, como as cidades inteligentes, na perspetiva de uma economia de baixo carbono. Em Addanki & Venkataraman (2017), os autores apresentam uma análise detalhada de como o desenvolvimento urbano, particularmente na Índia, pode ser planeado no contexto da transformação urbana sustentável, das alterações climáticas e das visões

urbanas futuras. No estudo realizado por Strielkowski et al. (2020), os autores tiveram como objetivo fornecer uma análise dos determinantes da eficiência econômica e avaliar os pré-requisitos para a segurança energética das cidades inteligentes. Os principais métodos do estudo incluem uma análise econômica das melhorias de infraestruturas que conduzem a uma redução da procura de energia das cidades inteligentes, representada pelo sistema inteligente de iluminação pública com díodos emissores de luz (LED).

O quarto cluster, de cor amarela na Figura 5, é composto por setenta e oito (78) termos e associa a informação e a comunicação ao crescimento urbano. As infraestruturas verdes urbanas desempenham um papel cada vez mais importante no planeamento do desenvolvimento urbano sustentável, uma vez que fornecem importantes serviços ecos sistémicos reguladores e culturais. O termo “cidade inteligente” define o novo ambiente urbano, concebido para o desempenho através das TIC. Para enfrentar os grandes desafios trazidos pela urbanização, a cidade inteligente tornou-se um conceito onnipresente para sustentar o crescimento urbano e económico, ao mesmo tempo que aborda as questões ambientais e sociais criadas por esse crescimento (Law & Lynch, 2019). As cidades de todo o mundo estão interessadas em utilizar as TIC para resolver os seus problemas urbanos. O conceito de cidade inteligente tem sido amplamente adotado como solução, mas a gama de serviços oferecidos nas cidades inteligentes varia consoante a cidade e a região. As diferenças devem-se a uma série de fatores, incluindo características urbanas, necessidades sociais e estruturas governamentais. Na Coreia, o Programa Estratégico Nacional de Cidades Inteligentes foi lançado para estabelecer um novo ecossistema tecnológico e normas para cidades inteligentes (Yang et al., 2021). O estudo realizado por Yang et al. (2021) apresenta os serviços de cidades inteligentes que estão a ser desenvolvidos pelo Programa Estratégico Nacional de Cidades Inteligentes coreano e compara-os com os serviços oferecidos em 15 cidades inteligentes na Europa, Ásia e América do Norte.

O quinto cluster, de cor púrpura na Figura 5, é composto por sessenta e sete (67) termos e associa as alterações climáticas e a poluição à sustentabilidade e às cidades inteligentes. Cidade limpa, cidade verde e cidade sustentável são slogans que descrevem a nossa esperança de viver em áreas livres de poluição. O impacto da globalização e da industrialização tem sido objeto de investigação em todo o mundo devido à enorme mudança de paradigma que estão a provocar. Estes fenómenos são também preocupantes porque as cidades consomem cerca de três quartos dos recursos naturais do mundo e geram três quartos da sua poluição e resíduos. As cidades precisam de se tornar mais inteligentes, aplicando soluções inovadoras aos desafios da urbanização em grande escala e encontrando novas formas de criar cidades habitáveis, competitivas e autossuficientes. Neste sentido, o surgimento de cidades inteligentes pode ser uma onda de transformação muito mais ampla que está prestes a atingir o mundo inteiro. A mitigação das alterações climáticas globais, e a sustentabilidade ambiental em geral, dependem, portanto, de forma crítica, das práticas de sustentabilidade dos residentes urbanos. No trabalho desenvolvido por Wang & Moriarty (2019), os autores analisam o potencial de políticas de cidades inteligentes para ajudar a alcançar economias significativas de energia (e gases de efeito estufa) no transporte urbano e na construção e operação de edifícios. O trabalho desenvolvido por Balova et al. (2021) tem como objetivo identificar as principais áreas de formação de uma cidade inteligente e sustentável,

que podem contribuir para a proteção do meio ambiente. O documento apresenta os resultados e as definições de uma cidade inteligente e da sua variante, uma cidade inteligente sustentável. Com base num inquérito a especialistas, foram identificadas as principais áreas de formação de uma cidade inteligente e sustentável, foram formuladas algumas medidas recomendadas para a implementação nessas áreas e foram apresentados exemplos da sua implementação na prática internacional. Em Andrés (2017), o autor apresenta um novo modelo de desenvolvimento de redes comunitárias sem fios, enquadrado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, para conseguir a transformação das cidades em zonas ambientalmente sustentáveis e tomar medidas para combater as alterações climáticas; este modelo baseia-se na utilização de energias renováveis, protocolos de encaminhamento em malha, monitorização da qualidade do ar e de variáveis ambientais, IoT e aplicação de métodos educativos para premiar as zonas menos poluídas. Em Ismail et al. (2021), discute-se a utilização da inteligência artificial, em particular de métodos de aprendizagem automática, para prever e alertar para a poluição em zonas urbanas. São utilizadas tanto a aprendizagem supervisionada como a não supervisionada. Os autores centram o estudo em quatro domínios: poluição atmosférica, qualidade da água, ruído urbano e gestão do tráfego e dos resíduos.

Por último, a cor azul-clara na Figura 5 é composta por cinquenta e um (51) termos e associa os transportes urbanos à sustentabilidade. O conceito de cidade inteligente é visto como parte do futuro urbano, integrando avanços tecnológicos, colaboração intersectorial e mercados abertos inovadores com objetivos estratégicos e ambições para alcançar um desenvolvimento urbano sustentável. A mobilidade inteligente é considerada um elemento essencial da cidade inteligente, uma vez que os sistemas de transportes urbanos devem tornar-se mais eficientes e sustentáveis. No trabalho desenvolvido por Müller-Eie & Kosmidis (2023), os autores identificaram estratégias e medidas para catorze cidades de média dimensão na Rede Nórdica de Cidades Inteligentes, identificando objetivos de mobilidade inteligente juntamente com medidas de mobilidade propostas ou implementadas. Avaliaram também a forma como estão alinhados com a mobilidade sustentável e a sua eficácia, utilizando dois quadros analíticos: a) os objetivos do Planeamento da Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) da UE e b) os objetivos S.M.A.R.T.. Ao fazê-lo, avaliaram em que medida as políticas e medidas de mobilidade inteligente nas cidades inteligentes nórdicas contribuem para a mobilidade e o desenvolvimento urbano sustentável, e de que forma contribuem para alcançar os objetivos das cidades inteligentes e sustentáveis em termos de viabilidade e responsabilidade. Devido às restrições ambientais globais, as cidades, e especialmente os transportes urbanos, têm de optar por soluções ecológicas. Os sistemas sustentáveis de partilha de bicicletas tornaram-se uma parte importante das infraestruturas de transporte mundiais, como alternativa aos automóveis movidos a combustíveis fósseis nas áreas metropolitanas (Subramanian et al., 2023). Uma das atividades mais amplamente apoiadas é a conceção e implementação de soluções de poupança de energia para a mobilidade urbana. As pessoas desempenham um papel importante neste domínio, especialmente os jovens. No estudo realizado por Grzesiuk et al. (2023), aplicado à Geração Z, os autores concluíram que os comportamentos de energia sustentável relacionados com a compra, utilização e eliminação de aparelhos elétricos, bem como os comportamentos de conservação de energia relacionados com a mobilidade, resultantes da escolha do modo de transporte para se deslocar na cidade, influenciam a avaliação

da importância das soluções de mobilidade energeticamente eficientes disponíveis. No trabalho desenvolvido por Cartenì et al. (2023), o objetivo foi propor uma arquitetura de modelo de Big Data e computação em nuvem para estimativa de procura de viagens origem-destino multiclasse, baseada na aplicação de um algoritmo de tráfego de dois estágios usando contagens de tráfego em redes congestionadas, também para propor uma política sustentável em escala urbana. A metodologia proposta foi aplicada a um estudo de caso real em termos de estimativa da procura de viagens na cidade de Nápoles (Itália), também com o objetivo de verificar a eficácia de uma política sustentável em termos de redução do congestionamento do tráfego em cerca de 20% nas rotas. Os resultados obtidos, embora preliminares, sugerem a utilidade da metodologia proposta em termos da sua capacidade de estimar a procura de viagens em tempo real/períodos de tempo pré-fixados.

4. Discussão e Conclusões

O princípio das cidades inteligentes tem recebido cada vez mais atenção em estudos recentes, especialmente durante a pandemia da COVID-19, conforme destacado por Sharifi, Khavarian-Garmsir e Kummitha (Sharifi et al., 2021), embora também tenha sido criticado pela sua ênfase tecnocrática (Kitchin, 2014). No entanto, o subcampo das cidades inteligentes e sustentáveis, onde a sustentabilidade ambiental e o progresso tecnológico estão interligados, continua relativamente pouco explorado. Até 2050, prevê-se que as populações urbanas representem 66% da população total mundial, um aumento significativo em relação aos atuais 54% (Toli & Murtagh, 2020). Este crescimento realça a necessidade de as cidades gerirem estrategicamente os seus recursos para o aumento da população.

O objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise bibliométrica de publicações sobre cidades inteligentes e sustentabilidade. No que diz respeito ao comportamento das publicações ao longo do período analisado, verifica-se uma tendência ascendente, sobretudo a partir de 2010, sendo 2023 o ano com maior número de publicações. Sustainability Switzerland e Sustainability Cities and Society foram as revistas com maior número de artigos publicados. Porém, os 2 artigos mais citados são do Journal of Urban Technology. A Índia é o país com maior número de artigos publicados, seguida pela Itália. Os estudos podem ser agrupados em seis grandes blocos de conhecimento (clusters): Qualidade de Vida, IoT, Eficiência Energética, Crescimento Urbano, Mudanças Climáticas e Poluição e Transporte Urbano.

Na análise bibliométrica nesta área foi encontrado apenas um estudo (Dias, 2018). Este estudo apresentado numa conferência, faz uma análise bibliométrica sobre a investigação em cidades inteligentes em Portugal e Espanha. Estudos sobre esse tema foram identificados na revisão sistemática da literatura, mas não na análise bibliométrica. Houve inúmeras revisões sistemáticas da literatura sobre este assunto, tais como (Abedi et al., 2023); (Antonios et al., 2023), entre muitos outros.

Na minha opinião, a análise bibliométrica da literatura existente sobre cidades inteligentes sustentáveis é uma contribuição valiosa para o estado da arte atual. No entanto, uma análise mais aprofundada da abordagem utilizada permite-nos identificar algumas limitações. As limitações podem ser justificadas pelo facto de termos utilizado

apenas a base de dados Scopus como fonte de informação, não incluindo outras fontes relevantes como a Web of Science, e pelo facto de apenas termos analisado artigos de revistas, capítulos de livros e artigos de conferências, ignorando assim a outra literatura existente sobre o assunto, que poderia fornecer alguns *insights* interessantes sobre o tema das cidades inteligentes sustentáveis.

Com base no exposto, as possibilidades de estudos futuros são inúmeras e poderiam ser enriquecidas ampliando a busca, sem limitar o tipo de documento, para incluir todos os tipos de publicações em diversas bases de dados, incluindo a Web of Science e a Scopus.

Referências

- Abedi, M., Shayanfar, J., & Al-Jabri, K. (2023). Infrastructure damage assessment via machine learning approaches: a systematic review. *Asian Journal of Civil Engineering*, 24(8), 3823–3852. <https://doi.org/10.1007/S42107-023-00748-5>
- Addanki, S. C., & Venkataraman, H. (2017). Greening the economy: A review of urban sustainability measures for developing new cities. *Sustainable Cities and Society*, 32, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2017.03.009>
- Ahad, M. A., Paiva, S., Tripathi, G., & Feroz, N. (2020). Enabling technologies and sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102301. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102301>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2016). What are the differences between sustainable and smart cities? <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.067>
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101608>
- Andrés, G. R. C. (2017). CleanWiFi: The wireless network for air quality monitoring, community Internet access and environmental education in smart cities. In *Proceedings of the 2016 ITU Kaleidoscope Academic Conference: ICTs for a Sustainable World*, ITU WT 2016. <https://doi.org/10.1109/ITU-WT.2016.7805708>
- Antonios, P., Konstantinos, K., & Christos, G. (2023). A systematic review on semantic interoperability in the IoE-enabled smart cities. *Internet of Things (Netherlands)*, 22. <https://doi.org/10.1016/J.IOT.2023.100754>
- Balova, S. L., de Velazco, J. J. H. G., Polozhentseva, I. V., Chernavsky, M. Y., & Shubtsova, L. V. (2021). The formation of the concept of smart sustainable city with the purpose of environmental protection. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 12(5), 1269–1275. [https://doi.org/10.14505/JEMT.V12.5\(53\).12](https://doi.org/10.14505/JEMT.V12.5(53).12)

- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183–212. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Carteni, A., Henke, I., Errico, A., & Bartolomeo, M. I. Di. (2023). A big data and cloud computing model architecture for a multi-class travel demand estimation through traffic measures: a real case application in Italy. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 26(5), 482–493. <https://doi.org/10.1504/IJCSE.2023.133672>
- Cesar, J., De Guimarães, F., Severo, E. A., Felix Júnior, A., Leite, P., Da Costa, B., & Tasso Salmoria, F. (2019). Governance and quality of life in smart cities: Towards sustainable development goals. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119926>
- De Jong, M., Joss, S., Schraven, D., Zhan, C., & Weijnen, M. (2015). Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities; making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.004>
- Dias, G. P. (2018). Smart cities research in Portugal and Spain: An exploratory bibliometric analysis. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI, 2018-June*, 1–6. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399295>
- Grzesiuk, K., Jegorow, D., Wawer, M., & Głowacz, A. (2023). Energy-Efficient City Transportation Solutions in the Context of Energy-Conserving and Mobility Behaviours of Generation Z. *Energies*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/EN16155846>
- Guo, Q., Wang, Y., & Dong, X. (2022). Effects of smart city construction on energy saving and CO₂ emission reduction: Evidence from China. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118879>
- Hafeez, G., Wadud, Z., Khan, I. U., Khan, I., Shafiq, Z., Usman, M., & Khan, M. U. A. (2020). Efficient energy management of IoT-enabled smart homes under price-based demand response program in smart grid. *Sensors (Switzerland)*, 20(11). <https://doi.org/10.3390/S20113155>
- Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. K., & Raman, K. R. (2019). Smart cities: Advances in research-An information systems perspective. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>
- Ismail, E., Ayoub, B., Azeddine, K., & Hassan, O. (2021). Machine learning in the service of a clean city. *Procedia Computer Science*, 198, 530–535. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.12.281>
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>
- Law, K. H., & Lynch, J. P. (2019). Smart City: Technologies and Challenges. *IT Professional*, 21(6), 46–51. <https://doi.org/10.1109/MITP.2019.2935405>

- Macke, J., Casagrande, R. M., Sarate, J. A. R., & Silva, K. A. (2018). Smart city and quality of life: Citizens' perception in a Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 182, 717–726. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.02.078>
- Martínez, J. S., Leal, J. C. E., Aguirre, D. L., Quiñonez, Y., Zambrano, J. H. B., Manríquez, A. D., Alonso, V. P. S., & Angulo, J. R. M. (2023). Mobile application for monitoring dry matter intake in ruminants using Bluetooth technology. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (49), 66–82. <https://doi.org/10.17013/RISTI.49.66-82>
- Mohanty, S. P., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), 60–70. <https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2556879>
- Müller-Eie, D., & Kosmidis, I. (2023). Sustainable mobility in smart cities: a document study of mobility initiatives of mid-sized Nordic smart cities. *European Transport Research Review*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/S12544-023-00610-4>
- Padmapriya, V., & Sujatha, D. N. (2021). Future of Sustainable Smart Cities: an insight. *Blockchain for Smart Cities*, 17–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824446-3.00015-6>
- Pan, X., Yan, E., Cui, M., & Hua, W. (2018). Examining the usage, citation, and diffusion patterns of bibliometric mapping software: A comparative study of three tools. *Journal of Informetrics*, 12, 481–493. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.03.005>
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1), 81–93. <https://doi.org/10.1002/ETT.2704>
- Rico-Bautista, D., Maestre-Góngora, G. P., Guerrero, C. D., Medina-Cárdenas, Y., Areniz-Arévalo, Y., Sanchez-Velasquez, M. C., & Barrientos-Avedaño, E. (2021). Smart university: Key factors for the adoption of internet of things and big data. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (41), 63–79. <https://doi.org/10.17013/RISTI.41.63-79>
- Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M., & Oliveira, A. (2011). Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation. *LNCS*, 6656, 431–446.
- Shahat Osman, A. M. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
- Sharifi, A., Khavarian-Garmsir, A. R., & Kummitha, R. K. R. (2021). Contributions of Smart City Solutions and Technologies to Resilience against the COVID-19 Pandemic: A Literature Review. *Sustainability* 13(14), 8018. <https://doi.org/10.3390/SU13148018>

- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018a). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>
- Strielkowski, W., Veinbender, T., Tvaronavičienė, M., & Lace, N. (2020). Economic efficiency and energy security of smart cities. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 33(1), 788–803. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1734854>
- Subramanian, M., Cho, J., Easwaramoorthy, S. V., Murugesan, A., & Chinnasamy, R. (2023). Enhancing Sustainable Transportation: AI-Driven Bike Demand Forecasting in Smart Cities. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/SU151813840>
- Sun, Y., Song, H., Jara, A. J., & Bie, R. (2016). Internet of Things and Big Data Analytics for Smart and Connected Communities. *IEEE Access*, 4, 766–773. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2529723>
- Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges. <https://doi.org/10.3390/smartcities4020024>
- Toli, A. M., & Murtagh, N. (2020). The Concept of Sustainability in Smart City Definitions. *Frontiers in Built Environment*, 6, 496662. <https://doi.org/10.3389/FBUIL.2020.00077/BIBTEX>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing Bibliometric Networks. *Measuring Scholarly Impact*, 285–320. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13
- Wang, S. J., & Moriarty, P. (2019). Energy savings from Smart Cities: A critical analysis. *Energy Procedia*, 158, 3271–3276. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2019.01.985>
- Yang, J., Kwon, Y., & Kim, D. (2021). Regional Smart City Development Focus: The South Korean National Strategic Smart City Program. *IEEE Access*, 9, 7193–7210. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047139>

Detección temprana de cáncer de mama: clasificación de mastografías mediante un modelo de aprendizaje profundo

Mariano Martinez Patiño¹, Ernesto Cortés Pérez¹, Sergio Sanchez Sanchez¹

mariano971149@gmail.com; cope144@gmail.com; ssanys1@hotmail.com

¹ Universidad del Istmo, Ciudad Universitaria S/N, Santa Cruz, 70760 Santo Domingo Tehuantepec, Oax., México.

DOI: 10.17013/risti.55.21-37

Resumen: El cáncer de mama es una de las principales causas de muerte en mujeres a nivel mundial, reportando tan solo en México 47,832 fallecimientos entre 2000 y 2010. Por esto, La detección temprana a través de mastografías desempeña un papel fundamental en su diagnóstico y tratamiento. En este trabajo se presenta una red neuronal de aprendizaje profundo compuesto por 28 capas para clasificar imágenes mastográficas de 500 x 500 píxeles. El modelo incluye capas de convolución, normalización por lotes, activación ReLU y maxpooling, seguidas de capas totalmente conectadas y una capa softmax para la clasificación multiclase. El modelo propuesto logró una precisión del 99.3% en el entrenamiento y del 99.4% en la validación, mostrando un desempeño superior a trabajos similares.

Palabras-clave: Cáncer de mama; aprendizaje profundo; convolución; mastografías.

Early detection of breast cancer: classification of mammograms using a deep learning model

Abstract: Breast cancer is one of the main causes of death in women worldwide, reporting 47,832 deaths in Mexico alone between 2000 and 2010. For this reason, early detection through mammograms plays a fundamental role in its diagnosis and treatment. In this work, a deep learning neural network composed of 28 layers is presented to classify mammographic images of 500 x 500 pixels. The model includes convolution, batch normalization, ReLU activation and maxpooling layers, followed by fully connected layers and a softmax layer for multi-class classification. The proposed model achieved an accuracy of 99.3% in training and 99.4% in validation, showing superior performance to similar works.

Keywords: Breast cancer; deep learning; convolution; mammograms.

1. Introducción

El cáncer de mama es una de las principales causas de muerte por cáncer entre las mujeres a nivel mundial, tan solo en México, entre los años 2000 y 2010 se registraron 66,405 nuevos casos de cáncer de mama, con 47,832 fallecimientos por el mismo padecimiento (Rojas et al., 2020). Esta enfermedad se presenta en mujeres adultas, principalmente en aquellas que se encuentran en la etapa posterior a la menopausia, con padecimientos como el sobrepeso y la obesidad (López y Salamanca, 2020).

Además de los factores biológicos que pueden afectar la tasa de mortalidad, también se involucran factores socioeconómicos. Se ha demostrado que los países con mayor desarrollo económico registran un alto número de incidencias en comparación con países de bajo índice de desarrollo, por otro lado, la tasa de mortalidad es menor en los países con un mayor índice de desarrollo (Garau et al., 2024).

Ante este panorama desalentador, el diagnóstico temprano y oportuno de este tipo de cáncer se vuelve muy importante, por lo que se han implementado en los últimos años campañas de detección temprana que, aunque en muchos países ha funcionado, en algunos otros como México, muchos casos aún son detectados en una etapa avanzada (López y Salamanca, 2020), para la detección se han utilizado exámenes como la mastografía, el ultrasonido mamario y la biopsia de mama (Rojas et al., 2020).

Las mastografías son estudios radiológicos especializados que implican la toma de imágenes detalladas de la mama utilizando equipos de rayos X especialmente diseñados para este propósito (Lara y Olmedo, 2011). Durán et al. (2019), aseguran que los sistemas de diagnóstico computarizado (CAD) pueden ayudar a evitar los malos diagnósticos que se puedan realizar, ya que, aunque la mastografía es uno de los métodos más efectivos disponibles actualmente, su interpretación puede verse limitada por aspectos como la calidad de la imagen, el descuido humano o la vista cansada del especialista.

Es por eso que en este trabajo se presenta la realización de un sistema de clasificación de mastografías mediante el uso de un modelo de aprendizaje profundo, el modelo presentado tiene como objetivo principal realizar una clasificación de estas imágenes en dos clases diferentes de diagnósticos, benigno y maligno. El documento se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 presenta los antecedentes y trabajos relacionados, brindando contexto para el enfoque propuesto. La Sección 3 aborda los fundamentos del aprendizaje profundo, explicando la tecnología y conceptos clave, la sección 4 describe el conjunto de datos utilizado y las muestras que contiene, en la sección 5 se explica la metodología, detallando las técnicas y modelos utilizados. En la Sección 6, se discuten los resultados de los experimentos, seguidos de un análisis de los hallazgos. Finalmente, la Sección 7 concluye el artículo, resumiendo las principales contribuciones y sugiriendo posibles direcciones para futuras investigaciones.

2. Trabajos relacionados

Debido a que el diagnóstico temprano del cáncer de mama es fundamental para mejorar las tasas de supervivencia, múltiples autores han explorado nuevas tecnologías para abordar esta necesidad. Por un lado, algunos autores han desarrollado modelos con

bases de datos de características de pacientes diagnosticados, por ejemplo, Castrillón et al. (2018) propusieron un método predictivo para detectar el cáncer de mama basado en variables como edad, peso, talla, índice de masa corporal, entre otras. Utilizando un sistema de clasificación bayesiano que registró un porcentaje de aciertos del 100% en la detección de la enfermedad. De la misma forma se han utilizado métodos de clasificación como redes neuronales, bosques aleatorios y máquinas de soporte de vectores para clasificar tumores benignos y malignos, evaluando la capacidad predictiva con matrices de confusión y curvas ROC, destacando que la máquina de soporte de vectores muestra una exactitud de pronóstico superior al 99% (del Castillo, 2020). Además, Quiroz y Rivas (2018) han propuesto un modelo de decisión bayesiano automático con el fin de cuantificar el riesgo de cáncer de mama y calcular las consecuencias de las alternativas de tratamiento usando una base de datos con información de 328 pacientes con 184 casos positivos, también se tiene un precedente del desarrollo de una herramienta de software que utiliza un clasificador de bosques aleatorios, el cual presentó una exactitud del 84% (Pérez et al., 2022). Por otra parte, una de las técnicas más populares con las que se realizan modelos de clasificación para esta patología son las CNN, se han utilizado para la clasificación de mastografías en las tres clases; benignos, malignos y sanos, realizando el desarrollo en dos fases, la primera el preprocesamiento de las imágenes obteniendo las regiones de interés, para posteriormente extraer las características pertinentes en una segunda fase. Cada autor ha implementado esta técnica con algunas variantes, con lo que han obtenido resultados diferentes. Durán et al. (2019) implementaron esta metodología con un conjunto de datos de 80,500 imágenes con lo que obtuvieron un modelo con una precisión del 80%, mientras que Saldaña (2022) usando información de un total de 114 pacientes de los cuales el modelo construido solo clasificó 3 de forma incorrecta, obtuvo una precisión del 96%. En cambio, un modelo desarrollado con la misma metodología, pero entrenado con dos conjuntos de datos distintos y evaluado con el método del área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) presento un AUC de 0.9838 y 0.9773 respectivos a cada conjunto de datos (Celis et al., 2022). De manera similar, en un trabajo donde se aplicaron dos estructuras diferentes de redes neuronales convolucionales, se logró una precisión del 86.05% en una arquitectura de las tres categorías, mientras que en la configuración con dos redes neuronales en secuencia que clasificaban en dos categorías cada una, primero entre normal y anomalías para después clasificar las anomalías entre benigno y maligno, se obtuvo una precisión del 88.2% (López, J.D., 2020). De manera similar en un trabajo se utilizó un modelo de CNN entrenado con el dataset *Digital Database for Screening Mammography* (DDSM) para clasificar mastografías digitales en cinco clases distintas: sin anomalías, con masas tumorales benignas, con masas tumorales malignas, con microcalcificaciones benignas o con microcalcificaciones malignas obteniendo una precisión del 75% (González-Bueno et al., 2015). Asimismo, Chanampe et al. (2019) entrenaron una red neuronal convolucional profunda para clasificar siete clases, calcificación, masas bien definidas, masas espículadas, otras masas mal definidas, Distorsión Arquitectónica, Asimetría y Normal, usando un dataset de solo 322 imágenes con lo que obtuvieron una precisión del 62%. Además, en varios estudios (Cano y Cruz, 2018; Agudelo y Harold, 2021), se han utilizado modelos de CNN para realizar una clasificación de cáncer de mama mediante el análisis de imágenes de histopatología, que son imágenes obtenidas a partir de muestras de tejido utilizadas para detectar patologías.

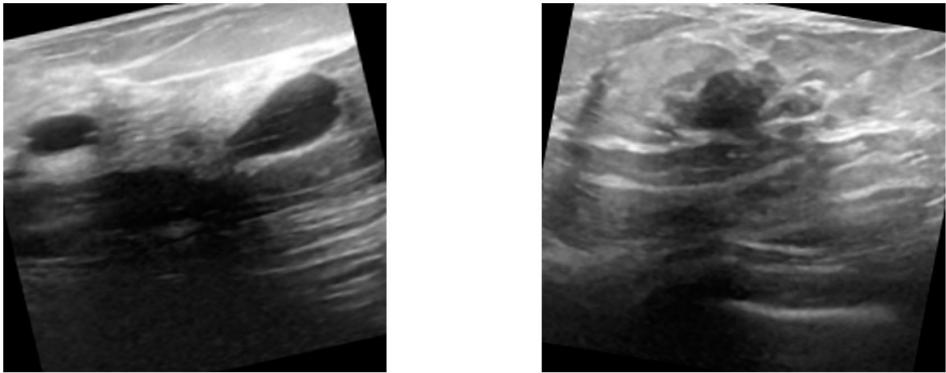
Se han presentado los trabajos relacionados en los cuales se aborda el uso de técnicas computacionales para la clasificación del cáncer de mama, destacando que en algunos trabajos se utilizan conjuntos de datos de características de los pacientes, mientras que otras investigaciones se deciden por utilizar las mastografías para extraer información y clasificar el diagnóstico como benigno o maligno utilizando las redes neuronales convolucionales.

3. Aprendizaje profundo

El aprendizaje profundo, también conocido como “Deep learning” en inglés, es una subrama del aprendizaje automático (machine learning) que se enfoca en el entrenamiento de algoritmos llamados redes neuronales artificiales en conjuntos de datos grandes y complejos haciendo uso de las capas ocultas (Guerrero y Tendilla, 2022). Se ha utilizado en una variedad de aplicaciones, como la detección de objetos en imágenes, el reconocimiento de voz y la identificación de patrones en grandes conjuntos de datos por medio de técnicas como las redes neuronales recurrentes (RNN por sus siglas en inglés), el perceptrón multicapa y las redes neuronales convolucionales (Díaz, 2021). El perceptrón multicapa consta de al menos tres capas de neuronas, la capa de entrada en las que las neuronas representan las características de los datos que se ingresan, las neuronas de las capas ocultas que realizan las operaciones de funciones de activación y generalmente son una o dos capas, y la capa de salida que procesa el resultado de la clasificación (Toro y Lizarazo, 2012). Por otro lado, las RNN utilizan una estructura similar, pero tienen conexiones retroalimentadas, lo que significa que las salidas de las neuronas se pueden utilizar como entradas en pasos de tiempo posteriores por lo que resultan útiles en tareas como el procesamiento del lenguaje natural y la traducción automática (Arana, 2021). Por último, Jiménez et al. (2023) y Rangel et al. (2019) definen las CNN como un tipo de red neuronal especialmente diseñado para procesar imágenes, y que se caracteriza por el uso de: capas convolucionales, las cuales aplican filtros convolucionales que se deslizan sobre la entrada y realizan operaciones de convolución para extraer características importantes de los datos; Núñez (2016) agrega que las capas de agrupación (pooling), reducen la dimensionalidad de los mapas de características al resumir localmente regiones de la entrada; y capas completamente conectadas que combinan las características extraídas en las capas anteriores y produce la salida final de la red.

4. Descripción del conjunto de datos

Para este trabajo se seleccionó un dataset público que se encuentra disponible en el sitio Kaggle (Adithya, 2020), las imágenes están organizadas en dos clases: benigno y maligno como se muestra en la Figura 1. El dataset contiene 9016 imágenes en total con un tamaño promedio de 500 x 500 píxeles en un formato png, entre estas se encuentran múltiples imágenes de mastografías presentes en el dataset, la Tabla 1 muestra en conjunto de datos.



a) b)

Figura 1 – Imágenes del dataset: a) Benigno y b) maligno.

Clase	Elementos	Formato
<i>Benigno</i>	4574	PNG
<i>Maligno</i>	4442	PNG
<i>Total:</i>	9016	

Tabla 1 – Estructura original del dataset seleccionado.

Para preparar el conjunto de datos para el análisis, se realizó un tratamiento previo que consistió en normalizar las imágenes mastográficas. Primero, se seleccionaron las imágenes mastográficas eliminando leyendas y se convirtieron a escala de grises. Posteriormente, se ajustaron a un tamaño cuadrado de 500 píxeles por 500 píxeles. Este proceso de normalización asegura que todas las imágenes tuvieran las mismas dimensiones y características, lo que facilita su procesamiento y análisis en la red neuronal convolucional, con el fin de mejorar la eficiencia y precisión del modelo en la clasificación, la información del dataset resultante se muestra en la Tabla 2.

Clase	Elementos	Formato
<i>Benigno</i>	4074	PNG
<i>Maligno</i>	4042	PNG
<i>Total:</i>	8116	

Tabla 2 – Estructura del dataset resultante.

5. Metodología

Para la clasificación de cáncer de mama en imágenes mastográficas, se propuso un modelo aprendizaje profundo compuesto por 28 capas, como se muestra en la Tabla 3. La capa de entrada recibe imágenes de 500 x 500 píxeles, que fueron previamente normalizadas y ajustadas. Después, se aplicaron capas de convolución, seguidas de capas de normalización por lotes y funciones de activación ReLU. Posteriormente, se incorporaron capas de maxpooling para reducir las dimensiones de las características extraídas. Después de estas capas, se agregó capas totalmente conectadas para procesar las características y finalmente, una capa de función de activación softmax para la clasificación multiclase. La última capa, la capa de salida, se utilizó para asignar la clase de cáncer de mama a cada imagen procesada.

La extracción de características en los componentes convolucionales del modelo de aprendizaje profundo es explicada por Bonilla (2020), Primero, se aplican filtros a las imágenes de entrada para extraer características relevantes, como bordes, texturas o formas. Cada filtro produce un mapa de bio-marcadores que resalta características en la imagen. Posteriormente, las capas de normalización por lotes ajustan y normalizan las activaciones de las capas de convolución, lo que ayuda a acelerar el entrenamiento y a mejorar la generalización del modelo. Las capas ReLU introducen no linealidades al transformar las activaciones negativas en cero, permitiendo al modelo aprender relaciones más complejas y aumentando su capacidad de representación. Las capas de maxpooling reducen la dimensionalidad de los mapas de características al seleccionar el valor máximo en una región de la imagen, lo que ayuda a reducir el costo computacional y a evitar el sobreajuste al conservar las características más relevantes.

Número	Capa	Tipo	Activación
1	<i>imageinput</i>	Image Input	500 x 500 x 1
2	<i>conv_1</i>	Convolution	500 x 500 x 8
3	<i>batchnorm_1</i>	Batch Normalization	500 x 500 x 8
4	<i>relu_1</i>	ReLU	500 x 500 x 8
5	<i>maxpool_1</i>	Max Pooling	250 x 250 x 8
6	<i>conv_2</i>	Convolution	250 x 250 x 16
7	<i>batchnorm_2</i>	Batch Normalization	250 x 250 x 16
8	<i>relu_2</i>	ReLU	250 x 250 x 16
9	<i>maxpool_2</i>	Max Pooling	125 x 125 x 16
10	<i>conv_3</i>	Convolution	125 x 125 x 32
11	<i>batchnorm_3</i>	Batch Normalization	125 x 125 x 32
12	<i>relu_3</i>	ReLU	125 x 125 x 32
13	<i>maxpool_3</i>	Max Pooling	62 x 62 x 32
14	<i>conv_4</i>	Convolution	61 x 61 x 64
15	<i>batchnorm_4</i>	Batch Normalization	61 x 61 x 64
16	<i>relu_4</i>	ReLU	61 x 61 x 64

Número	Capa	Tipo	Activación
17	<i>maxpool_4</i>	Max Pooling	30 x 30 x 64
18	<i>conv_5</i>	Convolution	27 x 27 x 128
19	<i>batchnorm_5</i>	Batch Normalization	27 x 27 x 128
20	<i>relu_5</i>	ReLU	27 x 27 x 128
21	<i>maxpool_5</i>	Max Pooling	13 x 13 x 128
22	<i>conv_6</i>	Convolution	10 x 10 x 256
23	<i>batchnorm_6</i>	Batch Normalization	10 x 10 x 256
24	<i>relu_6</i>	ReLU	10 x 10 x 256
25	<i>fc_1</i>	Fully Connected	1 x 1 x 2
26	<i>fc_2</i>	Fully Connected	1 x 1 x 2
27	<i>softmax</i>	Softmax	1 x 1 x 2
28	<i>classoutput</i>	Classification Output	1 x 1 x 2

Tabla 3 – Estructura del modelo propuesto.

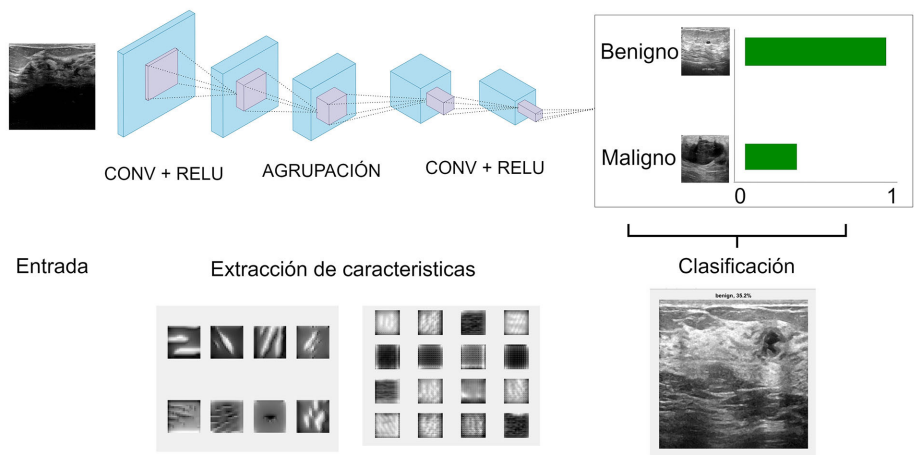


Figura 2 – Capas de extracción de características.

Después de las capas convolucionales y de maxpooling, las características se pasan a través de una capa totalmente conectada, que procesa las características extraídas para generar una representación final antes de la clasificación. Finalmente, la capa softmax se utiliza para la clasificación de múltiples clases, asignando probabilidades a cada clase basadas en la representación final de la imagen. La clase con la probabilidad más alta se considera la predicción del modelo para esa imagen. En resumen, el modelo propuesto, como se muestra en la Figura 2, implica la aplicación sucesiva de capas de convolución,

normalización, funciones de activación ReLU, maxpooling, capas totalmente conectadas y capas softmax para producir predicciones precisas sobre la clase de la imagen de entrada.

5.1. Extracción de características

En este modelo propuesto, las capas de convolución, max pooling y ReLU se encargan de realizar la extracción de características. El modelo tiene 6 capas de convolución, (2, 6, 10, 14, 18, 22); la capa 2 (convolución 1) recibe la imagen como entrada y genera 8 kernels de 3x3 para extraer la información. En la capa 6 (convolución 2) se obtienen 16 kernels, y 32 en la capa 10 (convolución 3), en ambos de 3x3. En la capa 14 (convolución 4) se obtienen 64 kernels de 4x4, y en las capas 18 (convolución 5) y 22 (convolución 6) el tamaño de los kernels es de 6x6, generando cada capa 128 y 256 kernels respectivamente, la Figura 3 muestra 8 kernels de cada convolución.

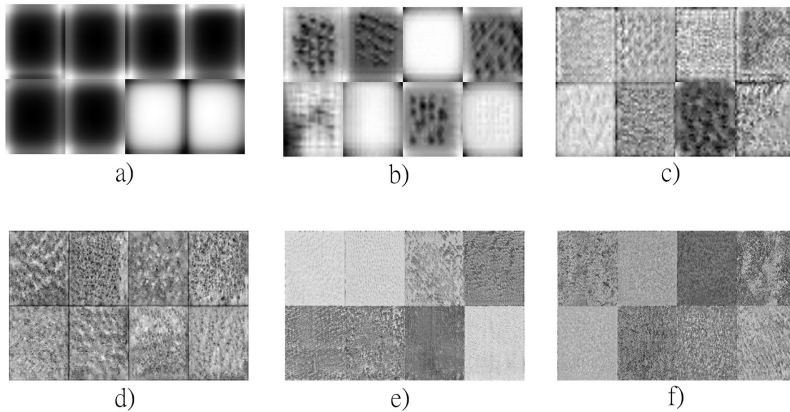


Figura 3 – Extracción de características en las capas: a) convolución 1, b) convolución 2, c) convolución 3, d) convolución 4, e) convolución 5 y f) convolución 6.

La función ReLU transforma todos los valores negativos a cero y mantiene los valores positivos sin cambios, facilitando así el entrenamiento. El modelo cuenta con 6 capas ReLU, (4, 8, 12, 16, 20 y 24). La Figura 4 muestra algunos kernels de cada capa ReLU. La operación de max pooling se realiza dividiendo la entrada en regiones (por ejemplo, 2x2) y tomando el valor máximo de cada región, con lo que se puede conservar las características más importantes de la región, mientras se descarta información menos relevante. La Figura 5 muestra 8 kernels de cada una de las 5 capas de max pooling presentes en el modelo, (5, 9, 13, 17 y 21).

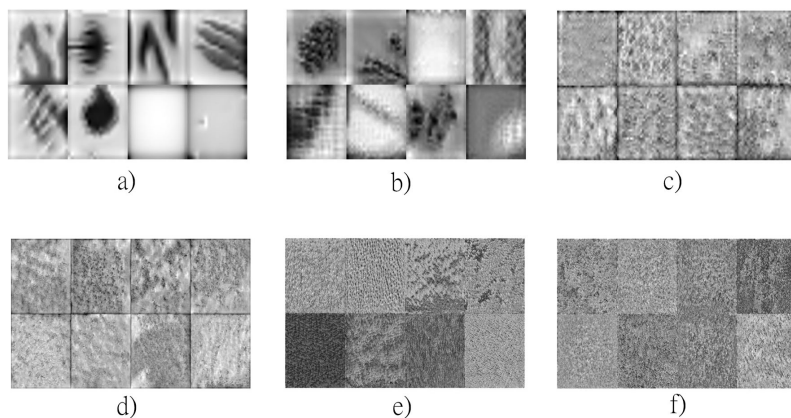


Figura 4 – Extracción de características en las capas: a) ReLU 1, b) ReLU 2, c) ReLU 3, d) ReLU 4, e) ReLU 5 y f) ReLU 6.

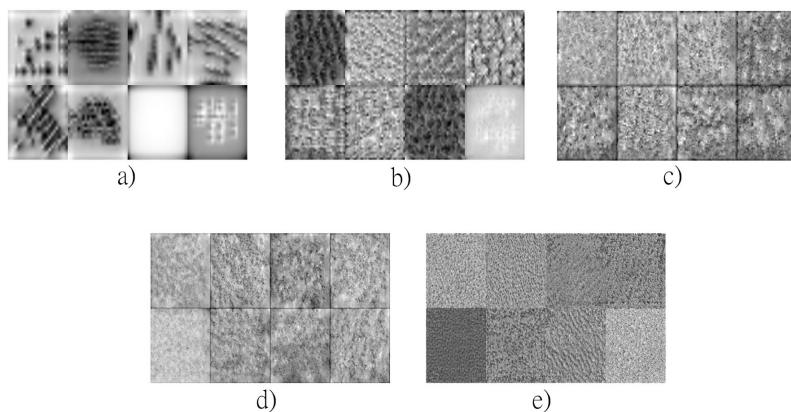


Figura 5 – Extracción de características en las capas: a) MaxPooling 1, b) MaxPooling 2, c) MaxPooling 3, d) MaxPooling 4, e) MaxPooling 5 y f) MaxPooling 6.

6. Resultados

Para el entrenamiento del modelo se utilizaron dos etiquetas “benigno” y “maligno”, estas fueron las clases en las que se organizó el dataset, que posteriormente fue dividido en dos conjuntos separados aleatoriamente, uno con el 80% de los datos para el entrenamiento y otro con el 20% de los datos para la validación, el número de muestras resultantes en cada conjunto se muestra en la Tabla 4.

Conjunto	Porcentaje (%)	benignos	maligos
Entrenamiento	80	3259	3234
Validación	20	815	808

Tabla 4 – Conjuntos de entrenamiento y validación.

En el entrenamiento del modelo se empleó el gradiente descendente estocástico y los parámetros utilizados fueron; un tamaño de lote de 40 muestras, un máximo de 20 épocas, una tasa de aprendizaje inicial de 0.0001 y una frecuencia de validación de 6 iteraciones. Utilizando el conjunto de entrenamiento que contiene un total de 6493 imágenes, el proceso tardó 506 minutos 22 segundos, obteniendo un porcentaje de precisión de 97.35% con 3240 iteraciones realizadas en 20 épocas como se muestra en la Figura 6, estas pruebas fueron realizadas en un equipo con un GPU Intel i5 NVIDIA GeForce RTX 3050, memoria 32GB.

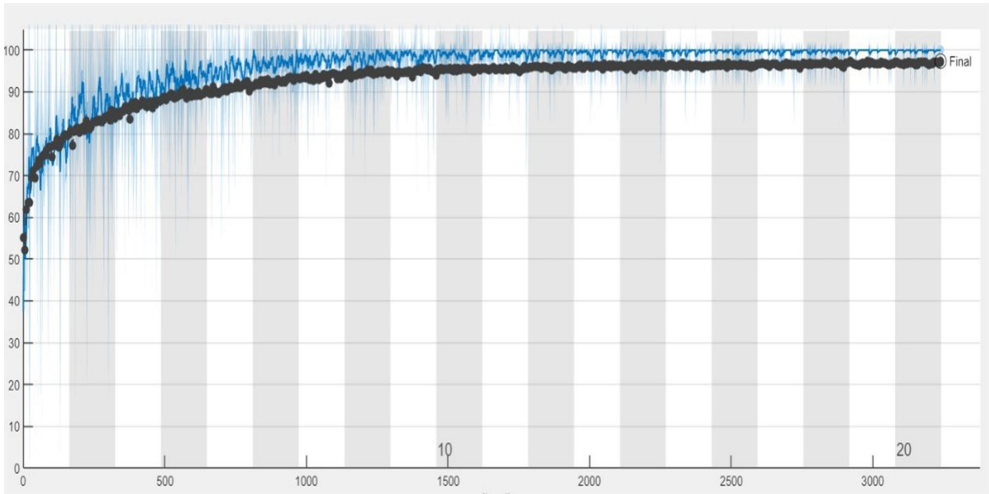


Figura 6 – Proceso de entrenamiento del modelo.

Para validar el desempeño del modelo se empleó una matriz de confusión para cada conjunto de datos, los resultados del conjunto de entrenamiento se muestran en la Figura 7, y los del conjunto de validación en la Figura 8, utilizando las siguientes métricas: VP (verdaderos positivos) casos benignos clasificados correctamente; VN (verdaderos negativos), casos benignos clasificados como malignos; FP (falsos positivos), casos malignos clasificados correctamente; y FN (falsos negativos), casos malignos clasificados como benignos.

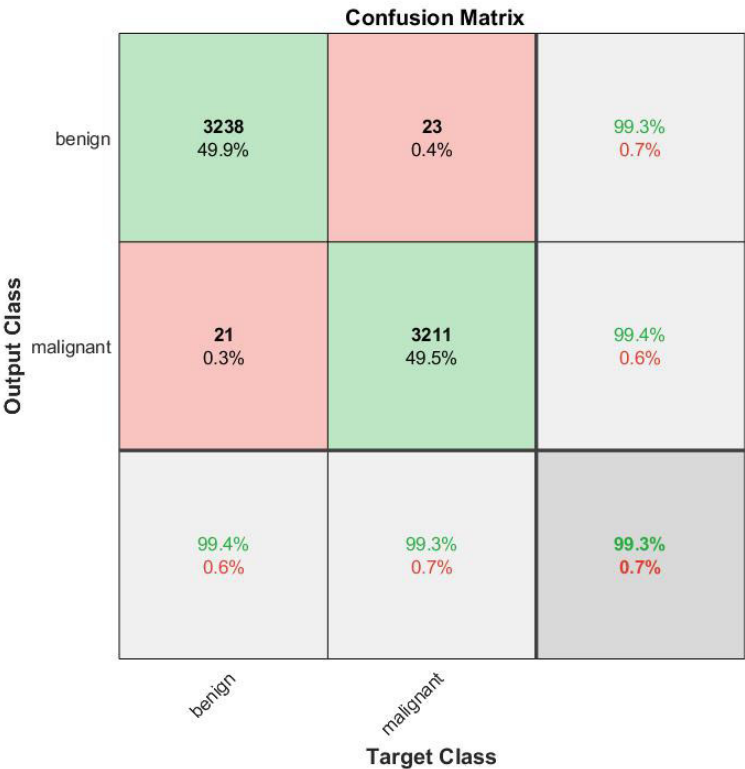


Figura 7 – Matriz de confusión del reconocimiento de casos malignos de cáncer de mama con el conjunto de datos de entrenamiento, 3238 casos VP, 23 VN, 21 FN y 3211 FP, obteniendo un 99.3% de exactitud.

En el caso del conjunto de entrenamiento, cuando se obtuvo la matriz de confusión se encontraron 3238 imágenes de mastografías de la clase benigno clasificadas dentro de esta clase, por lo que fueron los casos verdaderos positivos, de igual manera se obtuvieron 3211 casos de mastografías de la clase maligno clasificadas como tal, lo que representa los casos falsos positivos, mientras que, por otra parte, 23 imágenes de la clase benigno fueron clasificadas en la clase maligno y 21 imágenes de la clase maligno fueron clasificadas en la clase benigno, estas clasificaciones representan los verdaderos negativos y los falsos negativos del conjunto de datos de entrenamiento, estas clasificaciones llevaron a un porcentaje de exactitud del 99.3%.

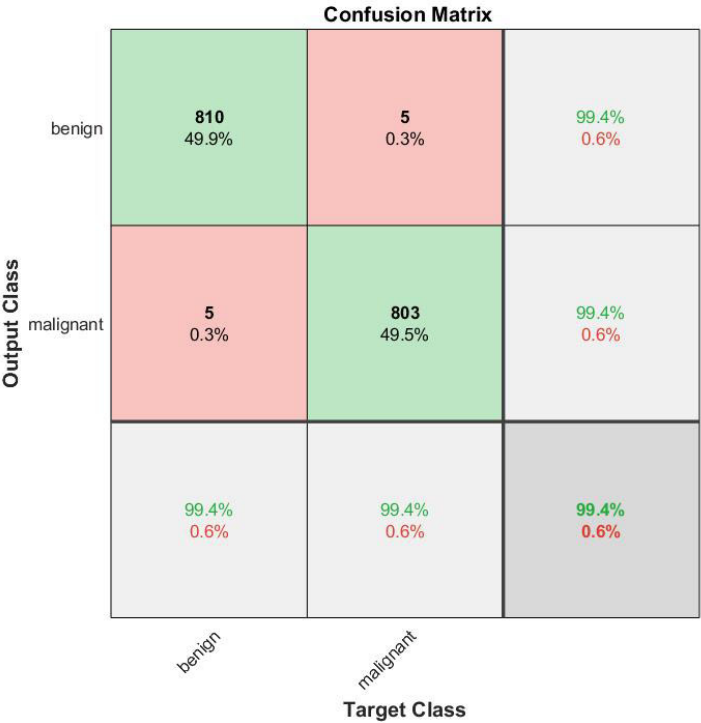


Figura 8 – Matriz de confusión del reconocimiento de casos malignos de cáncer de mama con el conjunto de datos de validación, 810 casos VP, 5 VN, 5 FN y 803 FP, obteniendo un 99.4% de exactitud.

Por otra parte, en el conjunto de validación se clasificaron un total de 810 imágenes de mastografías de la clase benigno dentro de esta misma clase, representando a los casos verdaderos positivos, mientras que, para los falsos positivos que son las imágenes de la clase maligno clasificadas como tal, hubieron 803 casos, por otra parte, tanto para los verdaderos negativos y falsos negativos se obtuvieron 5 imágenes clasificadas incorrectamente para cada uno de los casos, en este conjunto de datos de validación se obtuvo un porcentaje de exactitud del 99.4%.

En la Tabla 5 se ilustran los valores obtenidos con la matriz de confusión de cada conjunto.

Conjunto	VP	FP	VN	FN
Entrenamiento	3238	21	3211	23
Validación	810	5	803	5

Tabla 5 – VP, FP, VN y FN.

Además, también se calcularon la exactitud, sensibilidad y especificidad del modelo. La exactitud representa la proporción de predicciones correctas (VN + VP) sobre el total de predicciones realizadas (VN + VP + FN + FP). La sensibilidad indica la capacidad del modelo para identificar correctamente las instancias positivas, calculada como $VP / (VP + FN)$. Por último, la especificidad muestra la habilidad del modelo para identificar correctamente las instancias negativas, calculada como $VN / (VN + FP)$. Estos resultados se encuentran en la Tabla 6.

Conjunto	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad
Entrenamiento	99.32%	99.29%	99.35%
Validación	99.38%	99.39%	99.38%

Tabla 6 – Exactitud, Sensibilidad y Especificidad.

En la Figura 9, se muestra el funcionamiento del modelo entrenado, se observan 8 clasificaciones realizadas por el modelo usando el conjunto de entrenamiento.

7. Conclusiones

El diagnóstico temprano y preciso del cáncer de mama es fundamental para mejorar las tasas de supervivencia de las pacientes. En este estudio, se propuso un modelo de aprendizaje profundo para la clasificación de imágenes de mastografías en dos clases: benigno y maligno. El modelo fue entrenado y validado con un conjunto de datos público que contiene un total de 8116 imágenes normalizadas y ajustadas a un tamaño de 500 x 500 píxeles. Los resultados obtenidos muestran una alta precisión del modelo, con una exactitud del 99.3% en el conjunto de entrenamiento y del 99.4% en el conjunto de validación. Además, se calcularon otras métricas como sensibilidad y especificidad, mostrando valores altos y consistentes con la exactitud. Estos resultados indican que el modelo propuesto tiene un buen desempeño en la clasificación de imágenes de mastografías, con porcentajes de exactitud mayores que los trabajos similares mencionados en este documento (Durán et al., 2019; Saldaña, 2022; Celis et al., 2022; López, 2020). Una limitación importante de este estudio es que el modelo propuesto clasifica únicamente en dos clases: benigno y maligno. En contraste, algunos trabajos relacionados abordan la clasificación en más de dos clases, incluyendo la clase de normal (Durán et al., 2019; Saldaña, 2022; Celis et al., 2022; López, 2020), es decir, sin patología, así como la clasificación entre clases específicas como microcalcificaciones y masas espículadas (González-Bueno et al., 2015; Chanampe et al., 2019). Esta limitación puede reducir la capacidad del modelo para distinguir entre diferentes tipos de anomalías mamarias, lo que podría afectar su utilidad clínica en situaciones donde la diferenciación precisa entre diversas condiciones es crucial para el tratamiento y la gestión de la enfermedad. En futuras investigaciones, sería beneficioso explorar la posibilidad de ampliar el modelo para incluir la clasificación en múltiples clases, lo que podría mejorar su capacidad de diagnóstico y su relevancia clínica.

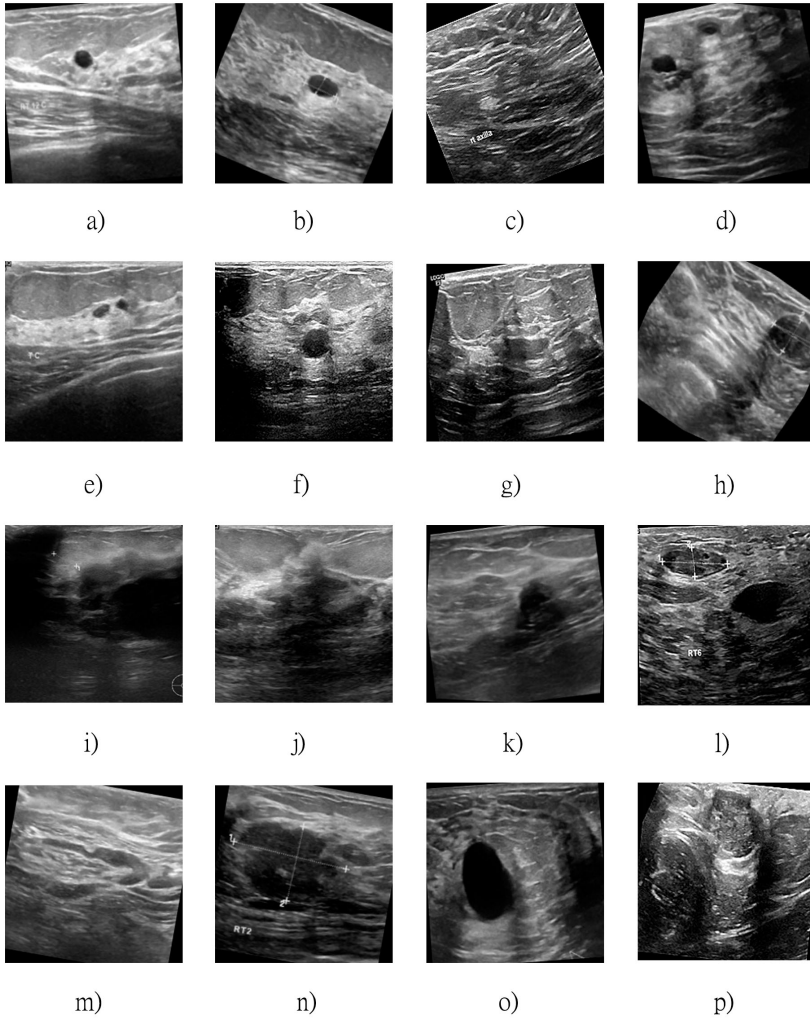


Figura 9 – Resultados de clasificación: a) benigno: 94.2%, b) benigno: 95.2%, c) benigno: 99.7%, d) benigno: 98.2%, e) benigno: 98.6%, f) benigno: 99.8%, g) maligno: 97.5%, h) benigno: 94%.

Referencias

Agudelo, G., & Harold, M. (2021). Detección de cáncer de seno usando imágenes de histopatología y modelos de aprendizaje profundo pre-entrenados. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 2(2), 27-36. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/9043>

- Adithya, V. (2023). Ultrasound Breast Images for Breast Cancer. *Kaggle*. <https://www.kaggle.com/datasets/vuppalaadithyasairam/ultrasound-breast-images-for-breast-cancer/data>
- Arana, C. (2021). Redes neuronales recurrentes: Análisis de los modelos especializados en datos secuenciales. *En Serie Documentos de Trabajo, No. 797, Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA)*. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/238422/1/797.pdf>
- Bonilla, C. (2020). Redes convolucionales. [Tesis, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla]. *Deposito de investigación de la universidad de sevilla*. <https://idus.us.es/handle/11441/115221>
- Cano, F. A., & Cruz, A. A. (2018). Entrenamiento de una Red Neuronal Convolucional con Jupyter y TensorFlow para la clasificación de tejido invasivo de cáncer de seno. *En Actas del II Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería - CICI 2018*, (pp. 1-12). https://cici.unillanos.edu.co/media2018/memorias/Pagina_Legal_Memorias-CICI2018.pdf
- Castrillón, O. D., Castaño, E., & Castillo, L. F. (2018). Sistema Predictivo Bayesiano para Detección del Cáncer de Mama. *Información tecnológica*, 29(3), 257-270. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300257>
- Celis, S. A., Sarmiento, J. F., & Calderón-Benavides, L. (2022). Desarrollo de una red neuronalconvolucional para la detección del cáncer de mama mediante la clasificación de imágenes mamográficas. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(39), 75-80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9377811>
- Chanampe, H., Aciar, S., De la Vega, M., Molinari, J. L., Carrascosa, G., & Lorefice, A. (2019). Modelo de redes neuronales convolucionales profundas para la clasificación de lesiones en ecografías mamarias. *En XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2019, Universidad Nacional de San Juan)*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77381>
- Del Castillo, N. (2020). Predicción en el diagnóstico de tumores de cáncer de mama empleando métodos de clasificación. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 8(15), 96-104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7410898>
- Díaz, J (2021). Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo. *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*, 29(2), 180-181. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052021000200180&script=sci_arttext
- Durán, L., Domínguez, J.P., Luna, F., Amaya, I., Civit, J., Vicente, S., & Linares, A. (2019). Clasificación de tumores en cáncer de mama basado en redes neuronales de convolución. En Beltrán, A., Félix, M. (Eds.). *Avances en la investigación en ciencia e ingeniería*, (pp. 87-94). Área de innovación y desarrollo.
- Garau, M., Musetti, C., Alonso, R., & Barrios, E. (2024). Estadío, perfil biológico y tendencias de incidencia y mortalidad de cáncer de mama en Uruguay: análisis por franjas etarias. *Revista Médica del Uruguay*, 40(1). http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-03902024000101203

- González-Bueno, J., Ríos, B., & Sánchez, M. C. (2015). Detección y Clasificación de Tejidos Anómalos en Mamografías Digitales Mediante Redes Neuronales Convolucionales. *En Actas del XXXIII Congreso anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica*, (pp. 14-18). <https://oa.upm.es/43678/>
- Guerrero, J., & Tendilla, E. R. (2022). Aprendizaje profundo. *Nextia*, 15(1), 10-22. <https://revistas.uvp.mx/index.php/nextia/article/view/193>
- Jiménez, D., Henao, S. A, Castro, A. E., Duque, L., & Nieto, D. (2023). Segmentación de tejido cerebral mediante redes neuronales convolucionales basadas en U-Net. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 52(1), 5-24. <https://www.risti.xyz/issues/risti52.pdf>
- Lara, M., & Olmedo, A. (2011). Detección temprana y diagnóstico del cáncer mamario. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 54(1), 04-17. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422011000100002&lng=es&tlng=es
- López, E., & Salamanca, F. (2020). Cáncer de mama. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58(1), 1-3. <https://www.redalyc.org/journal/4577/457769373001/>
- López, J. D., López, L. A., & Pérez, M. (2020). Classification of Breast Cancer from Digital Mammography Using Deep Learning. *Inteligencia artificial: Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 23(65), 56-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7507886>
- Núñez, F. J. (2016). *Diseño de un sistema de reconocimiento automático de matrículas de vehículos mediante una red neuronal convolucional*. [Master Tesis, Área de Inteligencia Artificial, Universitat Oberta de Catalunya]. Repositorio de la Universitat Oberta de Catalunya. <http://hdl.handle.net/10609/52222>
- Rangel, J. J., Ruiz, J. S, García, F., & Cervantes, J. (2019). Redes Neuronales Convolucionales en la identificación de melanomas benignos y malignos. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, E23(2), 15-27. <https://www.risti.xyz/issues/ristie23.pdf>
- Rojas, M., Olvera, J. L, Vargas, L., Rodríguez, J., Chávez, A. I., Aranza, J. L, Martinez, S., Villa, A., Ramírez, R., & Ibarra, L. A. (2020). Detección del cáncer de mama en la Ciudad de México durante 2017. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58(1), 32-40. <https://www.redalyc.org/journal/4577/457769373005/>
- Pérez, C. A., Vásquez, T., Mulet, A., Vásquez, C., & Perdigón, F. (2022). HistoBCAD: herramienta de código abierto para detección de cáncer de mama en imágenes histopatológicas. *MediSur*, 20(2), 210-221. <https://www.redalyc.org/journal/1800/180071548007/>
- Quiroz, S., & Rivas, B. (2018). Modelo de decisión bayesiano para el diagnóstico de cáncer de mama. *Actualidad Contable Faces*, 21(36), 116-135. <https://www.redalyc.org/journal/257/25754826006/html/>

- Saldaña, S. (2022). Modelo de inteligencia artificial para el pronóstico de detección de cáncer de mama mediante una red neuronal artificial. *Revista Plus Economía*, 10(1), 34-42. <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/524>
- Toro, G. A., & Lizarazo, I. A. (2012). Evaluación de las Redes Neuronales Artificiales Perceptron Multicapa y Fuzzy-Artmap en la Clasificación de Imágenes Satelitales. *Ingeniería*, 17(1), 61-72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498850174008>

Adaptação e validação do “questionário de satisfação académica” junto de estudantes portugueses do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário

António Faria¹, Guilhermina Lobato Miranda¹

antonio.faria@edu.ulisboa.pt; gmiranda@edu.ulisboa.pt

¹ Instituto de Educação, Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1649-013 Lisboa, Portugal

DOI: 10.17013/risti.55.38–57

Resumo: Neste artigo é apresentado o processo de adaptação e validação do Questionário de Satisfação Académica (QSA), desenvolvido para estudantes portugueses e brasileiros do ensino superior, para estudantes portugueses do 3.º ciclo do ensino básico (versão QSA-EB) e estudantes do ensino secundário (versão QSA-ES). A adaptação foi autorizada pelos autores da versão original e feita pelos dois autores do artigo. O processo de validação consistiu em determinar as qualidades psicométricas destas duas novas versões do questionário, através dos indicadores estatísticos de Sensibilidade dos itens, Análise Fatorial Exploratória (AFE) e Precisão de cada fator que emergiu após a realização da AFE. Os resultados foram todos positivos para a sensibilidade dos itens, a AFE fez emergir as dimensões teóricas do construto e os índices de precisão de cada fator, determinado através do Alfa de Cronbach, podem ser considerados bastante fiáveis e fiáveis.

Palavras-chave: Satisfação académica; Questionário de satisfação académica; Ensino Básico e Ensino Secundário; Validação.

Adaptation and validation of the “academic satisfaction questionnaire” among Portuguese primary and secondary school students

Abstract: This article presents the adaptation and validation process of the Academic Satisfaction Questionnaire (ASQ), developed for Portuguese and Brazilian higher education students, for Portuguese students in the 3rd cycle of basic education (QSA-EB version) and high school students (QSA-ES version). The adaptation was authorized by the authors of the original version and made by the two authors of the article. The validation process consisted of determining the psychometric qualities of these two new versions of the questionnaire, through statistical indicators of item Sensitivity, Exploratory Factor Analysis (EFA) and reliability of each factor that emerged after carrying out the EFA. The results were all positive for the sensitivity of the items, the EFA revealed the theoretical dimensions of the construct and the reliability indices of each factor, determined through Cronbach’s Alpha, which can be considered quite reliable and reliable.

Keywords: Academic satisfaction; Academic satisfaction questionnaire; Primary and Secondary Education; Validation.

1. Introdução

Este artigo tem como objetivo adaptar e validar o “Questionário de Satisfação Académica”, da autoria de Osti, Almeida, Chico e Oliveira (2020), originalmente destinado a estudantes do ensino superior portugueses e brasileiros, para uma amostra de estudantes portugueses do 3.º ciclo do ensino básico (EB) e do ensino secundário (ES). Esta adaptação e validação surgiram da necessidade de avaliar o grau de satisfação destes alunos, no âmbito do doutoramento de um dos autores, cujo objetivo principal era avaliar o impacto de estratégias de ensino com realidade aumentada nas Ciências Naturais e Biologia e Geologia. Obteve-se autorização dos autores para proceder à adaptação. Antes de descrever os procedimentos metodológicos, clarificam-se os constructos de “satisfação” e “satisfação académica” (SA), mencionando três teorias científicas que explicam este constructo e as várias escalas e questionários para a sua medição.

A satisfação, termo com origem no latim *satisfactio*, é um constructo psicológico que só adquire significado no âmbito de um modelo teórico. Para Vianna (2014) “construtos são traços, aptidões ou características supostamente existentes e abstraídos de uma variedade de comportamentos que tenham significado educacional (ou psicológico)” (p. 35). Malizia (1972) refere que “Uma construção teórica que pode ser definida como uma ideia ou abstração que identifica algum fenómeno no mundo real” (p. 421, nossa tradução) e menciona a importância de se quantificar os fenómenos que procuram mensurar os construtos teóricos, enquanto referencial empírico, o que se faz através dos dados disponíveis e da estatística.

Lufiande (2018) refere três modelos teóricos que procuram explicar a satisfação e que se organizam na Tabela 1. Contudo, neste estudo pareceu ser mais adequado o modelo ecológico, que deve ter estado na base da construção do questionário utilizado. A escolha foi feita após terem sido analisadas várias escalas e questionários que serão descritos mais à frente.

Modelo das necessidades	Modelo de discrepâncias	Modelo ecológico
“... a satisfação decorre do atendimento ou da eliminação de uma determinada necessidade e ocorre quando um fator (externo) diminui a tensão da necessidade (interna) elevando o nível de satisfação.”	“... satisfação é o sentimento de prazer ou de desapontamento que depende de uma comparação do desempenho esperado pelo produto ou serviço em relação às expectativas do cliente...”	“... a experiência do estudante como ocorrendo em vários níveis e sujeita a múltiplas influências dentro e fora do campus universitário.”

Tabela 1 – Diferentes perspetivas para explicar a satisfação segundo Lufiande (2018)

1.1. Satisfação Académica

A satisfação académica é um constructo amplamente estudado, com diferentes visões sobre sua definição: como uma avaliação cognitiva (Okun e Weir, 1990) ou um estado afetivo (Bean e Bradley, 1986), sendo também descrita como a avaliação subjetiva da qualidade da experiência dos estudantes (Astin, 1993, citado por Chico et al,

2022), enquanto Haverila et al. (2021) destacam a sobreposição com a satisfação do consumidor. A relação entre a satisfação académica e a qualidade da instituição de ensino é consensual (Candeias, 2018; Almeida et al., 2020), sendo avaliada através de escalas multidimensionais que englobam dimensões sociais, pessoais, institucionais e do curso (Almeida et al., 2020). A satisfação académica também está relacionada com o desempenho académico (Soares et al., 2002; Almeida et al., 2020) e é vista como um indicador de sucesso e qualidade das instituições de Ensino Superior (Chico et al., 2022; Quintano et al., 2022).

1.2. Instrumentos para Medir a Satisfação Académica

Czapievski e Lima (2010) analisaram 15 artigos numa revisão de literatura sobre escalas e questionários para medir a satisfação académica e identificaram nove instrumentos que contribuem para a melhoria dos sistemas de ensino. Na Tabela 2 são apresentados estes nove instrumentos mais cinco, complementados com informação dos estudos mencionados através dos autores e ano.

Instrumentos para medir a satisfação académica	Autores (ano)	Dimensões (itens)	Escala
College Student Satisfaction Questionnaire (CSSQ)	Starr, Betz e Menne (1971)	Cinco (70)	Likert de 5 pontos
Questionário de Vivência Académica (QVA)	Almeida e Ferreira (1997); Almeida, Soares e Ferreira (1999)	Dezassete (204)	Likert de 5 pontos
Student Satisfaction Inventory (SSI)	Grupo Noel-Levitz (1998)	Doze (98)	Likert de 7 pontos
Escala de Satisfação Académica (ESA)	Martins (1998)	Três (20)	Likert de 5 pontos
Questionário de Vivência Académica reduzido (QVA-r)	Almeida, Soares e Ferreira (1999); Almeida, Ferreira e Soares (2003)	Cinco (60)	Likert de 5 pontos
Questionário de Expetativas Académicas (QEA)	Soares e Almeida (2000); Soares (2003)	Cinco (38)	tipo Likert de 4 pontos
Questionário de Satisfação Académica (QSA)	Soares, Vasconcelos e Almeida (2001); Soares (2003)	Três (13)	Likert de 5 pontos
Inventário de Atitudes e Comportamentos Habituais do Estudo (IACHE)	Tavares, Almeida, Vasconcelos e Bessa (2003)	Cinco (44)	Likert de 5 pontos
Escala de Avaliação da Vida Académica (EAVA)	Vendramini, Santos, Polydoro, Sbardelini, Serpa e Natário (2004)	Cinco (43)	Likert de 5 pontos
Escala de Satisfação com a Experiência Académica (ESEA)	Schleich, Polydoro e Santos (2006)	Três (35)	Likert de 5 pontos
Escala de Satisfação Académica para Universitários (ESAU)	Sisto, Muniz, Bartholomeu, Pasetto, Oliveira e Lopes (2008)	Quatro (35)	tipo Likert de 4 pontos
Questionário de Satisfação com a Experiência Académica (QSEA)	Osti e Almeida (2018)	Seis (34)	Likert de 5 pontos

Instrumentos para medir a satisfação académica	Autores (ano)	Dimensões (itens)	Escala
Questionário de Satisfação Académica (QSA)	Osti, Almeida, Chicco e Oliveira (2020)	Seis (34)	Likert de 5 pontos
Questionário de Satisfação com a Experiência Académica Remota (QSEA-R)	Pereira-Neto, Faria e Almeida (2022)	Cinco (25)	Likert de 5 pontos

Tabela 2 – Instrumentos de avaliação da satisfação académica, por ordem cronológica

1.3. Escala de Satisfação Académica

A construção do Questionário de Satisfação Académica (QSA) por Soares e Almeida (2001) incluiu três dimensões: satisfação curricular, institucional e sócio relacional. Osti et al. (2020) publicaram uma versão alargada do QSA para estudantes do ensino superior no Brasil e em Portugal, inicialmente com 46 itens em cinco dimensões, que após validação resultou em 34 itens organizados em seis dimensões. Esta versão foi a escolhida para este estudo, adaptada e validada para alunos do 3.º ciclo do EB e do ES português, que se descreve seguidamente. Deste processo resultou uma escala com 28 itens e quatro dimensões destinada aos alunos do 3.º ciclo do EB e uma outra com 31 itens e cinco dimensões destinada aos alunos do ES.

2. Método

O Questionário de Satisfação Académica (QSA), originalmente desenvolvido para o ensino superior, foi adaptado para os níveis de ensino básico e secundário, mantendo quatro dimensões no EB (Ensino, Institucional, Aprendizagem e Rendimento Escolar, e Interpessoal) e cinco no ES (acrescenta a Profissional). A dimensão Recursos Financeiros foi excluída por não se adequar a estes níveis de ensino. A adaptação foi autorizada pelos autores originais e ajustada ao currículo português, que define a escolaridade obrigatória até aos 18 anos.

O estudo obteve parecer favorável da Comissão de Ética e autorização da Direção da escola, com anuência dos encarregados de educação. O questionário foi aplicado eletronicamente, garantindo anonimato e participação única por aluno. As respostas foram recolhidas durante quatro semanas, com lembretes enviados aos participantes. Os dados foram exportados para Excel e analisados no SPSS v.29.

2.1. Adaptação

Os itens do questionário aplicado aos alunos do EB e do ES foram adaptados e/ou reconstruídos, a partir dos itens do Questionário de Satisfação Académica - QSA (Osti et al., 2020) pelo autor, no âmbito do seu projeto de investigação de doutoramento, sendo ajustados e validados pela coautora do estudo, resultando nas versões finais aplicadas aos alunos QSA-EB e QSA-ES (Tabela 3). A estrutura das afirmações foi mantida positiva, com os respondentes a indicarem o seu grau de satisfação numa escala de Likert de 5 pontos. Apenas os itens alterados foram mencionados e assinalados na Tabela 3, indicando se foram ou não retirados das versões adaptadas do questionário original.

Itens originais alterados	Dimensão inicial	EB 3 ^o C	ES	Item novo	Dimensão nova
1.	p	não	sim		
2.	a/ ra	sim	sim		e
3.	e	sim	sim		is
4.	is	não	sim		p
5. Conseguir dinheiro para custear as despesas do meu curso	p	sim	sim	5. Os recursos usados pelos professores nas aulas (exemplo: manual, exercícios, fichas)	e
6.	rf	sim	sim		ip
7.	ip	sim	sim		a/ ra
8. Suportar as despesas com a minha alimentação e outras necessidades básicas	ip	sim	sim	8. Os recursos digitais usados pelos professores nas aulas (exemplo: PowerPoint, quadro interativo)	e
9.	a/ ra	sim	sim		
10.	rf	sim	sim		is
11.	a/ ra	sim	sim		
12.	is	sim	sim		e
13.	is	não	sim		p
14.	a/ ra	sim	sim		
15. Ter recursos suficientes para participar de eventos (congressos, seminários, cursos, etc.)	e	sim	sim	15. Os recursos digitais dinâmicos usados pelos professores nas aulas (exemplo: Realidade Aumentada)	e
16.	p	não	sim		
17.	is	sim	sim		a/ ra
18.	rf	sim	sim		is
19.	p	sim	sim		a/ ra
20.	a/ ra	sim	sim		ip
21.	is	sim	sim		e
22.	a/ ra	sim	sim		is
23. Ter recursos financeiros para participar em atividades culturais ou desportivas	p	sim	sim	23. As estratégias de ensino usadas pelos professores	e
24.	ip	sim	sim		
25.	e	sim	sim		is
26.	is	sim	sim		e

Itens originais alterados	Dimensão inicial	EB 3ºC	ES	Item novo	Dimensão nova
27. A suficiência dos meus recursos econômicos para as despesas diárias	rf	sim	sim	27. Os recursos digitais partilhados pelos professores (exemplo: Moodle, Teams)	is
28.	ip	sim	sim		
29.	a/ ra	não	sim		p
30.	e	sim	sim		ip
31.	e	não	não	item original 33.	a/ ra
32.	rf	sim	sim	32. A rede de internet disponibilizada aos alunos	is
33.	a/ ra	sim	sim	33. O feedback aos trabalhos ou avaliações pelos professores	e
34.	is	não	não		

Nota: a/ ra - aprendizagem/rendimento académico; e - ensino; is - institucional; ip - interpessoal; rf - recursos financeiros.

Tabela 3 – Adaptação do QSA para os Ensinos Básico e Secundário.

2.2.Participantes

Responderam 48.8% (n = 80) do total de alunos do ensino básico (sétimo e nono anos) da escola onde foi feito o estudo e 92.6% (n = 112) do total de alunos do ensino secundário (décimo e décimo primeiro anos). No EB a média de idades foi de 13 anos (DP = 0.907), sendo 48.75% (n = 39) do sexo masculino e 51.25% (n = 41) do sexo feminino. No ES a média de idades foi de 16 anos (DP = 0.651), sendo 50.00% (n = 56) do sexo masculino e 50.00% (n = 56) do sexo feminino, conforme Tabela 4.

Ensino	Ano	Idade (média)	Autoriza-dos	M	F	Respon-dentes	M	F
Básico	7º	12 anos	83 (50.61%)	46 (55.42%)	37 (44.58%)	36 (45.00%)	20 (55.56%)	16 (44.44%)
	9º	14 anos	81 (49.39%)	37 (45.68%)	44 (54.32%)	44 (55.00%)	19 (43.18%)	25 (56.82%)
	total	13 anos	164	83 (50.61%)	81 (49.39%)	80 (48.8%)	39 (48.75%)	41 (51.25%)
Secundário	10º	15 anos	56 (46.28%)	28 (50.00%)	28 (50.00%)	50 (44.6%)	24 (48.00%)	26 (52.00%)
	11º	16 anos	65 (53.72%)	35 (53.85%)	30 (46.15%)	62 (55.4%)	32 (51.61%)	30 (48.39%)
	total	16 anos	121	63 (52.07%)	58 (47.93%)	112 (92.56%)	56 (50.00%)	56 (50.00%)

Tabela 4 – Distribuição dos alunos autorizados e dos respondentes ao questionário.

2.3. Instrumentos

No QSA adaptado aos alunos do 3.º Ciclo do EB (QSA-EB) e no QSA adaptado aos alunos do ES (QSA-ES) (Tabela 5), seguiu-se a mesma abordagem dos autores originais na escolha das dimensões a avaliar. Foram definidas as seguintes dimensões: i) Ensino (9 itens), que avalia metodologias, recursos, relação com alunos, métodos de avaliação e feedback; ii) Institucional (8 itens), que avalia espaços escolares, limpeza, segurança, mobiliário, serviços, disciplinas, recursos digitais e internet; iii) Aprendizagem e Rendimento Escolar (6 itens), que mede o desempenho, envolvimento, participação e trabalho autónomo; iv) Interpessoal (5 itens), que mede as relações com colegas, integração cultural e convívio; v) Profissional (5 itens), aplicada apenas aos estudantes do ES, que avalia os projetos futuros, oportunidades de emprego e ligação da área de estudo à futura profissão.

Nos questionários foi utilizada a mesma escala de Likert de cinco pontos: 1 - Muito Insatisfeito(a); 2 - Insatisfeito(a); 3 - Nem Insatisfeito(a), Nem Satisfeito(a); 4 - Satisfeito(a); 5 - Muito Satisfeito(a), sendo avaliadas afirmações que foram iniciadas com “Sinto-me insatisfeito(a) ou satisfeito(a) com...”.

QSA	Item	Dim
--/ES	A ligação do meu curso à(s) profissão(ões) que gostaria de ter no futuro	P
EB/ES	A competência pedagógica dos meus professores	E
EB/ES	Os espaços disponibilizados aos alunos (exemplo: biblioteca, laboratórios)	IS
--/ES	As possibilidades de aplicação dos conhecimentos na futura profissão	P
EB/ES	Os recursos usados pelos professores nas aulas (exemplo: manual, exercícios, fichas)	E
EB/ES	Número de amigos a que posso recorrer em momentos difíceis	IP
EB/ES	A forma como eu me organizo para estudar e aprender	A
EB/ES	Os recursos digitais usados pelos professores nas aulas (exemplo: PowerPoint, quadro interativo)	E
EB/ES	O meu rendimento escolar nos trabalhos ou avaliações	A
EB/ES	O mobiliário e o equipamento das salas de aula	IS
EB/ES	Os apontamentos e reflexões que tiro nas aulas	A
EB/ES	Os métodos de avaliação usados pelos professores	E
--/ES	A ligação das matérias com a profissão que desejo ter	P
EB/ES	A limpeza e a segurança existentes no espaço escolar	IS
EB/ES	Os recursos digitais dinâmicos usados pelos professores nas aulas (exemplo: RA)	E
--/ES	As expectativas de acesso ao ensino superior na área dos meus estudos	P
EB/ES	A qualidade das minhas aprendizagens	A
EB/ES	A qualidade do atendimento pelos funcionários do Externato	IS
EB/ES	O meu nível de entendimento das matérias quando estou a estudar	A
EB/ES	Participar em festas ou convívios com outros alunos	IP

QSA	Item	Dim
EB/ES	O método usado pelos professores para motivar os alunos	E
EB/ES	A qualidade dos serviços de atendimento aos alunos do Externato	IS
EB/ES	As estratégias de ensino usadas pelos professores	E
EB/ES	A quantidade de amigos que tenho no Externato	IP
EB/ES	A qualidade das disciplinas que tenho no Externato	IS
EB/ES	A relação dos professores com os alunos no Externato	E
EB/ES	Os recursos digitais partilhados pelos professores (exemplo: Moodle, Teams)	IS
EB/ES	O convívio que consigo ter com os meus colegas	IP
EB/ES	As oportunidades de emprego quando concluir este curso	P
EB/ES	Ter colegas de diferentes culturas e grupos sociais no Externato	IP
EB/ES	O meu nível de participação nas aulas	A
EB/ES	A rede de internet disponibilizados aos alunos	IS
--/ES	O feedback aos trabalhos ou avaliações pelos professores	E

Nota: Dim - Dimensão, A - Aprendizagem e Rendimento escolar, E - Ensino, IP - Interpessoal, IS - Institucional, P - Profissional.

Tabela 5 – QSA adaptado aos alunos do 3º Ciclo do EB (QSA-EB) e do ES (QSA-ES).

2.4. Validação

A análise estatística foi realizada utilizando o *software* SPSS v.29. Inicialmente, analisou-se a sensibilidade dos itens através dos indicadores de assimetria e achatamento. Em seguida, procedeu-se à análise fatorial exploratória com o método Varimax, pois, segundo Marôco (2021), “o objetivo é obter uma estrutura fatorial na qual uma e apenas uma das variáveis originais esteja fortemente associada com um único fator” (p. 477). Para determinar a consistência interna de cada fator num questionário multidimensional, utilizou-se o alfa de Cronbach (Cohen et al., 2018), que mede a correlação de cada item com a soma dos outros itens relevantes.

3. Resultados

3.1. Sensibilidade dos Itens

Analisar a sensibilidade dos itens possibilita aferir se a escala permite distinguir os respondentes com níveis de satisfação académica diferentes. Segundo Marôco (2021) “as medidas de assimetria e achatamento caracterizam a forma da distribuição dos elementos da população amostrados em torno da média” (p. 20) e cita Kline (1998) para referir que se entendem aceitáveis valores “absolutos de assimetria e achatamento inferiores a 3 e a 7 respetivamente” (p. 22). Em apêndice 1 apresentam-se os valores de assimetria e achatamento, bem como o valor mínimo e máximo obtido para cada item na escala de 5 pontos de Likert, para o QSA-EB e QSA-ES. Verificámos que todos os itens têm valores de assimetria e achatamento aceitáveis, pelo que não se procedeu

Teste de KMO e Bartlett			
QSA -ES	Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem.		0.765
	Teste de esfericidade de Bartlett	Aprox. Qui-quadrado	1558.659
		gl	528
		Sig.	<0.001

Tabela 7 – Teste KMO e Bartlett para os 28 e 33 itens das escalas EB e ES respetivamente.

Nesta primeira AFE, emergiram sete fatores para o QSA-EB que explicavam 66% da variância total do questionário que, embora com um valor de variância explicado muito positivo, estava longe dos quatro fatores ou dimensões definidos pelo constructo teórico. Resolveu forçar-se a análise aos quatro fatores inicialmente definidos. Esta nova AFE permitiu explicar 54% da variância, o que é aceitável, e que se indicam na Tabela 8.

Item	Componente				Comunalidades
	1	2	3	4	
1.			0.455		0.498
2.		0.667			0.560
3.	0.606				0.487
4.				0.618	0.539
5.			0.537		0.372
6.	0.731				0.654
7.			0.568		0.514
8.		0.603			0.399
9.	0.480				0.482
10.	0.436	0.512			0.556
11.		0.653			0.458
12.	0.494	0.411			0.443
13.		0.465	0.482		0.586
14.		0.726			0.581
15.			0.778		0.675
16.				0.583	0.352
17.	0.752				0.681
18.		0.498			0.521
19.	0.743				0.685
20.				0.730	0.672
21.	0.514		0.462		0.495
22.	0.552				0.585

Item	Componente				Comunalidades
	1	2	3	4	
23.	0.590				0.507
24.				0.828	0.698
25.				0.520	0.431
26.			0.472		0.412
27.	0.660				0.439
28.	0.755				0.695
% Variância explicada	32.814	9.430	5.894	5.345	

Tabela 8 – Análise fatorial QSA-EB rotação Varimax com normalização Kaiser.

Após esta análise os itens foram organizados de acordo com o que se pode observar na Tabela 9. Nenhum item foi removido, apenas realocados a diferentes dimensões ou fatores conforme o seu maior peso fatorial. Não houve total concordância entre os itens das quatro dimensões do questionário adaptado e os resultados da AFE. O Fator 1, referente ao “Ensino”, incluiu 11 itens (teoricamente 9), correspondendo ao conteúdo de ensino, exceto o item 27, que seria mais adequado na dimensão institucional. O Fator 2, referente à dimensão “Institucional”, incluiu 6 itens (teoricamente 8), relacionados com a dimensão institucional, exceto o item 10, que seria mais adequado na dimensão ensino, conforme o estudo original, embora tenha fatorizado em ambas as dimensões com pesos próximos. O Fator 3, referente à “Aprendizagem e Rendimento Escolar”, incluiu 6 itens (como previsto), alinhados com o nome do fator, exceto o item 1, que estaria melhor na dimensão ensino, conforme o estudo original. O Fator 4, referente às relações “Interpessoais”, incluiu 5 itens, todos alinhados com a designação da dimensão, correspondendo integralmente ao questionário original. Os itens foram interpretados de forma similar pelos respondentes dos dois estudos, exceto na dimensão “Aprendizagem e Rendimento Escolar”, onde apenas o item 1 foi interpretado de forma diferente. A maior ambiguidade na interpretação dos itens ocorreu nas dimensões “Ensino” e “Institucional”, com uma correspondência de 7 itens na dimensão “Ensino” e 5 na dimensão “Institucional”. Estes resultados necessitam de afinação em estudos futuros, especialmente porque esta versão se destina a alunos do 3.º ciclo do EB e não a estudantes do ensino superior.

	Itens por dimensão QSA-EB			
	Questionário adaptado	Integrados noutro fator	Integrados neste fator	Itens finais
Ensino	1; 3; 6; 10; 12; 17; 19; 22; 28 (9 itens)	1; 10	9; 21; 23; 27	3; 6; 9; 12; 17; 19; 21; 22; 23; 27; 28 (11 itens)
Institucional	2; 8; 11; 14; 18; 21; 23; 27 (8 itens)	21; 23; 27	10	2; 8; 10; 11; 14; 18 (6 itens)
Aprendizagem e Rendimento escolar	5; 7; 9; 13; 15; 26 (6 itens)	9	1	1; 5; 7; 13; 15; 26 (6 itens)

	Itens por dimensão QSA-EB			
	Questionário adaptado	Integrados noutro fator	Integrados neste fator	Itens finais
Interpessoal	4; 16; 20; 24; 25 (5 itens)			4; 16; 20; 24; 25 (5 itens)
Total	28 Itens	6 Itens	6 Itens	28 Itens

Tabela 9 – Número de itens por dimensão após AFE e comparação com o estudo original

Do mesmo modo uma primeira AFE para o QSA-ES apresentou 10 fatores que explicavam 68% da variância total do questionário, o que se resolveu não aceitar dada a dispersão de componentes e itens que era apresentada. Fez-se uma nova análise forçando os dados à estrutura fatorial definida na adaptação do questionário original, isto é para cinco fatores. Esta nova AFE de cinco fatores permitiu explicar 50% da variância, que se encontra no limite de aceitação. Desta primeira análise entendeu-se eliminar os itens 16 e 30. O 16 porque não integrou nenhum dos fatores e o 30 porque apresentou um valor negativo, o que significa que se correlaciona de modo inverso como os outros dois itens da dimensão em que fatorizou – Profissional, e que no original pertencia à dimensão Interpessoal. De facto, o seu conteúdo tem a ver com esta dimensão. Será feita e analisada, posteriormente, uma nova tentativa de AFE, com a exclusão dos itens 16 e 30.

3.3. Fiabilidade

Cohen et al. (2018) consideram que “A confiabilidade diz respeito ao grau de confiança que pode ser depositado nos resultados, o que muitas vezes é uma questão de cálculo estatístico e posterior redesenho do teste. Diz respeito à estabilidade e consistência das pontuações dos testes” (p. 573, nossa tradução). Marôco e Garcia-Marques (2006, citando Cronbach, 1951) definem que o “índice α estima quão uniformemente os itens contribuem para a soma não ponderada do instrumento, variando numa escala de 0 a 1. Esta propriedade é conhecida por *consistência interna da escala*, e assim, o α pode ser interpretado como coeficiente médio de todas as estimativas de consistência interna que se obteriam se todas as divisões possíveis da escala fossem feitas” (p. 73). Desta forma foi determinada a medida de consistência interna por meio do Alfa de Cronbach, calculando por dimensão esse mesmo valor, dado os instrumentos analisados serem composto por mais do que uma dimensão. Estes resultados são apresentados na Tabela 10.

Ensino	Itens por dimensão			
	Ensino	Institucional	Aprendizagem e Rendimento escolar	Interpessoal
Básico	3; 6; 9; 12; 17; 19; 21; 22; 23; 27; 28	2; 8; 10; 11; 14; 18	1; 5; 7; 13; 15; 26	4; 16; 20; 24; 25
Alpha	0.896	0.790	0.733	0.715

Ensino	Itens por dimensão			
	Ensino	Institucional	Aprendizagem e Rendimento escolar	Interpessoal
Secundário	1; 2; 4; 8; 12; 13; 15; 21; 23; 25; 32; 33	3; 5; 10; 11; 14; 18; 22; 27	7; 9; 17; 19; 31	6; 20; 24; 26; 28; 29
Alpha	0.845	0.760	0.721	0.714

Tabela 10 – Alpha de Cronbach para as dimensões obtidas no EB e ES.

A remoção dos itens 16 e 30 aumentou o valor do Alfa total da escala de 0.699 para 0.714, o que foi favorável. Optou-se por associar os itens que surgiam em duas dimensões com valores próximos àquela onde o valor da AFE obteve maior peso fatorial. Os itens que surgiam cumulativamente na dimensão 5 e noutra foram alocados à dimensão onde os valores do Alfa eram mais elevados.

Contudo, algumas dúvidas persistiram, levando a um novo cálculo para os dados do QSA-ES e a uma nova AFE para os cinco fatores inicialmente propostos. Esta nova análise explicou 50.434% da variância total, um valor melhor que o anterior, e os itens organizaram-se melhor conforme a estrutura teórica original do questionário adaptado. A dimensão com maior peso fatorial foi o Ensino, seguida da Institucional, Interpessoal, Profissional e, por fim, Aprendizagem e Rendimento escolar. Estes resultados diferem da versão QSA-EB, onde a ordem decrescente dos pesos fatoriais foi: Ensino, Institucional, Aprendizagem e Rendimento escolar, e Interpessoal. Isto pode indicar que os alunos do 3.º ciclo estão mais satisfeitos com o Ensino e Institucional, enquanto os do secundário valorizam mais as dimensões Profissional e Interpessoal, refletindo as diferentes fases de desenvolvimento psicossocial dos dois grupos etários (cf. Newnam & Newnam, 1991). Os resultados da nova AFE estão apresentados nas Tabela 11 (KMO e teste de esfericidade de Bartlett) e 14 (análise fatorial com rotação Varimax e normalização Kaiser), e a organização dos itens conforme a estrutura teórica original pode ser observada na Tabela 12.

Teste de KMO e Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem.		0.81
Teste de esfericidade de Bartlett	Aprox. Qui-quadrado	1424.411
	gl	465
	Sig.	<0.001

Tabela 11 – Teste KMO e Bartlett para 33 itens da escala ES (QSA-ES)

Item	Componente					Comunalidades
	1	2	3	4	5	
1.				0.755		0.636
2.	0.521					0.412
3.		0.654				0.490

Item	Componente					Comunalidades
	1	2	3	4	5	
4.				0.794		0.684
5.	0.443					0.478
6.			0.650			0.502
7.					0.732	0.617
8.	0.541					0.429
9.					0.698	0.577
10.		0.531				0.331
11.		0.470				0.418
12.	0.573					0.487
13.				0.768		0.695
14.		0.580				0.407
15.	0.624					0.436
17.					0.510	0.574
18.		0.636				0.462
19.					0.581	0.478
20.			0.473			0.302
21.	0.767					0.679
22.		0.721				0.645
23.	0.752					0.653
24.			0.822			0.708
25.	0.485					0.451
26.			0.419			0.343
27.		0.427				0.352
28.			0.803			0.726
29.			0.459			0.265
31.					0.619	0.435
32.	0.470					0.404
33.	0.564					0.558
% Variância explicada	24.999	8.250	6.700	5.994	4.491	

Tabela 12 – Análise fatorial QSA-ES rotação Varimax com normalização Kaiser.

Após análise, os itens para o QSA-ES foram organizados conforme a Tabela 13. Nenhum item foi retirado, apenas realocados a diferentes dimensões ou fatores

conforme seu maior peso fatorial. Não houve total concordância entre os itens das cinco dimensões do questionário adaptado e os resultados da Análise Fatorial Exploratória (AFE). O Fator 1, referente ao “Ensino”, incluiu 10 itens (teoricamente 9), correspondendo ao conteúdo de ensino, exceto o item 32, que seria mais adequado na dimensão institucional. O Fator 2, referente à dimensão “Institucional”, incluiu 7 itens (teoricamente 8), relacionados com a dimensão institucional, exceto o item 11, que seria mais adequado na dimensão “Aprendizagem e Rendimento Escolar”, conforme o estudo original. O Fator 3, referente à “Aprendizagem e Rendimento Escolar”, incluiu 5 itens (teoricamente 6), alinhados com o nome do fator. O Fator 4, referente às relações “Interpessoais”, incluiu 6 itens, dos quais quatro estavam inicialmente nesta dimensão e dois foram realocados: o item 26, originalmente na dimensão “Institucional”, foi integrado na dimensão “Ensino” na adaptação, e o item 29, originalmente na dimensão “Aprendizagem e Rendimento Académico”, foi colocado na dimensão “Profissional”. O item 30, inicialmente nesta dimensão, foi eliminado nesta análise. Por fim, o Fator 5, referente ao futuro “Profissional”, integrou apenas três itens inicialmente alocados nesta dimensão, e o item 16 foi eliminado desta análise. Não se verificaram itens a fatorizar em dois fatores diferentes, o que clarificou a análise. Contudo, estes resultados necessitam de afinação em estudos futuros, aplicados a grupos diferentes de alunos do Ensino Secundário.

	Itens por dimensão QSA-ES			
	Questionário adaptado	Itens integrados noutra fator	Itens integrados neste fator	Itens finais
Ensino	2; 5; 8; 12; 15; 21; 23; 26; 33 (9 itens)	26	25; 32	2; 5; 8; 12; 15; 21; 23; 25; 32; 33 (10 itens)
Institucional	3; 10; 14; 18; 22; 25; 27; 32 (8 itens)	25; 32	11	3; 10; 11; 14; 18; 22; 27 (7 itens)
Aprendizagem e Rendimento escolar	7; 9; 11; 17; 19; 31 (6 itens)	11		7; 9; 17; 19; 31 (5 itens)
Interpessoal	6; 20; 24; 28; 30 (5 itens)		26; 29	6; 20; 24; 26; 28; 29 (6 itens)
Profissional	1; 4; 13; 16; 29 (5 itens)	29		1; 4; 13 (3 itens)
Total	33 itens	7 itens	5 itens	31 itens

Tabela 13 – Número de itens por dimensão proposta para o QSA-ES.

Procedeu-se também ao cálculo dos novos valores da consistência interna através do Alfa de Cronbach, conforme Tabela 14. Na Tabela 15 apresenta-se o valor de Alpha de Cronbach para a totalidade dos itens no QSA-EB (28 itens) e no QSA-ES (31 itens). Estes valores podem ser classificados como Excelente para o EB e Bom para o ES (Almeida & Freire, 2007; Hill & Hill, 2016; Cohen et al., 2018)

Ensino	Itens por dimensão				
	Ensino	Institucional	Aprendizagem / Rendimento escolar	Interpessoal	Profissional
Secundário	2; 5; 8; 12; 15; 21; 23; 25; 32; 33	3; 10; 11; 14; 18; 22; 27	7; 9; 17; 19; 31	6; 20; 24; 26; 28; 29	1; 4; 13
Alpha	0.838	0.735	0.721	0.714	0.817

Tabela 14 – Alpha de Cronbach para as cinco dimensões obtidas no ES.

	QSA-EB	QSA-ES
Número de itens	28	31
Alpha de Cronbach	0.911	0.888

Tabela 15 – Alpha de Cronbach para a totalidade dos itens no EB e ES.

Após a análise apresentada o QSA-EB ficou constituído pelos 28 itens iniciais, organizados nas quatro dimensões: Ensino, Institucional, Aprendizagem e Rendimento escolar e Interpessoal; o QSA-ES ficou reduzido a 31 itens, organizados nas suas cinco dimensões iniciais: Ensino, Institucional, Interpessoal, Aprendizagem e Rendimento escolar, e Profissional. O domínio Profissional inclui apenas três itens, o que segundo Marôco (2014, citado por Pontes & Miranda, 2018) é o número mínimo que uma dimensão deve incluir. Será necessário realizar novas aplicações e análises em diferentes contextos escolares para aferição do comportamento dos instrumentos aqui analisados.

4. Conclusão

A análise dos resultados permitiu definir um questionário adaptado ao ensino básico (QSA-EB) e um outro adaptado ao ensino secundário (QSA-ES), o que se traduziu em duas novas versões reduzidas. Neste estudo estiveram envolvidos 80 estudantes dos 7º e 9º anos do ensino básico e do 112 do ensino secundário dos 10º e 11º anos. A escala final destinada ao ensino básico ficou constituída por quatro dimensões que integram 28 itens e que permitiram explicar 53.483% da variância total. A análise da consistência interna dos quatro fatores revelou-se bastante fiável e fiável (variou entre 0.896 e 0.715) e da totalidade do questionário composto por 28 itens como muito fiável (0.911). A escala final para o ensino secundário ficou com as cinco dimensões do questionário original adaptado, mas com um menor número de itens (31 itens), que permitiram explicar 50.434% da variância total. A análise da consistência interna dos cinco fatores pode ser considerada bastante fiável e fiável pois os valores variaram entre 0.838 e 0.714, e bastante fiável para o conjunto dos 30 itens que compõem o questionário (0.888).

Estes dois novos instrumentos, QSA-EB e QSA-ES, parecem válidos para medir a satisfação académica dos alunos do EB e do ES. Contudo, a validação em novas amostras

será necessária por permitir a contínua validação destes instrumentos de medida. Novos estudos e aplicações com amostras maiores (com um n igual ou superior a 200 sujeitos) e junto de estudantes que frequentem escolas públicas e outras privadas, geograficamente distribuídas pelo território nacional, seriam uma mais-valia na validação e credibilidade destes novos instrumentos, permitindo verificar se os resultados se mantêm ou se melhoram e, assim, conferir maior credibilidade aos instrumentos agora apresentados.

Agradecimentos

Este trabalho foi suportado por Fundos Nacionais através da FCT-Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito da UIDEF - Unidade de Investigação e Desenvolvimento em Educação e Formação, UIDB/04107/2020, <https://doi.org/10.54499/UIDB/04107/2020>.

Apêndices

Apêndice 1. https://drive.google.com/file/d/x/view?usp=drive_link

Referências

- Almeida, L., & Freire, T. (2007). *Metodologia da Investigação em Psicologia e Educação* (4ª edição). Psiquilíbrios Edições
- Almeida, L., Soares, A., & Ferreira, J. (2002). Questionário de vivências académicas (QVA-r): Avaliação do ajustamento dos estudantes universitários. *Avaliação Psicológica*, 1(2), 81-93. <https://hdl.handle.net/1822/12074>
- Almeida, L., Ferreira, J., & Soares, A. (2003). Questionário de Vivências Académicas (QVA e QVA-r). In M. M. Gonçalves, M. R. Simões, L. S. Almeida & C. Machado (Coords.), *Avaliação psicológica: Instrumentos validados para a população portuguesa* (Vol. 1, pp. 103-130). Coimbra: Quarteto. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12104/1/QVA+QVA-r,%202003.pdf>
- Almeida, L., Soares, A., Ferreira, J., & Tavares, J. (2004). Transição e adaptação à universidade: Apresentação de alguns instrumentos de medida. In C. Machado, L. Almeida, M. Gonçalves & V. Ramalho (Orgs.), *X Conferência Internacional – Avaliação Psicológica: Formas e Contextos* (pp. 487-495). Psiquilíbrios Edições. <https://hdl.handle.net/1822/12100>
- Almeida, L., Taveira, M., Peixoto, F., Silva, J., & Gouveia, M. (2020). Escala de Satisfação no Domínio Académica em Universitários Portugueses. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación – e Avaliação Psicológica*, 54(1), 93-101. <https://doi.org/10.21865/RIDEP54.1.08>
- Bean, J., & Bradley, R. (1986). Untangling the Satisfaction-Performance Relationship for College Students. *The Journal of Higher Education*, 57(4), 393-412. <https://doi.org/10.1080/00221546.1986.11778785>

- Betz, E., Menne, J, Starr, A., & Klingensmith, J. (1970). A dimensional analysis of college student satisfaction. *Iowa State University of Science and Technology*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED041954.pdf>
- Candeias, H. (2018). *Bem-estar, satisfação académica e atividades extra-académicas – um estudo na Universidade de Évora* [Dissertação doutoral, Universidade de Évora]. Repositório da Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/25541>
- Chico, B., Osti, A., & Almeida, L. S. (2022). Satisfação académica de estudantes do ensino superior: análise da produção científica (2010–2020). *Revista de Psicologia, Educação e Cultura*, 26(2), 37-54. <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/42100/1/PEC%20Setembro%202022-37-54%20satisfa%c3%a7%c3%a3o%20acad%c3%aamica.pdf>
- Cohen, L., Manion. L., & Morrison. K. (2018). *Research methods in education* (8th edition). Routledge
- Czapiewski, F., & Lima, J. (2010). Escalas de satisfação académica: revisão de literatura. *Anais do XIX Encontro Anual de Iniciação Científica, Unicentro*. <https://anais.unicentro.br/xixeaic/pdf/2101.pdf>
- Haverila, M., Haverila, K., McLaughlin, C., & Arora, M. (2021). Towards a comprehensive student satisfaction model. *The International Journal of Management Education*, 19(3), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2021.100558>
- Kanwar, A., & Sanjeeva, M. (2022). Student satisfaction survey: a key for quality improvement in the higher education institution. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 11(27), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13731-022-00196-6>
- Lufiande, J. (2018). Análise da satisfação académica e rendimento escolar em estudantes do ensino superior - Caso da UP-Quelimane. *MUCINKA: Revista Científica de Educação, Cidadania e Desenvolvimento*, 104-124. <http://197.249.65.29/repositorio/IMG/pdf/mucinka2020-2.pdf>
- Malizia, E. (1972). Measurement tests for evaluation of social indicators. *Socio-Economic Planning Sciences*, 6(4), 421-429. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(72\)90015-8](https://doi.org/10.1016/0038-0121(72)90015-8)
- Marôco, J. (2021). *Análise estatística com o SPSS statistics* (8ª edição). ReportNumber
- Newman, B., & Newman, P. (1991). *Development through life: A psychosocial approach* (5th ed.). Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
- Okun, M., & Weir, R. (1990). Toward a judgment model of college satisfaction. *Educational Psychology Review*, 2, 59-76. <https://doi.org/10.1007/BF01323529>
- Oliveira, M., Rebelo, H., Saraiva, M., & Trindade, V. (2009). O que dizem os estudantes do ensino secundário e do ensino superior sobre as práticas de ensino - um estudo sobre a qualidade de ensino em Évora (Portugal). In N. Ferreira, M. Pereira & S. Silva (Orgs.), *Anais IX Seminário Pedagogia em Debate – IV Colóquio Nacional de Formação de Professores*. Universidade de Tuiuti do Paraná. <http://hdl.handle.net/10174/4860>

- Osti, A., Almeida, L., Chico, B., & Oliveira, V. (2020). Satisfação académica de estudantes universitários: construção de uma escala de avaliação. *Educação: Teoria e Prática*, 30(63), 1-13. <https://doi.org/10.18675/1981-8106.v30.n.63.s14704>
- Osti, A., Chico, M., Oliveira, V., & Almeida, S. (2020). Satisfação académica: Pesquisa com estudantes brasileiros de uma universidade pública. *Revista E-Psi*, 9(1), 94-106. <https://artigos.revistaepsi.com/2020/Ano9-Volume1-Artigo6.pdf>
- Pontes, T., & Miranda, G. L. (2018). Validação em Língua Portuguesa da Escala de Motivação de Realização. *RISTI–Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (27), 109-125. <http://dx.doi.org/10.17013/risti.27.109-125>
- Quintano, F., Cid, A., Schwerter, P., Riquelme, L., & Infante, V. (2022). Diseño y validación de la escala de satisfacción académica hacia el rol del ayudante de aprendizaje en estudiantes de la Universidad Católica de Temuco. *Revista Pedagogía Universitaria Y Didáctica Del Derecho*, 9(2), 131-152. <https://doi.org/10.5354/0719-5885.2022.66280>
- Runa, A., & Miranda, G. L. (2015). Validação portuguesa das escalas de bem-estar e mal-estar emocional. *RISTI–Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (16), 129-144. <http://dx.doi.org/10.17013/risti.16.129-144>
- Santos, A., & Suehiro, A. (2007). Instrumentos de avaliação da integração e da satisfação académica: estudo de validade. *Revista Galego-Portuguesa de Psicoloxía e Educación*, 14(1), 107-119. <http://hdl.handle.net/2183/7055>
- Schleich, A., Polydoro, S., & dos Santos, A. (2006). Escala de satisfação com a experiência académica de estudantes do ensino superior. *Avaliação Psicológica: Interamerican Journal of Psychological Assessment*, 5(1), 11-20. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5115240.pdf>
- Schreiner, L., & Nelson, D. (2013). The contribution of student satisfaction to persistence. *Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice*, 15(1), 73-111. <https://doi.org/10.2190/CS.15.1.f>
- Soares, A., & Almeida, L. (2001). Transição para a universidade: Apresentação e validação do Questionário de Expectativas Académicas (QEA). In B. Silva, & L. Almeida (Org.), *Actas do VI Congresso Galaico-Português de Psicopedagogia* (pp. 899-909). Universidade do Minho. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12107/1/Soares%20%26%20Almeida%2c%202001.pdf>
- Soares, A., & Almeida, L. (2011). Questionário de satisfação académica. In C. Machado, M. Gonçalves, L. Almeida, & M. R. Simões (Eds.), *Instrumentos e contextos de avaliação psicológica* (pp. 103-124). Coimbra: Almedina
- Soares, A., Vasconcelos, R., & Almeida, L. (2002). Adaptação e satisfação na universidade: Apresentação e validação do Questionário de Satisfação Académica. In A. Pouzadas, L. Almeida, & A. Vasconcelos (Eds.), *Contextos e Dinâmicas da Vida Académica* (pp. 153-165). Universidade do Minho. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12114/1/Soares%2c%20Vasconcelos%20%26%20Almeida%2c%202002.pdf>

- Starr, A., Betz, E., & Menne, J. (1971). *College Student Satisfaction Questionnaire (CSSQ) manual*. Iowa State University of Science and Technology. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED058268.pdf>
- Vendramini, C., Santos, A., Polydoro, S., Sbardelini, E., Serpa, M., & Natário, E. (2004). Construção e validação de uma escala sobre avaliação da vida académica (EAVA). *Estudos de Psicologia (Natal)*, 9, 259-268. <https://doi.org/10.1590/S1413-294X2004000200007>
- Vianna, H. (2014). Validade de construto em testes educacionais. *Est. em Av. Educ.*, 25(60), 136-152. <https://doi.org/10.18222/eae246020143309>

Projeto e Análise de um Sistema para Aquecimento de Lagos Artificiais para Criação de Carpas-Koi

Gustavo Henrique Muller¹, Júlia Kuffel¹, Priscila Tanno Nogueira de Carvalho¹,
Ricardo Jose Pfitscher¹, Siméia Paula Storch¹

gustavo.muller256@gmail.com; juliakuffelo1@gmail.com; priscilatnc@gmail.com;
ricardo.pfitscher@gmail.com; storchsimeia@gmail.com

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, Brasil

DOI: 10.17013/risti.55.58–70

Resumo: O controle da temperatura em lagos para criação de carpas-koi é essencial para o bom desenvolvimento dos animais. Normalmente, a manutenção da temperatura em níveis ideais requer a utilização de aquecedores elétricos, que implicam em custos excessivos aos criadores. Neste trabalho é proposto um sistema de Internet of Things (IoT) que utiliza a combinação de resistências elétricas com canos pretos expostos ao sol para auxiliar no aquecimento da água a mantê-la entre 20 °C e 30 °C. O monitoramento da temperatura da água e do funcionamento do sistema foi feito através de sensores conectados à internet utilizando um micro controlador. Após modelagem matemática da perda de calor e quantidade de energia necessária, chegou-se à conclusão de que com uma resistência de 10KW, o sistema levará cerca de 24 horas para elevar a temperatura de 20 °C para 30 °C sem o auxílio da energia solar e 21 horas com o uso da energia solar, um ganho de 10%.

Palavras-chave: Aquecimento de Água; Criação de Carpas; Aquecimento de Lago Artificial, Internet das Coisas

Design and Analysis of an Artificial Pond Heating System for Koi-Carp Breeding

Abstract: Temperature control in ponds for koi farming is essential for the proper development of the animals. Maintaining the temperature at ideal levels typically requires using electric heaters, which entails excessive costs for the breeders. This work proposes an Internet of Things (IoT) system that combines electric resistors with black pipes exposed to the sun to help heat the water and keep it between 20 °C and 30 °C. The system monitored the water temperature through sensors connected to the internet using a microcontroller. After mathematical modeling of the heat loss and amount of energy required, we conclude that with a 10KW resistor, the system will take about 24 hours to raise the temperature from 20 °C to 30 °C without the help of solar energy and 21 hours with the use of solar energy, a gain of 10%.

Keywords: Water heating; Carp Breeding; Artificial Lake Heating, Internet of Things

1. Introdução

Surgindo entre os séculos 19 e 20 nas regiões montanhosas de Niigata, no Japão (Airinkai, 2010), a beleza e as cores das carpas-koi (*Cyprinus rubrofasciatus* “koi”), ou Nishikigoi, como são chamadas em seu país de origem, conquistaram o mundo e, sendo animais de cuidado relativamente fácil, é comum encontrar criadores da raça, seja por *hobby* ou para comercialização.

Entretanto, como são uma variação da carpa-comum (*Cyprinus carpio*), as Nishikigoi também são sensíveis a mudanças de temperatura na água, que tem papel importante no metabolismo desses animais. A temperatura ideal varia de 24 °C a 28 °C para um bom desenvolvimento e crescimento, mas temperaturas na faixa entre 8 °C e 30 °C são toleráveis (Ferreira et al, 2009).

Sem um sistema de aquecimento, alcançar a temperatura necessária para um bom desenvolvimento das carpas em locais de baixa temperatura se torna uma dificuldade na criação e reprodução desses animais. Normalmente, estratégias para aquecimento de reservatórios de água como lagos e piscinas utilizam sistemas compostos por aquecedores elétricos, a combustão, ou solares. Enquanto sistemas elétricos e a combustão implicam em altos custos financeiros associados ao consumo de energia elétrica e tem um forte impacto ambiente, sistemas solares são difíceis de controlar (Li e Huang, 2019).

Este artigo aborda o problema de controle de temperatura de lagos artificiais de forma composta, utilizando um sistema de controle que gerencia o uso de uma resistência elétrica e uma fonte de calor solar. Com o objetivo de controlar de forma precisa o sistema, o projeto inclui um modelo matemático para cálculo do tempo de aquecimento considerando a composição das duas fontes de calor e as perdas envolvidas no ambiente.

O modelo matemático foi concebido para um cenário de um lago artificial de 20 mil litros de água, e um protótipo foi desenvolvido com ESP32 para validação em escala reduzida. Assim, as contribuições deste artigo são: (i) apresenta um projeto de arquitetura de sistema para aquecimento de lagos artificiais para criação de carpas-koi utilizando componentes de baixo custo; (ii) modela analiticamente o tempo de aquecimento do reservatório, e (iii) avalia experimentalmente a arquitetura do sistema com um protótipo.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 é apresentado o projeto do sistema, um ambiente de simulação e a modelagem analítica para cálculo das perdas de calor e tempo de aquecimento. Na Seção 3 é apresentada a concepção do protótipo e a validação experimental. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

1.1. Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos da literatura propõem soluções próximas para o problema do aquecimento de aquários utilizando IoT. Por exemplo, Oliveira Junior et al. (2019) conduziram um monitoramento da temperatura da água em um aquário utilizando o sensor DS18B20 integrado a um Arduino e um módulo Bluetooth para visualizar a temperatura remotamente integrado a um aplicativo para smartphone. O controle da temperatura do aquário foi realizado por meio de um botão de pulso em conjunto com um relé. Apesar de os resultados mostrarem que o dispositivo é capaz de manter

a temperatura no alvo desejado, a solução utiliza unicamente uma resistência sem combinar com fontes de energia renovável, que é o diferencial do presente artigo.

Por sua vez, Souza et al. (2017) propuseram um sistema completo para manutenção de um aquário utilizando tecnologias IoT. A solução envolve controle e monitoramento, para o controle, são utilizados sensores (temperatura, pH, nível de água) e acionadores que ativam e desativam (iluminação, filtro de água, injetor de gás carbônico, aquecedor e alimentador). Para o monitoramento é exibido no display de LCD, que mostra os valores de retorno dos sensores (valor da temperatura, valor do PH, nível de água). A proposta desse artigo se diferencia do trabalho de Souza et al. (2017) por focar no aquecimento do aquário e por adicionar um modelo matemático para estimar o consumo energético de um sistema com e sem o uso da energia solar para o aquecimento.

Com a mesma característica de modelagem matemática, Kuyumcu e Ymrutas (2017) se dedicaram à análise e modelagem matemática de um sistema de aquecimento para piscinas olímpicas, utilizando o calor não aproveitado pelo sistema de resfriamento de um ringue de patinação. Os resultados do trabalho mostram a viabilidade da utilização do calor desperdiçado pelo sistema de patinação, mostrando que um ringue de patinação de 600 m² consegue manter aquecida uma piscina olímpica. Diferentemente do trabalho de Kuyumcu e Ymrutas, este artigo avalia o quanto um aquecedor baseado em energia solar pode beneficiar um sistema de aquecimento de lagos baseado em resistências elétricas.

Similar a nossa proposta, Li e Huang (2019), se dedicaram à modelagem matemática de um sistema de aquecimento para piscinas, porém com duas fontes de energia: energia e solar uma bomba de fonte de ar, juntamente com tanques PMC que possibilitam o armazenamento de calor. Os resultados de Li e Huang (2019) corroboram com os nossos achados, demonstrando ganhos econômicos significativos ao se utilizar energia solar. Diferentemente do trabalho de Li e Huang, o presente artigo realiza uma análise experimental além da simulação, desenvolvendo um protótipo com IoT para validar os resultados encontrados.

Ainda no escopo de IoT, mas em um contexto diferente do aquecimento de água, de Oliveira et al. (2021) desenvolveram um sistema de monitoramento e controle automatizado de temperatura para um aviário. Os resultados mostram que o sistema automatizado, utilizando um ESP32 é capaz de manter a temperatura do aviário em valores mais estáveis que um ajuste manual. Em uma abordagem similar, só que no contexto de manutenção de temperatura de construções, Rojas et al. (2020) projeta um sistema para controle de temperatura em residências utilizando um controlador Arduino e a contabilidade do número de pessoas em cada ambiente. Os resultados da implementação de um protótipo mostram a viabilidade técnica da implementação do projeto proposto.

2. Projeto do Sistema de Aquecimento

Para o desenvolvimento do sistema de aquecimento composto, estipulou-se primeiro a quantidade de água a ser aquecida. Estabeleceu-se um reservatório retangular com 5 metros de comprimento, 5 metros de largura e 2 metros de profundidade, comportando

50 mil litros de água, simulando um lago artificial que proporcione um bom espaço para o desenvolvimento das carpas-koi.

Para corroborar o quão representativo o reservatório idealizado seria de um criadouro de carpas real, contactou-se um criador profissional local, que por questões comerciais não será divulgado. Após esclarecimento de dúvidas, constatou-se que o tamanho do reservatório depende do objetivo de criação desses animais: exposição, reprodução, crescimento etc. Quanto maior o local e menor a quantidade de carpas juntas, com a devida alimentação e temperatura adequada de água, maior o seu desenvolvimento.

Entretanto, o volume de água também influencia na quantidade de energia necessária para aquecer e manter a temperatura do líquido dentro do reservatório. Sendo assim, a faixa tolerável de temperatura da água foi estipulada entre 20 °C e 30 °C e o tamanho do reservatório foi alterado para 5 metros de comprimento, 2 metros de largura e 2 metros de profundidade, respeitando também a necessidade de pelo menos mil litros de água por carpa (Bastos, 2023).

O reservatório conta com duas aberturas: uma superior para entrada de água onde haverá o aquecimento, e uma inferior para saída da água aquecida, estimulando a circulação e a troca de temperatura. Tendo em vista as dimensões e a quantidade de água no reservatório, o controle da temperatura será feito com a utilização de dois termostatos, um perto da superfície da água e um na parte inferior, ambos longe da saída aquecida para aferição adequada. Há também uma segunda saída de água para resfriamento quando necessário. A Figura 1 ilustra o projeto do sistema, onde é possível observar os dois métodos de aquecimento em conjunto.

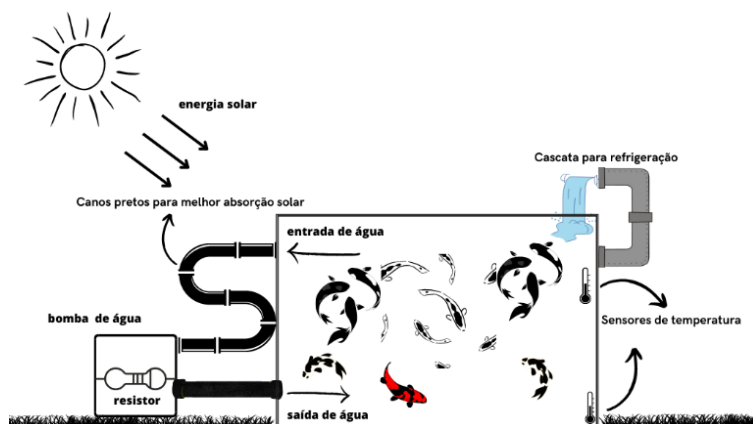


Figura 1 – Ilustração do Projeto Preliminar

No lado esquerdo, há um cano preto exposto ao sol para absorção de calor e a resistência em seguida para garantir o aquecimento quando necessário, o comprimento deste cano pode variar conforme o espaço disponível no local, na Seção 2.3 é discutido o impacto

deste comprimento na manutenção da temperatura do reservatório. As setas apontam a direção em que a água deverá entrar, fria ou em temperatura ambiente, e sair do cano, reentrando no reservatório já aquecida. No lado direito da imagem é possível também notar os dois termostatos mencionados e seus devidos locais de acoplamento.

2.1. Funcionamento e Arquitetura do Sistema

O sistema ligará automaticamente o aquecimento se a média das temperaturas aferidas pelos dois termostatos for menor ou igual a 25 °C, e desligará o aquecimento se a média chegar em 29,5 °C, para garantir que a água do lago artificial esteja na faixa de temperatura adequada e não ultrapasse o limite de 30 °C.

Tendo em vista o objetivo de prover um sistema preciso e de baixo custo, fez uma simulação do funcionamento do sistema de aquecimento utilizando o programa de modelagem tridimensional online gratuito TinkerCAD (Storch, 2023). Para a simulação no software foram utilizados o Arduino, um sensor de temperatura, dois LEDs e um servo motor. As Figuras 2.a e 2.b a seguir ilustram o sistema quando está ligado e desligado, respectivamente.

É possível observar no lado direito da Figura 2.a o LED vermelho aceso, simbolizando que a resistência está ligada e gerando calor, enquanto o servomotor com as hastes maiores posicionadas em 180° representa a passagem liberada de água aquecida pelo cano em direção ao reservatório. Na Figura 2.b tem-se o LED azul aceso no lado esquerdo, representando o sistema de aquecimento desligado, e as hastes maiores do servomotor em 90° com a horizontal para circulação da água sem aquecimento.

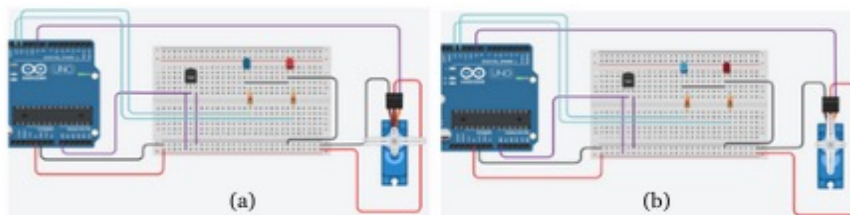


Figura 2 – Sistema ligado (a) e desligado (b)

2.2. Modelagem do Calor Perdido pela Água por Convecção com o Ar

Considerando o pior cenário como sendo a ausência de sol (onde não há absorção de energia solar para aquecimento), temperatura ambiente de 20 °C e vento a 2m/s, aproximadamente a temperatura e velocidade médias do vento no Brasil (Lopes & Moura, 2002), o calor é ganho somente pela resistência e perda por convecção na superfície da água e do cano.

Considerou-se que as paredes não trocam calor e não há evaporação, nem irradiação. Para saber quanto calor é necessário para esquentar a água de 20 °C para 30 °C, usamos a fórmula de quantidade de calor sensível:

$$Q = m \times c \times \Delta t = 873,2 \text{ MJ}$$

Onde:

- $m = \text{massa da água} = 20 \text{ m}^3 \times 100 \text{ kg/m}^3$
- $c = 4186 = \text{calor específico da água em J/Kg}$
- $\Delta T = (30 - 20) \text{ em graus Celsius}$
- $V = \text{velocidade do vento} = 20 \text{ m/s}$
- $L = \text{comprimento do reservatório} = 2 \text{ m}$
- $\nu = \text{viscosidade cinemática do ar} = 1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\mu = \text{viscosidade dinâmica do ar} = 1,8215 \times 10^{-5}$
- $c_p = \text{calor específico do ar} = 1007 \text{ J/Kg}$
- $k = \text{condutividade térmica do ar} = 0,02514$
- $k, c_p, \nu \text{ e } \mu \text{ são dados à } 20^\circ\text{C}$

Precisa-se encontrar o calor perdido por convecção na superfície da água devido ao vento. Para isso, utiliza-se o coeficiente de convecção obtido através da relação entre Reynolds (Re), Prandtl (Pr) e Nusselt (Nu) na superfície de uma placa. Para fins matemáticos considerou-se a água como um sólido. (Kuyumcu & Yumrutas, 2017).

O Reynolds depende do comprimento do reservatório, da velocidade e da viscosidade cinemática do ar, esses valores são relacionados por:

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} = \frac{2 \times 2}{1,516 \times 10^{-5}} = 263.852,243$$

O Prandtl depende apenas das propriedades e da temperatura do ar:

$$Pr = \frac{\mu \times c_p}{k} = \frac{1,825 \times 10^{-5} \times 1007}{0,02514} = 0,7309$$

O Nusselt, por sua vez, depende do Reynolds e do Prandtl. A fórmula para encontrar o Nusselt depende do valor de Reynolds, como $Re < 5 \times 10^5$ o Nusselt utilizado será dado por: $0,664 \times \sqrt[3]{Pr} \times \sqrt{Re}$. Desse modo, obtemos um Nusselt de: $Nu = 307,23$ e com esse valor conseguimos encontrar o coeficiente de convecção (h) através da equação:

$$Nu = \frac{h \times k}{L}, h = \frac{307,23 \times k}{L} = 3,862$$

Assim, é possível obter o calor perdido pela superfície da água em função da diferença de temperatura entre ela e o meio:

$$q_{\text{água}} = h \times A_{\text{superfície}} \times \Delta T = 3,862 \times 2 \times 5 \times \Delta T$$

$$\therefore q_{\text{água}} = 38,62\Delta T J$$

2.3. Modelagem do Calor Perdido pelo Cano

Para encontrar o calor perdido pelo cano, é primeiramente necessário encontrar o coeficiente de convecção, chamamos o caso em que o calor é perdido pelo vento batendo no cano de escoamento cruzado. O procedimento é o mesmo que o anterior, todavia, o Reynolds e Nusselt são calculados de forma diferente, enquanto o Prandtl se mantém constante. Com $D = 3,5\text{cm}$ sendo o diâmetro e $L = 10\text{m}$ o comprimento do cano.

O Reynolds depende do diâmetro do cano, da velocidade do ar e de sua viscosidade cinemática:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} = 4617$$

Como o Reynolds se encontra dentro da faixa entre 4.000 e 40.000, utilizaremos o Nusselt da forma:

$$Nu = 0,193 \times Re^{0,618} \times Pr^{\frac{1}{3}} = 31,97$$

Assim, é possível obter h :

$$h = Nu \times \frac{K}{D} = 22,964$$

E em seguida o calor perdido por convecção no cano em função da diferença de temperatura com o meio:

$$q = h \times A_{\text{superfície}} \times \Delta T = 22,964 \times \pi \times D \times L \times \Delta T$$

$$\therefore q = 25,25\Delta T J$$

A escolha do valor da resistência foi baseada em pesquisa de mercado e cálculos testes para diferentes tempos de aquecimento. Para a aplicação, foi escolhida uma resistência de 10KW, que funcionará eficientemente para a faixa de temperatura escolhida. Supondo que todo o calor gerado pela resistência seja transferido para a água, conclui-se que o calor (J/s) gerado menos o calor perdido ao longo do tempo (t) deve alcançar a energia necessária para aquecer a água (837,2 MJ).

$$(q_{\text{resistência}} - q_{\text{água}} - q_{\text{ar}}) \times t = 837.200.000$$

O calor perdido depende da temperatura, todavia, o mesmo varia linearmente, então fez-se a média de modo a obter um valor equivalente:

$$\frac{(q_{\text{cano}} + q_{\text{água}}) \times 10}{2} = 318,02 \text{ J/s de perda}$$

Onde 10 é a variação máxima de temperatura entre a água e o ambiente.

$$(10\text{Kw} - 319,25\text{W}) \times t = 837,2\text{MJ}$$

$$\therefore t = 86481,8\text{s} = 24 \text{ horas}$$

Logo, leva-se aproximadamente 24 horas para aquecer a água de 20 °C a 30 °C sem a influência solar.

2.4. Análise do Melhor Caso

De modo a calcular o calor recebido em um dia ensolarado, utilizou-se a equação de absorção de calor por superfícies negras:

$$q = \sigma \times T^4$$

Onde q representa o calor absorvido, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ a constante de Stefan-Boltzmann e T a temperatura em Kelvin.

O solo recebe aproximadamente 1000 Watts/m² de energia através da luz solar (Murphy, 2012). Ao utilizar esse valor para q , obtém-se uma temperatura de superfície do cano de 91 °C, no entanto, tal aproximação não é realista por não considerar a perda por convecção. Utilizou-se então o coeficiente de convecção para o cano obtido anteriormente ($h = 22,964$) para estimar sua temperatura da superfície através da seguinte equação:

$$q \times A = h \times A \times (T_f - T_{\text{amb}})$$

Onde q representa os 1000 Watts/m², h o coeficiente de convecção, A representa a área do cano e T_{amb} a temperatura ambiente (20 °C). A temperatura final na superfície T_f do cano obtida então foi de 63,55 °C. Assumiu-se que essa temperatura é homogênea em torno do cano e então utilizou-se a equação:

$$T_0 = T_s - (T_s - T_i) \times e^{\frac{-h \times A}{\dot{m} \times c_p}}$$

Onde T_0 é a temperatura de saída da água, T_s a temperatura na superfície do cano, T_i a temperatura da água na entrada do reservatório (assumida como 20 °C), h o coeficiente de convecção e C_p o calor específico da água (4186 J/Kg). Obtém-se assim uma temperatura T_0 de 20,02 °C. Utilizando a temperatura T_0 na equação de calor:

$$q = \dot{m} \times C_p \times (T_0 - T_i)$$

Obtém-se que q , representando o calor fornecido pela luz solar no sistema, é de 1099 W. Com esse calor, é possível aquecer a água em aproximadamente 21 horas, uma redução de 3 horas em relação ao pior caso, com 1,099 kW/h fornecidos pela presença constante e intensa da luz solar.

3. Validação Experimental

Os elementos para a criação do protótipo foram escolhidos com base na escala necessária para a utilização da modelagem matemática feita para a simulação do sistema de aquecimento do lago artificial, bem como pelo custo de aquisição.

A placa de desenvolvimento utilizada para o sistema de checagem de temperatura foi o ESP32 por ter módulo Wi-Fi integrado, de utilização similar ao Arduino e mais barato quando comparado a outras placas com propriedades parecidas, como o Raspberry Pi.

Para simular o lago artificial foi utilizado um reservatório de plástico de 20 litros. Tendo em vista a faixa de temperatura escolhida para a operação do sistema, os canos do projeto idealizado foram substituídos por dois metros de mangueira cristal de PVC, que suportam até 55 °C e são maleáveis, permitindo o transporte do protótipo sem risco de quebra.

O aferimento da temperatura da água foi realizado com o sensor DS18B20, por ser à prova d'água e aferir com precisão de ± 0.5 °C, o tornando suficiente para a faixa de temperatura idealizada para o projeto. É compatível com o ESP32 e similarmente utilizado por (Junior et al, 2019) e (Souza et al, 2017) para realizar o monitoramento da temperatura em aquários para peixes.

A resistência utilizada foi um aquecedor de água “rabo quente” de 830 W, conectada a um módulo relé para o controle de funcionamento. Para o bombeamento da água foi utilizada uma minibomba submersível com vazão de 1,6 litros/minuto. A Figura 3 mostra como o protótipo foi construído e utilizado para a validação do projeto.

Em (1) tem-se um recipiente onde a bomba de água foi instalada, juntamente com a resistência “rabo quente”. A água absorve o calor solar ao sair do reservatório pela mangueira preta e então deságua no recipiente. O aquecimento da água é feito com o auxílio da resistência e então bombeada de volta ao reservatório através da mangueira transparente.

Em (2) tem-se a parte elétrica, responsável pelo controle do sistema de aquecimento. O ESP32 recebe a informação de temperatura aferida pelo termostato dentro do

reservatório, exibe o valor lido e o utiliza para controlar o relé, ao lado direito da imagem, que determina se a resistência será ligada ou desligada.



Figura 3 – Montagem do protótipo para validação do projeto. (1) Aquecimento e bombeamento de água. (2) Controle elétrico do protótipo. (3) Posicionamento para realização dos experimentos.

Em (3) tem-se o posicionamento do reservatório e do recipiente para a realização dos experimentos. O reservatório utilizado para simular o aquário de carpas encontra-se a uma altura mais elevada em relação ao recipiente, para que a água flua pela mangueira preta sem esforço adicional.

3.1. Análise de Dados

Foram realizados três experimentos para cada um de dois cenários - no cenário I, a temperatura inicial era cerca de 20 °C, próxima a temperatura ambiente, e no cenário II a temperatura inicial era próxima a 10 °C, para simular região com temperaturas mais amenas - ambos sob incidência solar, intercalando-os entre si para evitar resultado enviesados. O tempo decorrido para o aquecimento da temperatura inicial até 25 °C (em minutos), a temperatura ambiente e o horário do dia em que os experimentos foram realizados podem ser visualizados na Figura 4 a seguir.

Inicialmente, a fim de comparação de dados, elaborou-se um programa em Python para a inserção dos dados de temperatura inicial da água e tempo de aquecimento, também em minutos, obtido com a modelagem matemática do projeto aplicada ao protótipo, para visualização da relação esperada entre as variáveis. Após a realização dos experimentos e obtenção de dados reais, elaborou-se um gráfico, exibido na Figura 5, para análise dos resultados obtidos.

Cenário		I			II		
Experimento		1°	2°	3°	1°	2°	3°
Aproximadamente, o horário do experimento		13:30	15:30	10:00	11:30	14:00	09:00
Variável(s) independente	controláveis						
	Temperatura inicial no reservatório (°C)	21,6	21,44	19	9,5	8,31	8,81
	Incidência solar	sim					
	Temperatura ambiente aproximadamente (°C)	22	24	20	23	24	18
Tempo para chegar na faixa de temperatura segundo o cálculo analítico (minutos)		5,54	5,78	9,82	25,27	27,09	26,63
Tempo para chegar na faixa de temperatura no experimento (minutos)		5,42	5,47	8,42	22,45	23,85	26,22
Diferença do analítico e o experimental		0,12	0,31	1,4	2,82	3,24	0,41
Dados estatísticos	média	6,44			24,17		
	desvio padrão	1,72			1,91		
	erro quadrático médio	0,69			6,21		

Figura 4 – Registro de Dados

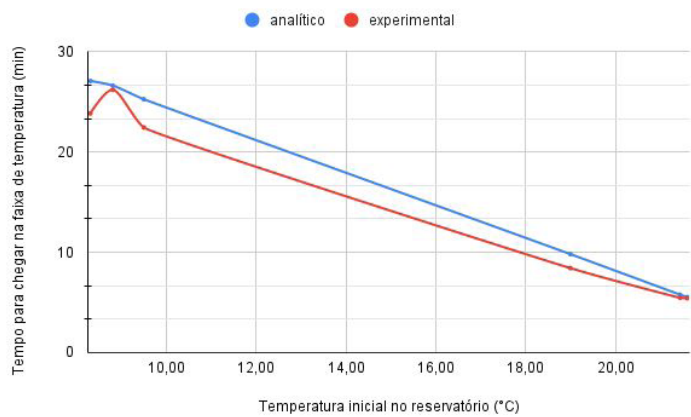


Figura 5 – Comportamento esperado obtido através da modelagem matemática e comportamento real.

Foi considerada uma perda média de calor, acarretando a linearização dos gráficos. A curva superior apresenta o comportamento esperado, obtido através da análise feita em Python, e a curva inferior apresenta o comportamento obtido através da coleta de dados experimental. Nota-se que não há grande diferença de comportamento no aquecimento da água, exceto pelo pico da curva inferior quando a temperatura inicial da água está abaixo de 10 °C.

Dado o número reduzido de experimentos realizados e o fato de que a incidência solar e velocidade do vento, que desempenham um papel significativo na perda de calor, não foram consideradas como variáveis, o erro experimental obtido não possui um impacto considerável em relação aos objetivos estabelecidos para o protótipo. Assume-se que a relação de aquecimento obtida para o protótipo seja comparável à do projeto do lago artificial para carpas, levando em consideração que os experimentos foram conduzidos em uma escala menor, mas correspondente ao projeto original.

4. Conclusões

Para a criação de Carpas-koi em lagos artificiais com um crescimento adequado é necessário controlar a temperatura do reservatório em uma faixa ideal entre 24 e 28° Celsius. Entretanto, soluções baseadas em uma única fonte de calor podem ter custo de operação alta. Para atacar esse problema, foi idealizado um sistema de aquecimento para lagos artificiais utilizando controle de tensão em uma resistência e a própria luz solar em canos pretos para aquecer a água.

Foi apresentado um projeto do sistema, uma simulação de funcionamento e uma modelagem analítica para os cálculos de perda de calor e quantidade necessária de energia para aquecer a água no reservatório.

Para validação do modelo matemático foram conduzidos experimentos com um protótipo em escala menor, correspondente ao projeto original, e os dados experimentais foram comparados aos dados obtidos com a modelagem matemática através de um gráfico. A partir da análise gráfica constatou-se que o comportamento experimental corresponde ao comportamento previsto matematicamente, confirmando a acurácia da análise feita para o projeto do sistema de aquecimento para lago artificial.

Como trabalhos futuros, espera-se incluir um sistema de controle inteligente com interface de comunicação para a internet que permita coletar dados de previsão do tempo. Tal sistema poderia, por exemplo, coletar dados de previsão de tempo e ajustar o uso de fontes de calor de forma adequada.

Referências

- Bastos, T. R. (2023). Carpa koi: Mil litros por carpa, por quê? *Betta Conscience*. <https://bettaconscience.wordpress.com/carpa-koi-mil-litros-por-carpa-por-que/>
- Ferreira, P. M. F., Barbosa, J. M., Santos, E. L., Lima, M. R., & Cabral, G. A. L. (2009). Efeito da temperatura sobre a taxa metabólica da carpa-comum (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758). *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 4(2), 2. <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/view/106>
- The History of Nishikigoi. (2010). *Zen Nippon Airinkai*. <https://zna.jp/en/keep-nishikigoi/>
- Kuyumcu, M. E. (2017). Thermal analysis and modeling of a swimming pool heating system. *Thermal Science*, 21(6A), 2661-2672. <https://doi.org/10.2298/TSCI151225148K>

- Li, Y., & Huang, G. (2019). Development of an integrated low-carbon heating system for outdoor swimming pools for winter application. *E3S Web of Conferences*, 111, 03031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103031>
- Mangueiras de Sucção. (n.d.). *Mangueira PVC cristal trancada*. <https://www.mangueirasdesuccao.com.br/mangueira-pvc-cristal-trancada>
- Morais, G. M. de, Sobrinho, J. E., Santos, W. de O., Costa, D. de O., Silva, S. T. A. da, & Maniçoba, R. M. (2014). Caracterização da Velocidade e Direção do Vento em Mossoró/RN. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 7(4), 746–754. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.4.p746-754>
- Murphy, T. (2012). Basking in the sun. *Do The Math*. <https://dothemath.ucsd.edu/2012/01/basking-in-the-sun/>
- O clima no Brasil. (2023). *Dados Mundiais*. <https://www.dadosmundiais.com/america/brasil/clima.php>
- Oliveira, M. E., de Oliveira, R. L. Z., Trujillo, P. A. R., Trigos, J. A. C., & Tech, A. R. B. (2021). Desarrollo de un sistema automatizado de monitoreo y control térmico para un aviario convencional mediante tecnología IoT. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, (E44), 49-62. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8668393>
- Oliveira Junior, A. J. R. de, Oliveira, E. H. H. de, & Marques, L. D. (2019). Sistema de monitoramento e controle de temperatura da água de um aquário. [Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa]. Repositório da UTFPR. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16956>
- Rojas, C. A. T., Chanchí, G. E. G., & Villalba, K. M. (2020). Propuesta de una arquitectura IoT para el control domótico e inmótico de edificaciones. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, (E27), 28-40. <https://www.risti.xyz/issues/ristie27.pdf>
- Souza, P. H. A., da Silva, M. H. R., de Mello, R. B., Piurcosky, F. P., & Pereira, W. F. (2019). Automação e monitoramento em aquários utilizando Arduino. *Interação - Revista De Ensino, Pesquisa E Extensão*, 19(2), 162–181. <https://doi.org/10.33836/interacao.v19i2.144>
- Storch, S. P. (2023). Funcionamento sistema de aquecimento. *TinkerCAD*. <https://www.tinkercad.com/things/iE8QzIMxX7W>
- Viscosity of air, dynamic and kinematic. (n.d.). *Engineers Edge*. https://www.engineersedge.com/physics/viscosity_of_air_dynamic_and_kinematic_14483.htm
- Vivanco-Herrera, E. V., Mayorga-Jácome, T. C., Colmenarez-Mujica, M. C., & Cardoso-Machado, M. F. (2024). Review of Internet of Things applications in photovoltaic systems. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*. (E65), 543-553. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85187124370&partnerID=40&md5=1b9f83154dd41e50b22e3d18c2d65d2a>

Validação Portuguesa da Escala de IT Mindfulness

Lígia Nascimento^{1,2,3}, Manuela Faia Correia¹

ligia.nascimento@lis.ulusiada.pt; mcorreia@lis.ulusiada.pt

¹ COMEGI – Centro de Investigação em Organizações, Mercados e Gestão Industrial, Universidade Lusíada de Lisboa, Rua da Junqueira, 188-198, 1349-001 Lisboa, Portugal

² Intrepid Lab, ISMAT – Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes, Rua Estêvão de Vasconcelos, nº 33 A, 8500-656 Portimão, Portugal

³ CETRAD – Centre for Transdisciplinary Development Studies, Rua Augusto Rosa, nº 24, 4000-098, Porto, Portugal

DOI: 10.17013/risti.55.71–86

Resumo: As Tecnologias de Informação e Comunicação oferecem benefícios significativos às pessoas e organizações, mas também geram consequências negativas, como falhas, sobrecarga e stress. A qualidade da interação pessoa-tecnologia é crítica para o sucesso. O IT mindfulness emergiu como um fator-chave associado a melhorias no uso e desempenho dos sistemas de informação, aumentando a adaptação tarefa-tecnologia, a satisfação e o desempenho. Este estudo visou traduzir, adaptar e validar as versões integral e reduzida de uma escala de IT mindfulness para Portugal e utilizou uma amostra nacional de 1107 docentes do ensino superior, setor progressivamente digitalizado. Recorreu-se a análise fatorial exploratória e confirmatória. Como resultado, obtiveram-se duas escalas com propriedades psicométricas robustas, úteis para contextos que requerem brevidade na aplicação e valiosas tanto para a investigação quanto para a prática da gestão, proporcionando instrumentos eficazes para compreender e otimizar a interação humana com a tecnologia.

Palavras-chave: Adaptação Tarefa-Tecnologia; IT Mindfulness; TIC; Validação de Escala.

Portuguese Validation of the IT Mindfulness Scale

Abstract: Information and Communication Technologies significantly benefit individuals and organizations but also bring negative consequences such as failures, overload, and stress. The quality of human-technology interaction is critical for success. IT mindfulness has emerged as a key factor associated with improvements in the use and performance of information systems, enhancing task-technology fit, satisfaction, and performance. This study aimed to translate, adapt, and validate the full and short versions of an IT mindfulness scale for Portugal. It used a national sample of 1107 higher education faculty members from a progressively digitized sector. Exploratory and confirmatory factor analyses were employed. As a result, two scales with robust psychometric properties were obtained, useful for contexts

requiring brevity in application and valuable for both research and management practice, providing effective tools to understand and optimize human interaction with technology.

Keywords: ICT; IT Mindfulness; Task-Technology Fit; Scale Validation.

1. Introdução

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) têm sido caracterizadas como uma espada de dois gumes. Por um lado, proporcionam benefícios significativos às pessoas e às organizações, eliminando barreiras de tempo e geografia e melhorando a eficiência e produtividade. Por outro, também aportam consequências negativas, como as falhas informáticas, o *multitasking* e a sobrecarga da informação a lidar em curtos espaços de tempo, bem como a pressão associada à atualização e adaptação constantes que os desenvolvimentos tecnológicos exigem dos utilizadores (Ioannou, 2023).

Numa perspetiva de otimização do uso das tecnologias, a literatura tem sido profícua em identificar os fatores que favorecem os seus impactos positivos e amenizam os seus efeitos adversos. A qualidade da interação pessoa-tecnologia está na base do sucesso. Tarafdar et al. (2019) reforçam a conveniência em analisar a influência de traços individuais especificamente relacionados com as TIC, como o *IT mindfulness*¹, na forma como os profissionais são resilientes e lidam com o stress induzido pelas tecnologias. Esta relação foi confirmada empiricamente (Ioannou & Papazafeiropoulou, 2017; Nascimento et al., 2024; Wei et al., 2020).

Ioannou (2023) refere um conjunto de estudos que relacionam o IT mindfulness com várias ocorrências associadas com as TIC. De entre estas, destaca-se o impacto do IT mindfulness na utilização e desempenho dos sistemas de informação, ERP's e ASD (*agile software development*), das tecnologias móveis, incluindo na área da saúde e adoção de pagamentos móveis em contexto de TAM (*technology adoption model*), no desempenho em modelagem conceptual e no contexto de sobrecarga de informação. São também referidas evidências empíricas de que o IT mindfulness aumenta a utilidade percebida das TIC e, como consequência, melhora a adaptação tarefa-tecnologia (*task-technology fit*), incrementando a satisfação e a intenção de continuar a usar as TIC. Destaca-se ainda que a formação em IT mindfulness aumenta a capacidade individual de detetar ataques de *phishing*. Na área da educação, foi reconhecida a importância do mindfulness no sucesso do desenho dos sistemas de informação.

O IT mindfulness tem, deste modo, vindo a emergir como um recurso crítico para o sucesso e o bem-estar das pessoas e das organizações, tanto para o utilizador comum, como para os profissionais de TIC. Portugal procura posicionar-se na dianteira da inovação tecnológica, justificando o foco no estudo e desenvolvimento do IT mindfulness. Para apoiar a investigação e a prática, são necessários instrumentos de medida. O objetivo deste estudo foi traduzir, adaptar e validar para Portugal a Escala de IT mindfulness

¹ O termo IT mindfulness pode ser traduzido por “Consciência Tecnológica”; no entanto, optámos por manter o original em inglês neste artigo, dado que a tradução para a língua portuguesa pode não capturar plenamente a abrangência do conceito.

(Thatcher et al., 2018). Os trabalhos incidiram sobre uma amostra nacional ($n=1107$) de docentes do ensino superior (DES), uma vez que um dos setores que sofreu acentuada digitalização foi o do ensino, colocando desafios àquele que constitui um dos seus grupos profissionais mais estratégicos e às respetivas instituições (Nascimento & Correia, 2023).

Disponibilizar uma escala robusta de IT mindfulness é valioso porque proporciona instrumentos válidos para a investigação e para a gestão, contribuindo ainda para alavancar o seu estudo em ambientes de base tecnológica, que atualmente dominam a infraestrutura do trabalho e das organizações. Para além da validação da escala original global, este estudo oferece ainda a validação da respetiva versão reduzida, também apresentada por Thatcher et al. (2018). A escala reduzida, já utilizada em diversos estudos (e.g., Ioannou et al., 2024; Nascimento et al., 2024) pode ser bastante útil quando a brevidade é importante para reduzir o tempo de aplicação e aumentar as taxas de participação.

Neste artigo, começamos por enquadrar teoricamente o conceito de IT mindfulness e explorar a respetiva operacionalização. Depois descrevemos as opções metodológicas que basearam os trabalhos de tradução, adaptação e validação, incluindo a amostra, o procedimento, as escalas envolvidas e as técnicas de análise de dados. De seguida, apresentamos a avaliação das características psicométricas das duas versões da escala. Prosseguimos com a discussão dos resultados e conclusão, apontando os principais contributos do presente estudo, as suas limitações e sugestões de investigação futura.

2. Enquadramento Teórico

2.1. IT mindfulness

IT mindfulness é um traço individual definido com base no conceito de *mindfulness*. A sua contextualização no ambiente TIC se tornou-se recentemente alvo do interesse investigativo para compreender as perceções e comportamentos relacionados com as tecnologias (Esmaeilzadeh, 2020; Maier et al., 2019; Thatcher et al., 2018).

Na adoção das TIC, o utilizador frequentemente ignora o contexto em que se encontra e/ou é influenciado por regras sociais, em lugar de considerar a informação que possui, resultando num mau ajustamento. No contexto do uso das tecnologias, o mindfulness reduz a incerteza, aumenta a sua utilidade percebida e eleva a perceção da forma como a tecnologia se ajusta à tarefa na fase pós-adoção, pelo que estimula a satisfação, aceitação e utilização continuada pelo utilizador (Sun et al., 2016).

A investigação revela que as pessoas que possuem elevado IT mindfulness são curiosas, recetivas à novidade e a experiências novas, bem como a ideias intelectualmente desafiantes. Reconhecem que necessitam de estar atualizadas quanto aos avanços da tecnologia e procuram aumentar as suas competências e conhecimentos, quer por iniciativa própria, quer participando em formação disponibilizada pelas organizações (Ioannou, 2023). São utilizadores que têm consciência do valor acrescentado que as TIC lhes podem proporcionar (Esmaeilzadeh, 2020).

Adicionalmente, não se vinculam a formas pré-estabelecidas de usar as TIC, agindo para resolver falhas ou outras situações problemáticas que surgem no trabalho, em vez de se

remeterem à inatividade, incapazes de prosseguir com as suas tarefas; como resultado, são capazes de criar soluções inovadoras ou alternativas para conseguir a adaptação tarefa-tecnologia em contextos de trabalho dinâmicos (Thatcher et al., 2018). Os profissionais detentores de IT mindfulness são, por esta razão, mais flexíveis e resilientes, envolvendo-se com o contexto a cada momento (Ioannou, 2023) e percebendo controlo sobre situações tecnologicamente exigentes (Nascimento et al., 2024).

O IT mindfulness atua como um recurso individual (Wei et al., 2020), pelo que quando os profissionais se sentem atraídos pela tecnologia, têm vontade de conhecer as suas funcionalidades e aplicações, experimentar, entender e investigar as suas falhas, associam-lhe uma visão favorável e antecipam mais-valias para o trabalho. Deste modo, funciona como uma estratégia de *coping* para lidar com as TIC de forma competente.

O IT mindfulness pode, assim, assumir um duplo papel positivo: proteger os profissionais dos impactos negativos da exposição a eventos stressantes que ocorrem no trabalho (Ioannou, 2023; Ioannou & Papazafeiropoulou, 2017; Maier et al., 2019), e incrementar experiências positivas que decorrem da utilização das TIC (Nascimento et al., 2024), contribuindo para a eficácia e desempenho, sobretudo perante tarefas complexas (Järveläinen et al., 2021). Foi empiricamente demonstrado o impacto do IT mindfulness tanto no aumento da satisfação do utilizador, isto é, na satisfação com a tecnologia usada para cumprir as suas tarefas, como no incremento do desempenho no trabalho (Ioannou et al., 2024).

Num artigo pioneiro, Thatcher et al. (2018) estabeleceram o conceito de IT mindfulness, relacionando-o estreitamente com a utilização ativa dos sistemas tecnológicos e definindo-o como:

A dynamic IS-specific trait, evident when working with IT, whereby the user focuses on the present, pays attention to detail, exhibits a willingness to consider other uses, and expresses genuine interest in investigating IT features and failures (Thatcher et al., 2018, pp. 833–834).

Embora os seus efeitos sejam relativamente duradouros, o IT mindfulness é um traço individual maleável, refletindo não apenas disposição para agir, mas também a acumulação gradual das experiências individuais com a tecnologia (Thatcher et al., 2018). Devido a esta natureza manipulável, pode ser desenvolvido através de formação, *role modeling* e outros programas de intervenção (Ioannou et al., 2024; Thatcher et al., 2018), conforme demonstrado por Thatcher et al. (2018). Constitui, por isso, um mecanismo organizacional que os gestores podem utilizar para combater os efeitos negativos das TIC e potenciar os seus benefícios, favorecendo os resultados individuais e melhorando a eficiência e desempenho global das organizações.

2.2. Medição do IT mindfulness

Sendo um conceito emergente, a medição do IT mindfulness é igualmente recente, tendo sido apresentada nos Estados Unidos da América por Thatcher et al. (2018), equipa de investigação que propôs o conceito. Os autores basearam-se nos trabalhos de Langer em 1989, 1997 e 2014 sobre mindfulness e conceptualizaram IT mindfulness como sendo composto por quatro dimensões: (1) *alertness to distinction*, ou atenção à distinção, ou seja, o utilizador não apenas compreende as capacidades e benefícios atuais das TIC,

mas também o seu potencial de utilização noutros contextos; (2) *awareness of multiple perspectives*, ou consciência de múltiplas perspetivas, isto é, o grau em que o utilizador identifica diferentes formas de utilizar as TIC e respetivo valor; (3) *openness to novelty*, ou abertura à novidade, referindo-se ao desejo de explorar novas funcionalidades ou diferentes facetas das TIC; (4) *orientation in the present*, ou orientação no presente, significando a adoção constante das funcionalidades e novidades tecnológicas adequadas ao momento, visando melhorar a eficácia. Deste modo, os utilizadores das TIC com elevado grau de IT mindfulness tendem a usar os diferentes recursos tecnológicos e ser inovadores (Thatcher et al., 2018).

Os autores operacionalizaram o conceito através da criação e desenvolvimento da Escala de IT mindfulness. Esta constitui, tanto quanto é do nosso conhecimento, a sua única medida validada e constitui o instrumento de medida de referência utilizado na investigação emergente que envolve o IT mindfulness, suas implicações e percursos (e.g., Esmailzadeh, 2020; Ioannou et al., 2024; Ioannou & Papazafeiropoulou, 2017; Järveläinen et al., 2021; Maier et al., 2019).

A escala de IT mindfulness avalia o grau de atenção dado à tecnologia no contexto de trabalho, no qual o utilizador se foca no presente, presta atenção aos detalhes, mostra disposição para considerar outros usos e expressa um genuíno interesse em investigar as funcionalidades e falhas das TI. A escala original possui 11 itens, agrupados nas 4 dimensões do constructo. Thatcher et al. (2018) também propuseram uma versão reduzida composta por 4 daqueles itens, em que cada dimensão (atenção à distinção, consciência de múltiplas perspetivas, abertura à novidade, e orientação no presente) é medida por um item. Um exemplo de item é: “Gosto de compreender as diferentes maneiras de usar as TIC”. As respostas são dadas numa escala Likert de 5 pontos (1=discordo totalmente, 5=concordo totalmente). Os autores reportaram alfa de Cronbach de 0.86, 0.88, 0.91 e 0.83 respetivamente nas 4 dimensões da escala global e de 0.88 na escala reduzida.

Tanto quanto sabemos, a escala de IT mindfulness não foi ainda traduzida, adaptada e validada para outros idiomas.

3. Método

3.1. Participantes

A amostra, não probabilística e recolhida por conveniência, foi composta por 1107 respostas completas (51.3% do sexo feminino), maioritariamente provenientes de instituições públicas de ensino superior (77.6%). Mais de metade dos participantes (67.8%) tinham o ensino como a única profissão. Relativamente à experiência docente, 21.5% dos participantes tinham menos de 10 anos, 22.9% entre 10 e 19 anos, 32.5% entre 20 e 29 anos, 18.6% entre 30 e 39 anos, e 4.4% mais de 40 anos.

3.2. Procedimento

Tanto quanto é do nosso conhecimento, a escala de IT mindfulness nunca foi traduzida, adaptada ou validada em amostras da população portuguesa. Foi utilizado o método traduz-retraduz. Com base na escala de IT mindfulness (Thatcher et al., 2018), os itens

foram traduzidos para português em conjunto por um especialista em língua inglesa e por um especialista no conteúdo, tendo a redação sido adaptada ao contexto do nosso estudo. Seguiu-se a retroversão da versão portuguesa para inglês, por uma pessoa nativa nesta língua que reside e trabalha em Portugal há vários anos, mas que viveu grande parte da vida adulta num país anglófono. Em vez de se procurar uma equivalência literal, foram identificadas palavras ambíguas, removidas inconsistências ou erros conceptuais, e refletido o contexto semântico e cultural de cada item original (Borsa et al., 2012; Khouri & Silva, 2019). Para reforçar a validade de conteúdo, foram solicitados comentários e opiniões de dois DES portugueses, utilizadores frequentes de TIC no ensino. Mantivemos a escala de resposta Likert de 5 pontos proposta por Thatcher et al. (2018).

Por se pretender cobertura nacional e devido à facilidade de acesso à internet por parte da população visada, os dados foram recolhidos através de um questionário online no *Google Forms*, solicitado por email, durante três semanas em maio-junho de 2020. O contato direto através dos autores e a técnica de *snowball* resultaram num efeito multiplicador pelos canais pessoais e digitais. Os responsáveis das instituições de ensino superior foram abordados e solicitados a divulgar o estudo entre os seus docentes, que também foram contactados diretamente através dos emails institucionais públicos. Todos os padrões éticos exigidos a este tipo de estudo foram seguidos e a participação foi voluntária, com consentimento informado. O questionário incluiu quatro medidas adicionais para a análise de validade de constructo, em concreto da validade discriminante, descritas na seção seguinte.

Como a validação da escala implica a autoavaliação como único método de medida, seguimos procedimentos para ajudar a evitar vieses de método comum (*common method bias*), tais como como cuidado na tradução e redação dos itens, informação acerca da inexistência de respostas certas ou erradas, e garantia de confidencialidade (Podsakoff et al., 2003).

3.3. Instrumentos de medida

Escala de IT Mindfulness. Trata-se do instrumento de medida a validar neste estudo, descrito na seção 2.2..

Escala de Utilidade das TIC. Esta escala de 4 itens foi adaptada da *IT Usefulness scale* de Ayyagari et al. (2011). Avalia o julgamento do indivíduo sobre o grau em que as características da tecnologia melhoram o desempenho no trabalho. Um exemplo de item é “O uso de TIC melhora a qualidade do meu trabalho”, com as respostas sendo dadas numa escala Likert de 5 pontos (1=discordo totalmente, 5=concordo totalmente). Os autores reportaram um alfa de Cronbach de 0.94.

Escala de Techno-eustress. Escala de 5 itens adaptada a partir da escala original de Eustress de O’Sullivan (2011) e sua transposição para o contexto organizacional de TIC (Califf, 2015; Califf et al., 2015). A escala encontra-se validada para os DES portugueses por Nascimento et al. (2024) e apresentou um alfa de Cronbach de 0.89. Avalia o grau em que o stress induzido pela tecnologia é percebido como tendo um efeito positivo no funcionamento do indivíduo (Califf et al., 2015). Um exemplo de item é “Com que frequência sente que quando está sob pressão de trabalho, desempenha melhor uma

tarefa se envolver as TIC?” Os itens foram respondidos numa escala Likert de 5 pontos (1=nunca a 5=sempre).

Escala de Uso de Múltiplas Estratégias de Coping. Constituída por 6 itens, foi adaptada para o contexto tecnológico a partir da *Multiple Coping Strategy Use subscale*, numa subescala da *Self-perceived flexible coping with stress scale* (Zimmer-Gembeck et al., 2018). Avalia o grau em que o indivíduo possui um amplo conjunto de opções (*tool box*) para lidar com fontes de stress e a sua capacidade para recorrer a estratégias alternativas de *coping* sempre que necessário. Um exemplo de item adaptado é “Quando preciso, consigo mudar a forma como lido com o stress causado pelo uso das TIC”. As respostas foram dadas numa escala Likert de 5 pontos (1=discordo totalmente, 5=concordo totalmente). O alfa de Cronbach foi de 0.96.

Escala de Satisfação no Trabalho. Os níveis de satisfação no trabalho dos participantes foram medidos por uma escala de 3 itens proposta por Ragu-Nathan et al. (2008) e que avalia o estado emocional agradável ou positivo que resulta da avaliação do trabalho ou das experiências de trabalho. Um exemplo de item é “Gosto de fazer as coisas que faço no trabalho”, com respostas numa escala Likert de 5 pontos (1=discordo totalmente, 5=concordo totalmente). Os autores reportaram um alfa de Cronbach de 0.87.

3.4. Tratamento e análise de dados

Usámos o IBM SPSS Statistics 29 e o IBM AMOS Structural Equation Modeling 28.

Analisámos os dados de estatística descritiva e a sensibilidade dos itens (se as respostas diferenciadas dos sujeitos são estruturalmente diferentes no constructo que se está a medir) através dos valores de simetria e achatamento. Realizámos análise fatorial exploratória (AFE) para compreender a estrutura fatorial subjacente. A fiabilidade foi verificada pelo coeficiente de consistência interna alfa de Cronbach e por procedimentos de teste-reteste. Conduzimos a análise fatorial confirmatória (AFC) para avaliar adicionalmente a validade de constructo e a fiabilidade composta. Os índices de qualidade do ajustamento incluíram χ^2/gl , CFI (*Comparative Fit Index*) como índices relativos de ajustamento, GFI (*Goodness of Fit Index*), RMR (*Root Mean Square Residual*) e RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*), $p \geq 0.05$, como índices absolutos de ajustamento. O MECVI (*Expected Cross-Validation Index*) também foi verificado como um indicador da validade de modelos alternativos na população a partir de uma única amostra, em que o modelo com o menor valor será o mais estável na população (Browne & Cudeck, 1993).

A amostra ($n=1107$) foi dividida aleatoriamente em duas subamostras aproximadamente equivalentes, para a realização da AFE ($n=559$) e da AFC ($n=548$). Adicionalmente, foi utilizada uma amostra de acompanhamento ($n=712$) para avaliar a fiabilidade através de teste-reteste.

4. Resultados

Apresentamos em conjunto os resultados da escala original global de 11 itens (Tabela 1), que pressupõe um modelo com quatro dimensões, e da escala reduzida, com 4 itens (ITM2, ITM6, ITM7 e ITM11), cada um representando uma dimensão (Thatcher et al., 2018).

Dimensão		Item	Média	Desvio-Padrão
Atenção à distinção	ITM1	Acho fácil criar formas novas e eficazes de usar as TIC.	3.31	0.974
	ITM2*	Sou muito criativo quando uso as TIC.	3.08	0.969
	ITM3	Através do uso das TIC, consigo dar muitos novos contributos às minhas tarefas profissionais.	3.45	0.967
Orientação no presente	ITM4	Costumo reparar na forma como as outras pessoas estão a usar as TIC.	3.49	1.089
	ITM5	Quando uso as TIC, consigo ter a visão global dos projetos de trabalho.	3.26	1.029
	ITM6*	Eu “envolvo-me” bastante quando estou a usar as TIC.	3.57	1.005
Consciência de múltiplas perspetivas	ITM7*	Estou frequentemente recetivo a aprender novas formas de usar as TIC.	3.97	0.949
	ITM8	Tenho uma mente aberta em relação a novas formas de usar as TIC.	4.13	0.842
Abertura à novidade	ITM9	Gosto de investigar/descobrir maneiras diferentes de usar as TIC.	3.67	1.098
	ITM10	Tenho curiosidade em conhecer formas diferentes de usar as TIC.	3.84	1.036
	ITM11*	Gosto de compreender/perceber as diferentes maneiras de usar as TIC.	3.98	0.939

Nota: os itens assinalados com * são os que compõem a escala reduzida.

Tabela 1 – Escala original global (adaptada) e estatística descritiva

No que respeita à normalidade da distribuição, o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p>0.05$) com a correção de Lilliefors produziu $p<0.001$, tanto na escala global como na escala reduzida. Contudo, em grandes amostras (>200), este teste é muito sensetivo, apresentando frequentemente $p<0.05$ e os efeitos da não normalidade são negligenciáveis (Hair et al., 2019). De acordo com Pallant (2020), estas ocorrências são comuns em ciências sociais. Obtivemos assimetria entre -0.89 e -0.095 e curtose entre -0.495 e 0.551, dentro dos limites de ± 2.58 (Hair et al., 2019). Estes resultados indicam ainda que a sensibilidade é boa tanto da escala global como da escala reduzida.

Verificou-se ainda a existência de quatro valores atípicos nos itens ITM1, ITM 3, ITM 4, ITM5 e ITM6, de três no item ITM8 e de seis no item ITM11. Contudo, a comparação entre a média e a 5% *trimmed mean* (média aparada após remoção dos 5% de casos extremos) mostrou diferenças pouco significativas, variando entre 0.01 e 0.07, pelo que mantivemos estes casos nos dados a tratar (Pallant, 2020).

O resultado do teste Kaiser-Meyer-Olkin (≥ 0.70) foi de 0.926 na escala global (muito bom) e de 0.750 na escala reduzida (médio). O teste de esfericidade de Bartlett ($p<0.001$)

produziu $c^2(55)=4861.087$; $p<0.001$ na escala global e $c^2(6)=1033.081$; $p<0.001$ na escala reduzida, em ambas dentro do limite recomendado de $p<0.001$ (Hair et al., 2019), indicando que os nossos dados se adequam à análise fatorial.

4.1. Análise Fatorial Exploratória e Fiabilidade

Juntamente com o método de extração dos componentes principais, que não requer normalidade multivariada (Marôco, 2018), utilizámos Promax como método oblíquo de rotação dos fatores, permitindo que os fatores extraídos não sejam independentes, o que é mais realista nas ciências sociais (Hair et al., 2019), e também devido à sua adequação para matrizes de dados com alguma dimensão (Marôco, 2018).

4.1.1. Começamos com a escala global de 11 itens.

O critério de Kaiser revelou 2 fatores (componentes) com valores próprios >1 que explicaram 71.8% da variância total, mas com ênfase num fator que, sozinho, explicou 60.7% da variância total. As comunalidades foram >0.50 (Hair et al., 2019) em todos os itens, exceto no ITM4 ($h^2=0.336$), pelo que decidimos removê-lo e repetir a AFE, mantendo-se dois fatores que explicaram 76.1% da variância total. O fator 1 explicou 63.9% da variância e incluiu os itens ITM7, ITM8, ITM9, ITM10 e ITM11, sugerindo que os DES da nossa amostra associam diferentes perspetivas de utilização das TIC com a abertura à novidade e curiosidade para explorar e experimentar as suas funcionalidades. O fator 2 englobou os itens ITM1, ITM2, ITM3, ITM5 e ITM6 e explicou 12.2% da variância total. Do mesmo modo, na nossa amostra os DES não dissociaram a atenção à distinção e a orientação para o presente. Nesta solução fatorial, obteve-se alpha de Cronbach de 0.945 para o fator 1 (consistência interna muito boa) e de 0.885 para o fator 2 (boa).

Para dar conta da conceptualização inicial em quatro dimensões (Thatcher et al., 2018), conduzimos nova AFE à escala de 11 itens, mas forçando a extração de quatro fatores. Como resultado, dois deles apresentaram valores próprios <1 e explicaram apenas 7.1% e 4.5% da variância total; ensaiando a retirada do item ITM4 (que já anteriormente tinha apresentado fragilidades), obteve-se uma solução fatorial difícil de interpretar, com *cross-loadings* (cargas cruzadas) e pesos fatoriais abaixo de 0.5.

Tendo em conta estes resultados, e uma vez que no modelo fatorial de 11 itens um dos fatores explica 71.8% da variância total, considerámos possível que na nossa amostra o constructo se apresente como unidimensional. Ensaíamos nova AFE forçando a extração de um único fator, originando comunalidades bastante satisfatórias, exceto no item ITM4 ($h^2=0.318$), que também protagonizou o peso fatorial destacadamente mais baixo ($\lambda=0.564$). A sua remoção fortaleceu também o coeficiente alfa de Cronbach. Assim, nesta solução fatorial unidimensional de 10 itens, obtivemos um fator que explica 63.9% da variância total e o índice de consistência interna cifrou-se em 0.936 (muito boa).

Deste modo, quanto à escala global, dois modelos fatoriais ajustaram-se bem aos nossos dados: escala bidimensional de 10 itens (M1) e escala unidimensional de 10 itens (M1). Apresentamos a sua síntese na Tabela 2.

	M1 - Escala bidimensional, 10 itens			M2 - Escala unidimensional, 10 itens		M3 - Escala reduzida, 4 itens	
Item	Fator 1 (λ)	Fator 2 (λ)	h^2	Fator 1 (λ)	h^2	Fator 1 (λ)	h^2
ITM1		0.802	0.675	0.731	0.535		
ITM2		0.867	0.729	0.740	0.548	0.747	0.558
ITM3		0.921	0.748	0.722	0.521		
ITM5		0.787	0.680	0.743	0.552		
ITM6		0.591	0.641	0.779	0.608	0.825	0.681
ITM7	0.876		0.801	0.843	0.710	0.873	0.763
ITM8	0.880		0.813	0.850	0.722		
ITM9	0.835		0.820	0.870	0.758		
ITM10	0.951		0.847	0.845	0.714		
ITM11	0.949		0.850	0.849	0.720	0.857	0.735
Valores próprios	6.389	1.217		6.389		2.737	
Var. explicada (%)	63.888	12.170		63.888		68.420	
Alpha Cronbach	0.885	0.945		0.936		0.884	

Tabela 2 – Resultados de três modelos fatoriais

Prosseguimos com a análise das propriedades psicométricas da escala reduzida de 4 itens, que apresentamos também na Tabela 2 sob a designação M3. A AFE resultou na saturação dos itens num único fator que explica 68.4% da variância total, apresentando pesos fatoriais robustos e communalidades dentro dos limites recomendados. A consistência interna obtida foi boa (0.884).

Para verificar a fiabilidade teste-reteste, o intervalo de tempo recomendado é de cerca de 15-30 dias. No entanto, no nosso caso, os dados foram obtidos a partir de uma subamostra de 712 participantes que completaram a escala de IT mindfulness nove meses mais tarde, noutra investigação em que o diferencial temporal foi assim estabelecido, facto que poderia diminuir a correlação. Apesar disso, obtiveram-se correlações fortes e significativas entre as pontuações dos participantes nas duas administrações, tanto no caso da escala global de 10 itens ($r=0.75$; $p<0.001$), como no da escala reduzida ($r=0.72$; $p<0.001$). Podemos, assim, concluir pela estabilidade temporal das escalas.

4.2. Análise Fatorial Confirmatória

Começámos pela escala bidimensional de 10 itens (M1). Os pressupostos de normalidade foram verificados através da assimetria $|Sk| \leq 0.912$ e da curtose $|Ku| \leq 0.890$, dentro dos limites recomendados de $|Sk| < 2$ and $|Ku| < 7$ (Finney & DiStefano, 2006).

Os índices de ajustamento obtidos foram $\chi^2/df=9.440$ (mau), CFI=0.936 (bom), GFI=0.895 (sofrível), RMR=0.041 (bom), RMSEA=0.124 (inaceitável), $P[\text{rmsea} \leq 0.05]=0.000$, e

MECVI=0.665. Para conseguir os mínimos de qualidade do ajustamento, foi necessário, de acordo com as sugestões dos índices de modificação, não apenas correlacionar erros de medida que pertencem ao mesmo fator, mas também erros que pertencem a fatores diferentes, o que teoricamente não é recomendável. Obteve-se $c^2/df=2.574$ (bom), CFI=0.991 (muito bom), GFI=0.975 (muito bom), RMR=0.026 (bom), RMSEA=0.054 (aceitável), $P[rmsea \leq 0.05]=0.330$, e MECVI=0.231.

Os pesos fatoriais em ambas as dimensões da escala variaram entre 0.68 e 0.94. A validade convergente foi verificada através da variância extraída média (VEM), que foi de 0.759 no fator 1 e de 0.563 no fator 2 (deverá ser >0.50), e a fiabilidade compósita alcançou 0.940 e 0.865, respetivamente, acima do limiar de 0.70 (Fornell & Larcker, 1981; Hair et al., 2019). Contudo, a validade discriminante entre os dois fatores apresentou problemas (Tabela 3), dado que a) $\sqrt{VEM}_{\text{Fator 2}}$ (0.750) foi inferior à correlação entre os fatores 1 e 2 (0.779, $p < 0.001$), e b) a variância máxima partilhada (VMP), de 0.608, foi superior à VEM (0.563). Esta constatação colocou em causa a escala bidimensional de 10 itens.

	FC	VEM	VMP	Fator 2	Fator 1
Fator 2	0.865	0.563	0.608	0.750	
Fator 1	0.940	0.759	0.608	0.779***	0.871

Notas: FC – Fiabilidade compósita; VEM – Variância extraída média; VMP – Variância máxima partilhada; $\sqrt{VEM}$ reportada a negrito na diagonal da correlação dos constructos. *** $p < 0.001$.

Tabela 3 – Escala bidimensional de 10 itens – validade discriminante entre fatores

Prosseguimos com a escala unidimensional de 10 itens (M2). A normalidade foi confirmada por assimetria $|Sk| \leq 0.806$ e curtose $|Ku| \leq 0.890$.

Como índices de ajustamento, obteve-se $c^2/df=22.523$ (mau), CFI=0.832 (sofrível), GFI=0.732 (mau), RMR=0.086 (inaceitável), RMSEA=0.198 (inaceitável), $P[rmsea \leq 0.05]=0.000$, e MECVI=1.516. Para melhorar a qualidade do ajustamento, suportados no quadro teórico de um constructo unidimensional, correlacionámos alguns erros sugeridos pelos índices de modificação. Obteve-se $c^2/df=2.748$ (bom), CFI=0.991 (muito bom), GFI=0.979 (muito bom), RMR=0.020 (bom), RMSEA=0.057 (aceitável), $P[rmsea \leq 0.05]=0.244$, e MECVI=0.234.

O modelo M2 apresenta validade fatorial, dado que $\lambda \geq 0.57$, validade convergente, confirmada por VEM=0.575, e fiabilidade compósita, com 0.930. Para testar a validade discriminante, usámos as medidas de quatro constructos relacionados com experiências positivas no trabalho, partilhando uma base teórica e conceptual com o IT mindfulness.

A análise da Tabela 4 mostra que, em todos os casos, a $\sqrt{VEM}$ é superior às correlações entre os constructos, cumprindo assim o critério de Fornell-Larcker. Além disso, a VMP foi menor que a VEM (Hair et al., 2019). Adicionalmente, todas as correlações foram ≤ 0.535 , portanto inferiores a 0.80, indicando que a escala unidimensional de 10 itens de IT mindfulness é distinta das outras quatro medidas de construtos relacionados (Campbell & Fiske, 1959).

	FC	VEM	VMP	Util	ITM	Cop	SatT	TEu
Util	0.926	0.757	0.242	0.870				
ITM	0.930	0.575	0.287	0.492***	0.758			
Cop	0.956	0.783	0.244	0.300***	0.494***	0.885		
SatT	0.846	0.649	0.144	0.233***	0.380***	0.361***	0.806	
TEu	0.894	0.628	0.287	0.402***	0.535***	0.436***	0.168***	0.793

Notas: FC – Fiabilidade compósita; VEM – Variância extraída média; VMP – Variância máxima partilhada; Util – Utilidade das TIC; ITM – IT mindfulness; Cop – Uso de múltiplas estratégias de coping; SatT – Satisfação no trabalho; TEu – Techno-eustress. $\sqrt{\text{VEM}}$ reportada a negrito na diagonal da correlação dos constructos. *** $p<0.001$.

Tabela 4 – Validade discriminante da escala unidimensional de 10 itens

Finalizamos com a escala reduzida (M3). A normalidade foi verificada por assimetria $|\text{Sk}| \leq 0.854$ e curtose $|\text{Ku}| \leq 0.681$.

Obteve-se $\chi^2/\text{df}=25.377$ (mau), CFI=0.944 (bom), GFI=0.957 (bom), RMR=0.042 (aceitável), RMSEA=0.211 (inaceitável), $P[\text{rmsea} \leq 0.05]=0.000$, e MECVI=0.122. Para melhorar a qualidade do ajustamento, correlacionámos dois erros. O resultado foi CFI=0.988 (muito bom), GFI=0.990 (muito bom), RMR=0.016 (bom), RMSEA=0.139 (inaceitável), $P[\text{rmsea} \leq 0.05]=0.013$, e MECVI=0.054. Obteve-se ainda $\chi^2/\text{df}=11.619$ (mau) e o teste de qui-quadrado foi significativo ($p<0.05$), o que é de esperar em grandes amostras (Hair et al., 2019), que é o caso da nossa, pelo que não reputámos como uma limitação. Apesar de o índice RMSEA se ter situado ligeiramente acima do limite de 0.10 (Hu & Bentler, 1999), Hair et al. (2019) sugerem que o índice RMR o pode substituir para evidenciar o ajustamento do modelo. Deste modo considerámos que, globalmente, M3 apresentou qualidade de ajustamento. O valor de MECVI está próximo de zero e é inferior ao da escala unidimensional (M2), sugerindo que a escala reduzida é mais estável na população.

	FC	VEM	VMP	Util	ITM	Cop	SatT	TEu
Util	0.926	0.757	0.214	0.870				
ITM	0.854	0.596	0.275	0.463***	0.772			
Cop	0.955	0.78	0.241	0.298***	0.491***	0.883		
SatT	0.846	0.649	0.129	0.233***	0.337***	0.359***	0.806	
TEu	0.894	0.628	0.275	0.402***	0.525***	0.436***	0.169***	0.793

Notas: FC – Fiabilidade compósita; VEM – Variância extraída média; VMP – Variância máxima partilhada; Util – Utilidade das TIC; ITM – IT mindfulness; Cop – Uso de múltiplas estratégias de coping; SatT – Satisfação no trabalho; TEu – Techno-eustress. $\sqrt{\text{VEM}}$ reportada a negrito na diagonal da correlação dos constructos. *** $p<0.001$.

Tabela 5 – Validade discriminante da escala reduzida

Os pesos fatoriais variaram entre 0.61 e 0.87, a validade convergente foi aferida por $VEM=0.60$ e a fiabilidade compósita cifrou-se em 0.85, acima dos limites recomendados. Também a validade discriminante foi verificada (Tabela 5). Em todos os casos, $\sqrt{VEM}$ foi superior às correlações entre constructos, a VMP foi menor que a VEM (Hair et al., 2019), e todas as correlações foram ≤ 0.525 (ou seja, < 0.80), indicando que a escala reduzida de IT mindfulness é distinta das outras quatro medidas de construtos relacionados.

Os pesos fatoriais variaram entre 0.61 e 0.87, a validade convergente foi aferida por $VEM=0.60$ e a fiabilidade compósita cifrou-se em 0.85, acima dos limites recomendados. Também a validade discriminante foi verificada (Tabela 5). Em todos os casos, $\sqrt{VEM}$ foi superior às correlações entre constructos, a VMP foi menor que a VEM (Hair et al., 2019), e todas as correlações foram ≤ 0.525 (ou seja, < 0.80), indicando que a escala reduzida de IT mindfulness é distinta das outras quatro medidas de construtos relacionados.

5. Discussão e Conclusões

No contexto atual em que as TIC constituem cada vez mais a infraestrutura do trabalho, a forma como os indivíduos perspetivam e lidam com as tecnologias tem impacto no bem-estar, eficácia e desempenho. O IT mindfulness é um conceito emergente na literatura, havendo evidências empíricas do seu impacto positivo nas pessoas e nas organizações.

Neste estudo foi apresentada a tradução, adaptação e validação da escala de IT mindfulness, versão global e versão reduzida (Thatcher et al., 2018), numa amostra nacional de 1107 DES portugueses.

No que respeita à escala global, as quatro dimensões preconizadas pelos autores não se confirmaram no nosso estudo. Os dois possíveis modelos fatoriais resultantes da AFE foram sujeitos a AFC, o que levou a que o modelo bidimensional, agregando as quatro dimensões originais duas a duas, fosse descartado devido a problemas de discriminação entre os fatores. Já o modelo unidimensional de 10 itens revelou propriedades psicométricas robustas de sensibilidade, de consistência interna, fiabilidade de teste-reteste e fiabilidade compósita, e de validade de constructo. As diferenças encontradas face à escala original de Thatcher et al. (2018) podem dever-se a características da população visada, que divergem na profissão e no contexto (organizacional e nacional), uma vez que o desenvolvimento da escala original se baseou numa amostra de estudantes de gestão de três universidades dos Estados Unidos da América.

Também a escala reduzida de 4 itens evidenciou possuir propriedades psicométricas adequadas. Uma medida parcimoniosa (prática e rápida de aplicar) de IT mindfulness fica, assim, viabilizada e facultada para utilização prática e investigação futura.

Ambas as escalas podem ser consideradas válidas para os DES portugueses e usadas com segurança, consistindo, tanto quanto sabemos, nas primeiras medidas de IT mindfulness disponibilizadas para população portuguesa. Diferentemente da escala original, estão validadas para adultos no contexto de trabalho. Os nossos trabalhos de tradução e adaptação conferem uma base de utilização para os restantes oito países de língua oficial portuguesa e de apoio a outros projetos de validação.

Dada a escassez de estudos em Portugal sobre IT mindfulness, consideramos que estas escalas podem ajudar a alavancar o interesse da investigação nacional no papel que exerce na adaptação tarefa-tecnologia, na melhoria do uso e desempenho dos sistemas de informação e no bem-estar das pessoas e das organizações, relevância que tem sido crescente na literatura internacional.

Este estudo tem algumas limitações que podem suscitar oportunidades para investigação futura. Apesar das precauções tomadas no processo de tradução e adaptação, dado que se utilizou o questionário autoadministrado como método de recolha de dados, não foi possível controlar totalmente os vieses de método comum. Por outro lado, a recolha de dados ocorreu durante a pandemia COVID-19, conjuntura única da nossa era, pelo que seria útil a replicação deste trabalho no “novo normal”. Além disso, tendo visado uma população específica, o DES, a generalização dos resultados para outros grupos e contextos ocupacionais deve ser ponderada. Estes desafios convidam novos estudos a colmatar os respetivos espaços e a confirmar os nossos resultados, reforçando a credibilidade de ambas as versões da escala.

Financiamento

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos UIDB/04005/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04005/2020>) e UIDB/04011/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04011/2020>).

Referências

- Borsa, J. C., Damásio, B. F., & Bandeira, D. R. (2012). Adaptation and validation of psychological instruments among cultures: Some considerations. *Paidéia*, 22(53), 423–432. <https://doi.org/10.1590/1982-43272253201314>
- Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136–162). Sage.
- Campbell, D. T., & Fiske, D. (1959). Convergent and discriminant validation through multitrait-multimethod matrix. *Psychological Bulletin*, 56(2). <https://doi.org/10.1037/h0046016>
- Esmailzadeh, P. (2020). The role of information technology mindfulness in the postadoption stage of using personal health devices: Cross-sectional questionnaire study in mobile health. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(10). <https://doi.org/10.2196/18122>
- Finney, S. J., & DiStefano, C. (2006). Non-normal and categorical data in structural equation modeling. In R. O. Mueller (Ed.), *Structural Equation Modeling: A second course* (pp. 269–314). Information Age Publishing.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 8(1), 39–50. <http://dx.doi.org/10.2307/3150980>

- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Ioannou, A. (2023). Mindfulness and technostress in the workplace: a qualitative approach. *Frontiers in Psychology*, 14, 1252187. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1252187>
- Ioannou, A., Lycett, M., & Marshan, A. (2024). The role of mindfulness in mitigating the negative consequences of technostress. *Information Systems Frontiers*, 26(2), 523–549. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10239-0>
- Ioannou, A., & Papazafeiropoulou, A. (2017). Using IT mindfulness to mitigate the negative consequences of technostress. *AMCIS 2017 - America's Conference on Information Systems: A Tradition of Innovation, August*, 1–10.
- Järveläinen, J., Sell, A., & Walden, P. (2021). The impact of IT mindfulness on complex task performance. In *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2020-January*, 1232–1241. <https://doi.org/10.24251/hicss.2021.150>
- Khourri, N., & Silva, J. C. (2019). Revisão narrativa: Metodologias de adaptação e validação de instrumentos psicológicos. *Revista Eixo*, 8(2), 220–229. <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/588>
- Maier, C., Laumer, S., Wirth, J., & Weitzel, T. (2019). Technostress and the hierarchical levels of personality: A two-wave study with multiple data samples. *European Journal of Information Systems*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/0960085X.2019.1614739>
- Marôco, J. (2018). *Análise estatística com o SPSS Statistics* (7ª Ed). Report Number.
- Nascimento, L., & Correia, M. F. (2023). Evolution drivers for the higher education teacher. In M. V. Kaya & S. Bayrakdar (Eds.), *Social and Economic Studies within the Framework of Emerging Global Developments*, 3 (pp. 307–318). Peter Lang Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.3726/b20968>
- Nascimento, L., Correia, M. F., & Califf, C. B. (2024). Towards a bright side of technostress in higher education teachers: Identifying several antecedents and outcomes of techno-eustress. *Technology in Society*, 76(102428). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102428>
- Nascimento, L., & Sullivan, G. O. (2024). The upside of teachers ' technostress : Adaptation and validation of a techno-eustress scale. *International Journal of Instruction*, 17(4), 1–18.
- Pallant, J. (2020). *SPSS Survival Manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS* (7th ed.). Routledge.

- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88(5), 879–903. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879>
- Ragu-Nathan, T. S., Tarafdar, M., Ragu-Nathan, B. S., & Tu, Q. (2008). The consequences of technostress for end users in organizations: Conceptual development and validation. *Information Systems Research*, 19(4), 417–433. <https://doi.org/10.1287/isre.1070.0165>
- Sun, H., Fang, Y., & Zou, H. M. (2016). Choosing a fit technology: Understanding mindfulness in technology adoption and continuance. *Journal of the Association for Information Systems*, 17(6), 377–412. <https://doi.org/10.17705/1jais.00431>
- Tarafdar, M., Cooper, C. L., & Stich, J.-F. (2019). The technostress trifecta - techno eustress, techno distress and design: Theoretical directions and an agenda for research. *Information Systems Journal*, 29(1), 6–42. <https://doi.org/10.1111/isj.12169>
- Thatcher, J. B., Wright, R. T., Sun, H., Zagencyk, T. J., & Klein, R. (2018). Mindfulness in information technology use: Definitions, distinctions, and a new measure. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 42(3), 831–847. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2018/11881>
- Wei, S., Zhu, F., & Chen, X. (2020). Do stressors stifle or facilitate employees' innovative use of enterprise systems: the moderating role of IT mindfulness. *Information Technology and People*, 34(3), 955–977. <https://doi.org/10.1108/ITP-09-2019-0499>
- Zimmer-Gembeck, M. J., Skinner, E. A., Modecki, K. L., Webb, H. J., Gardner, A. A., Hawes, T., & Rapee, R. M. (2018). The self-perception of flexible coping with stress: A new measure and relations with emotional adjustment. *Cogent Psychology*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/23311908.2018.1537908>

Sistemas Expertos y su Impacto en el Control y Evaluación del Desarrollo en Niños: Revisión Sistemática de Literatura

Gloria Paredes-Mamani¹

gloria.paredes@unmsm.edu.pe

¹ Universidad Nacional Mayor San Marcos Lima, Perú Facultad de Ingeniería de Sistema e Informática, Unidad de Postgrado

DOI: 10.17013/risti.55.87-109

Resumen: El control y desarrollo infantil asistido por sistemas expertos es esencial para la detección, diagnóstico y prevención en la salud de los niños, contribuyen significativamente a la accesibilidad, precisión y calidad de la atención infantil. Esta revisión analiza el impacto de los sistemas expertos en el control y evaluación del desarrollo en niños, desde 2017 a 2023. La estrategia de búsqueda identificó 22,164 estudios de fuentes como Web of Science, Scopus, ProQuest, Science Direct, Wiley Online Library, EBSCO host y ETH Zúrich. Tras aplicar criterios rigurosos de exclusión de búsqueda, se evidencia los estudios que proporcionan un aporte significativo son procedentes de Asia, los sistemas expertos fortalecen el diagnóstico y control de 52 enfermedades que afectan la salud infantil, de las cuales son 49 aportan a la salud física y 11 al área de salud mental. La revisión evidencia impacto significativo en la atención al niño es en el diagnóstico, prevención y evaluación.

Palabra-clave: Sistemas expertos; control y evaluación; niños.

Expert Systems and their Impact on Developmental Screening and Assessment in Children: A Systematic Literature Review

Abstract: Expert system-assisted child development and monitoring is essential for screening, diagnosis and prevention in children's health, contributing significantly to the accessibility, accuracy and quality of childcare. This review analyses the impact of expert systems on child developmental screening and assessment from 2017 to 2023. The search strategy identified 22,164 studies from sources such as Web of Science, Scopus, ProQuest, Science Direct, Wiley Online Library, EBSCO host and ETH Zurich. After applying rigorous search exclusion criteria, it is evident that the studies that provide a significant contribution are from Asia, expert systems strengthen the diagnosis and control of 52 diseases that affect children's health, of which 49 contribute to physical health and 11 to the area of mental health. The review shows significant impact on childcare in terms of diagnosis, prevention and evaluation.

Keyword: Expert systems; monitoring and evaluation; children.

1. Introducción

El control y desarrollo en el niño es crucial, trascendental en la primera infancia, detectar tempranamente alteraciones o factores de riesgo de su entorno. En este curso de vida, del recién nacido hasta los 10 años, la prevalencia de enfermedades infantiles es alta, que afectan a la salud física y salud mental del niño y que repercuten en el desarrollo óptimo de su capacidad física, psicológica y social.

La OMS (2013), señala sobre los riesgos de los desechos electrónicos para la salud infantil. Y advierte sobre la vulnerabilidad de los niños a las sustancias tóxicas debido a su estado de desarrollo físico y metabólico, lo que les hace sensible a absorber más contaminantes. La exposición a metales pesados como el plomo, cadmio y cromo se ha relacionado con problemas neurológicos, conductuales, y disfunciones en varios sistemas del cuerpo.

Ante este contexto, los Sistemas Expertos se presentan como una herramienta fundamental en el control y evaluación de la salud infantil. Estos sistemas apoyan el diagnóstico, evaluación, en la prevención tanto de enfermedades físicas como mentales, ayudando a mitigar los riesgos asociados y así disminuir secuelas para su vida futura y logre desarrollo integral como ser humano. El impacto de los Sistemas Expertos en el control y evaluación de desarrollo en niño en la actualidad presenta desafíos.

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo conocer el estado del arte actual de literatura sobre la aplicación de sistemas expertos en el control y evaluación en niños. La revisión identificará el impacto de los sistemas expertos en el control a niños. El contenido del presente estudio se estructura de la siguiente manera y se describen a continuación: Sección 2 Background teórico, consta una breve descripción de la teoría y contexto relevante. La sección 3 se detalla la Metodología de revisión; sección 4 se presenta los resultados y discusiones. Finalmente, presenta la sección 5 las conclusiones y futuras investigaciones.

2. Background

Los sistemas expertos en la actualidad han evolucionado para integrar técnicas avanzadas de Inteligencia Artificial (IA), incluyendo aprendizaje automático (machine learning), procesamiento de lenguaje natural (NLP). Estos sistemas no solo emulan la toma de decisiones de expertos humanos, sino que también pueden aprender y adaptarse a nuevos datos y situaciones.

Los sistemas expertos tienen un impacto y ser desarrollados para una gran cantidad de aplicaciones, muy distintas entre ellas, tales como las aplicaciones médicas pediátricas, aplicar en las atenciones, diagnósticos, rehabilitación y otras áreas, las aplicaciones del control por personal de salud tanto del área asistencial médica y área de salud mental del niño. Existen varios estudios que inician y aportan con las aplicaciones de sistemas expertos a la salud física y bienestar mental del niño, según la revisión sistemática.

Con base a los estudios previos, en el año 2018, como primer aporte del sistema experto es en el diagnóstico oportuno y preciso con la clasificación de la neumonía (Correa et al., 2018) posteriormente, avanza en detectar la neumonía (S. Masad et al., 2021), prevenir la otitis media aguda (Esposito et al., 2021); y otras enfermedades principales

que afectan en el desarrollo del niño, en la predicción de enfermedad respiratoria aguda al momento de ingreso para atención (Chang et al., 2023) y proponer pruebas más precisas para detectar la tuberculosis infantil (Vaezipour et al., 2022) y diagnosticar el Síndrome de Dificultad respiratoria neonatal (Y. Wu et al., 202).

Nel Sanja, Feucht Ute, Nel André, Becker Piet y Wenhold Friedeburg investigaron la desnutrición infantil y su relación con otros factores o atributos que condicionan su desarrollo. Este estudio contribuye a explorar el potencial de la inteligencia artificial para identificar posibles correlaciones con el retraso en el crecimiento que precede a la desnutrición.

Es desde 2023, se han realizan estudios sobre las enfermedades que afectan la salud mental en el niño apoyándose con los sistemas expertos, y entre las principales afecciones en esta revisión de literatura se consideran: el maltrato infantil, Trastorno por déficit de Atención con Hiperactividad y Trastorno de Espectro Autista, (TEA) y la depresión infantil.

Annapragada et al.,(2021) analiza el problema invisibilizado del maltrato físico infantil o definido como la violencia intrafamiliar por la OMS, estima como una de las principales causas de lesiones traumáticas físico y emocional que llega a provocar la muerte en niños. En estados Unidos en 2017, ocurrieron 1688 muertes y 674.000 víctimas confirmadas. Los centros asistenciales menores en su mayoría carecen de recursos para evaluar a los pacientes en busca de posibles abusos. Para la detección de casos probables propone el procesamiento de Lenguaje natural con redes neuronales utilizando solo la información disponible desde los datos de información familiar, registro de personal de salud para agilizar la identificación y brindarles protección infantil con una precisión promedio de $0,90 \pm 0,02$. (Annapragada et al., 2021) .

Otras enfermedades neurológicas que predominan en los niños, en el estudio por Ji et al.(2023), definen el Trastorno por déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH), como un trastorno complejo del desarrollo neurológico con múltiples etiologías, con indicadores tempranos como la inquietud motora, altos niveles de distracción, cortos periodos de atención, incapacidad para permanecer sentados y escaso control de impulsos, tanto en casa como en le escuela, que pueden constituir un factor de riesgo de una posible aparición del TDAH. Para la detección temprana según investigaciones demuestran el uso señales de biomarcadores, de la electroencefalografía cuántica (QEEG) y electroencefalograma (ECG) que permiten distinguir finamente los grados y definir las características según análisis de estas señales de ondas del cerebro.

Ji et al. (2022), en el estudio utilizó electroencefalografía cuantitativa (QEEG) para investigar las características de los subtipos del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) en niños, El análisis QEEG reveló tres subtipos de TDAH, caracterizados por (A) potencia alfa y beta rápida relativa elevada, (B) frecuencia lenta absoluta elevada (potencia delta y theta), o (C) potencia beta absoluta y relativa elevada. Y que cada niño con TDAH sus afecciones son variables. Los niños con subtipo B de QEEG (frecuencia lenta elevada) pueden ser difíciles de distinguir de los niños normales utilizando el K-ARS, que es la herramienta de detección más común para el TDAH.

Loh et al., (2023), en su estudio de TDAH con el objetivo de distinguir entre los diferentes tipos, aplica un enfoque del modelo de aprendizaje profundo (DL), para el diagnóstico según las señales y propiedades de ECG. Además, afirma, que las características de ECG son sensibles y pueden ser identificados con dispositivos como relojes inteligentes o monitores de tórax que son menos incómodo que EEG, lo que permite la detección significativa para la atención médica y monitoreo.

El Trastorno de Espectro Autista (TEA), Bala et al., (2022) es un trastorno del neurodesarrollo que aparece durante los tres primeros años de vida. En su estudio propone el modelo de aprendizaje automático para detectar y diagnosticar tempranamente el TEA y grado de afección, según datos y características informados de bebés, niños, adolescentes y adultos. Pavez et al., (2023), afirma que esta afección se caracteriza por el trastorno en el reconocimiento expresión facial, para mejorar el efecto de las terapias propone aplicar la inteligencia artificial, a través de la construcción de un espejo inteligente para reconocer cinco emociones básicas: enfado, miedo, tristeza, alegría y neutralidad. Este espejo utiliza redes neuronales convolucionales para analizar las imágenes que son captadas por una cámara y compararla con la que debe realizar el paciente, apoyando así las terapias realizadas por profesionales de la salud en niños con TEA.

Hadri & Bouramoul, (2023) en su investigación afirma que el autismo forma parte de los trastornos que no tienen tratamiento sino más bien protocolos y métodos de acompañamiento para paliar las consecuencias del trastorno autista y mejorar la calidad de vida de los niños. Por ello conlleva a la relación entre el autismo y la depresión y propone desarrollar un sistema inteligente basado en la tecnología de chat bot para prevenir la depresión en niños autistas. Nishat et al., (2023) también diseñó un robot social mejorado con inteligencia artificial para brindar y hacer distraer al niño durante su atención en centro de emergencia. Fue aceptable como apoyo psicológico, logro apoyar en la necesidad de seguridad a niños y padres.

Según los resultados de la revisión sistemática exhaustiva, de los 60 publicaciones analizados corresponden a 24 países, sistemas expertos para ayudar e intervenir en el estudio de principales enfermedades durante la niñez. Esto indica que aún hay brechas de investigación en el área de los niños.

Dados estos avances tecnológicos, los sistemas expertos tiene el potencial de aportar sustancialmente el papel de cómo se podrían implementar la atención médica, el control y desarrollo en niños y los programas de salud pública en un futuro cercano, especialmente en los sistemas de salud donde la distribución y el acceso a la atención han sido hasta ahora un desafío, por escaso personal y falta de accesibilidad a centros de atención de salud y el costo.

3. Método de Revisión -Sistemática

Para el desarrollo de este trabajo de estudio de investigación el procedimiento de revisión de sistemática de literatura, la metodología de investigación que comprende las ocho fases, como sigue: Problema y objetivo de la investigación, fuentes de información y estrategia de búsqueda, criterio de selección, selección de estudio (con el Método Prisma),

evaluación de la calidad, estrategia de extracción de datos y síntesis de hallazgos, que se desarrollan a continuación:

A. Problema y Objetivo de la Investigación

Para la revisión sistemática de la literatura, formular correctamente la pregunta a responder (PICO)Sistemas expertos en el control y evaluación del desarrollo en menores de 10 años, fue según método de un sistema de preguntas generales y específicas y objetivos, Que se presentan en la Tabla 1.

RQG: ¿Cuál es el estado del arte de las investigaciones acerca de los Sistemas Expertos en su impacto en el Control y Evaluación del desarrollo en niños?

Y con el objetivo de Conocer el estado del arte del impacto de los Sistemas Expertos en el control y evaluación de desarrollo en niños, en la siguiente tabla:

Preguntas de Investigación	Objetivo
RQ1: ¿Cuáles son los países que publicaron sobre sistemas expertos y su impacto en el Control y Evaluación del desarrollo en niños?	Señalar los países más productivos en el desarrollo de sistemas expertos y su impacto en el Control y Evaluación del desarrollo en niños.
RQ2: ¿Cuántos estudios se publicaron a lo largo de los años según continentes sobre sistemas expertos y su impacto en el Control y Evaluación del desarrollo en niños?	Identificar los estudios que se publicaron a lo largo de los años según continentes sobre sistemas expertos y su impacto en el Control y Evaluación del desarrollo en niños.
RQ3 ¿Cuáles son los diagnósticos más frecuentes por País en las investigaciones de sistema experto en el control y Evaluación del desarrollo en niños?	Identificar los diagnósticos más utilizados por País en las investigaciones de sistema experto en el control y Evaluación del desarrollo en niños.
RQ4 ¿En qué etapa de atención es el impacto del Sistema Experto en el Control y desarrollo en niños??	Identificar en que etapa de atención es el impacto del sistema Experto en el Control y desarrollo en niños.

Fuentes de Información y Estrategia de Búsqueda

Tabla 1 – Preguntas y objetivos de investigación

El proceso de consulta de bases bibliográficas electrónicas se abordó en siete fuentes, como se presenta en la Tabla 2:

Nombre de Fuente de Información	URL
Scopus	https://www.scopus.com/
Web of Science	https://sciencedirect.org/
Wiley Online Library	https://wileyonlibrary.org/
Science Direct	https://www.sciencedirect.com/
ProQuest	https://www.proquest.com/
ETHzurich	https://www.ethz.ch/ https://eth.swisscovery.slsp.ch/
EBSOhost	https://www.ebsohost.com/

Tabla 2 – Fuentes de información

La estrategia de búsqueda se inició con la identificación de palabras claves identificados según los términos encontrados en los tesauros, se detalla en la siguiente Tabla 3:

Descriptor		Descripción
Español	Ingles	
experto en sistemas/ inteligencia artificial/ lenguajes basados en Reglas	expert system/ artificial intelligence/ rule-based languages	Variable Independiente (A)
control y evaluación del desarrollo en menores de cinco años/ control del desarrollo infantil/ evaluación infantil/ seguimiento y evaluación del desarrollo/ niños	control and evaluation of development in children under five years of age/ control of child development/ child assessment/ monitoring and evaluation off development/ children	Variable Dependiente (B)

Tabla 3 – Descriptores de búsqueda y sus sinónimos

La búsqueda se realiza con ecuaciones construidas con palabras claves y según la lógica de los operadores boléanos:

(“expert system” OR “Rule-based languages” OR “Artificial intelligence”) AND (“Control of child development” OR “Child Assessment” OR “Monitoring and evaluation off development”).

B. Estudios Identificados

Según las fuentes explorándose se tiene en total de 22154 estudios, presentados en la siguiente figura.

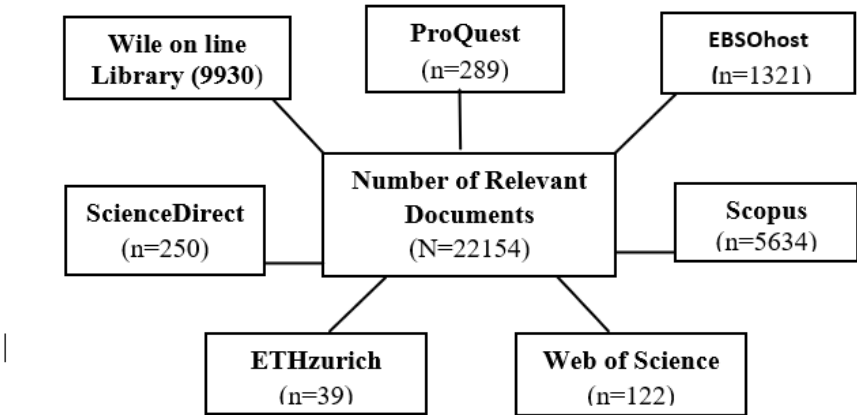


Figura 1 – Consolidado y Numero del Resultados por Fuentes.

C. Criterios de Selección

Los criterios exclusión para esta revisión se definieron según los objetivos y población definida, aplicándose rigurosamente:

CE1: Los artículos tienen una antigüedad mayor a 7 años O

CE2: Los artículos no se publicaron en Congresos O Revistas revisadas por pares O

CE3: : Los títulos y los keywords de los artículos no son muy adecuados

CE4 La solución propuesta no se aplica al Control O Evaluación O Desarrollo O Children O en Menores O Definidas a Sistemas Expertos O Inteligencia

CE5: El abstract de los artículos no es completa metodología O

CE6: Los artículos duplicados o no son únicos O

CE7: No se dispone del texto completo del artículo O

CE8: Los congresos o revistas no son reconocidos por Scopus o Wos O

Posteriormente de aplicar los criterios de exclusión. Esto ilustra la exclusión realizada en cada etapa de la selección se identificaron los 60 trabajos que cumplen con la mayoría de los criterios definidos y son relevantes para la investigación.

D. Selección de Estudio

Se aplica las cuatro etapas según el diagrama de Prisma, procedimiento según el cual se realizó la búsqueda de información en los procesos de selección e identificación de los estudios con el fin de que los trabajos de investigación sean transparentes y valiosos, en figura 2:

E. Evaluación de la calidad

De los 60 artículos seleccionados fueron evaluados de forma individual de acuerdo con los siete criterios de calidad que se muestran a continuación:

QA1: ¿Están los objetivos de investigación visiblemente identificados en el documento?

QA2: ¿El documento explica el contexto en el cual la investigación fue llevada?

QA3: ¿La investigación considera a niños en el estudio?

QA4: ¿La investigación se realiza en entidades o instituciones de salud?

QA6: ¿Está el documento bien estructurado?

QA7: ¿Se considera las variables de estudio?

Como resultado de la evaluación de los estudios, se confirmó que la mayoría de los estudios cumplieron los criterios de calidad (QA), esta evaluación definió concluyentemente en número de publicaciones que se incluirán en el estudio.

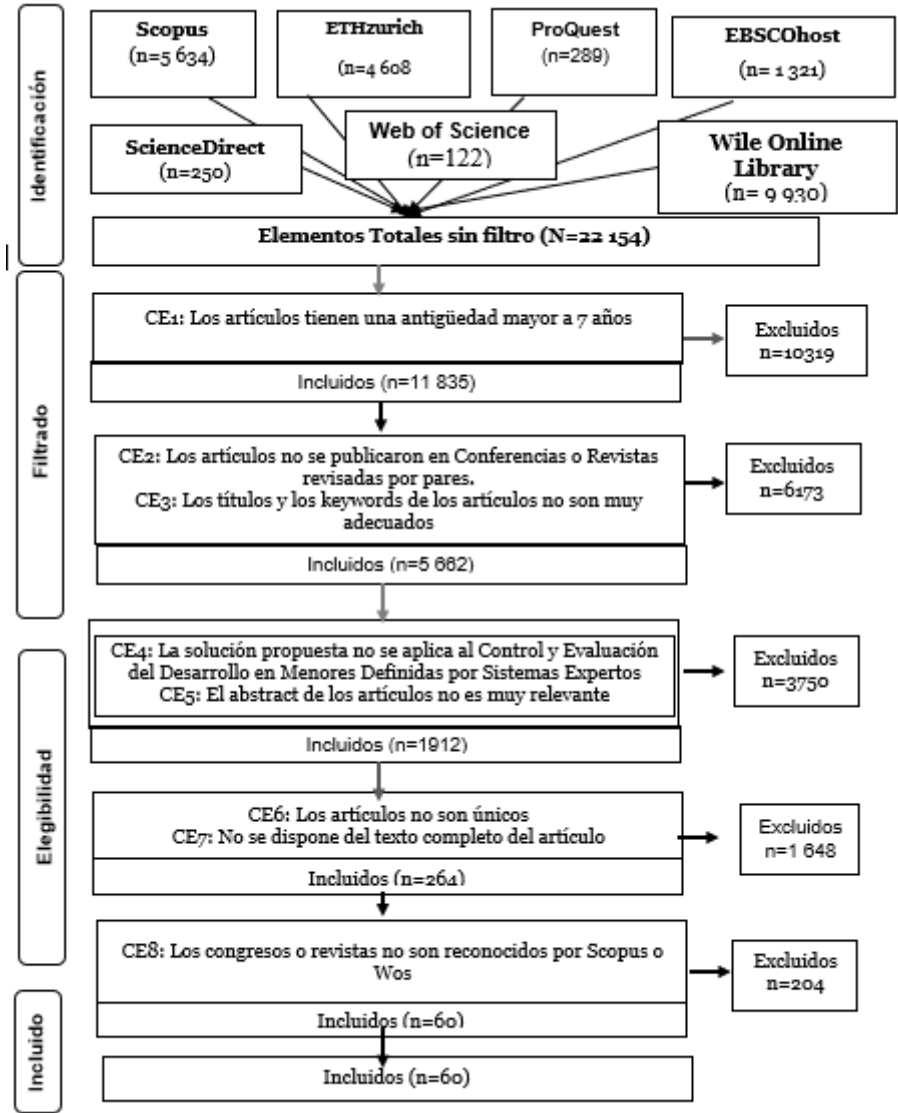


Figura 2 – Diagrama de Flujo Prisma del Procedimiento

F. Estrategia de extracción de datos

Se pueden utilizar varios programas disponibles para crear bases de datos y para grandes volúmenes de información, como en un RS, usar plataformas como Excel o Access. Estos permiten modificaciones, como añadir campos. Además, ofrecen hojas de cálculo y herramientas estadísticas que facilitarán el análisis posterior. (Espinosa et al, 2018). La estrategia de extracción de datos descrita en este estudio sigue un enfoque metódico y

estructurado. Utilizar una lista final de sesenta artículos asegura que solo se considere la literatura más relevante y de alta calidad. El uso de Mendeley facilita la organización y extracción de datos en Excel, y mejora significativamente la eficiencia del proceso.

G. Síntesis de hallazgos

Una vez seleccionados los estudios se debe: extraer en un formulario diseñado, según los datos necesarios, (título del artículo, año de publicación, tipo de estudio y autores) para resumir los estudios, luego evaluar cada estudio verificar la calidad del artículo finalmente desarrollar las tablas y el texto que sintetizen los datos según las preguntas de investigación (Espinosa et al., 2018). Y disponer de datos estadísticos con una base analítica flexible y confiable para la informática. (Oviedo et al. 2019)

Este proceso consiste en dar lectura de los 60 artículos para extraer la información de cada estudio, luego sintetizar y hacer un análisis de datos en profundidad para responder las cinco preguntas planteadas en la investigación, las mismas que se detalla en el punto IV:

4. Descripción de los Estudios

4.1. Descripción de los estudios

Del proceso de selección de artículos resultó 60 artículos, los fueron incluidos para la extracción y análisis de datos.

En la Figura 3 se muestra la distribución de los estudios organizados por año de publicación, desde el año 2017 al año 2023 que el gráfico representa:



Figura 3 – Artículos publicados según Año.

Es los últimos dos años la publicación de artículos aumenta significativamente, desde 2021, y muy significativo para los años entre 2022 (36,1%) y 2023 39,3%) y en el año 2018 se inicia solo con el 1,6% de investigaciones publicadas.

Existe una tendencia de incremento de estudios por años.

Después se describe los datos que resaltan los estudios de revisión sistemática, en la Figura 4, se revela:

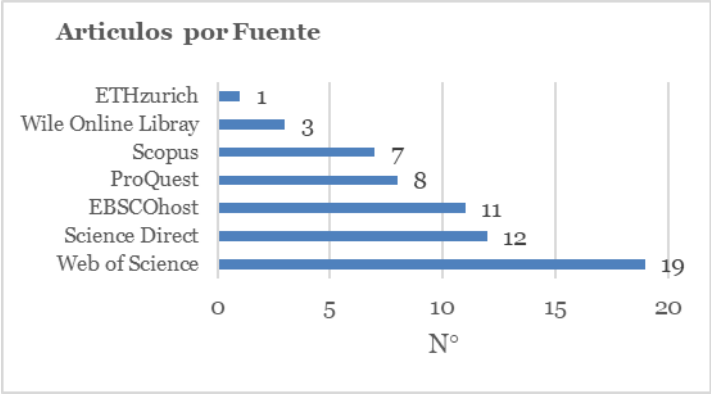


Figura 4 – Cantidad de artículos por fuente.

Las fuentes exploradas son siete en total que aportaron con artículos sobre el Control y Evaluación de desarrollo en niños; el aporte es significativo de Web of Science el 19 y Science Direct con el 12 y ETHzurich con en menor, 1 artículo del total de 60 artículos.

4.2.Respuesta a los Problemas de Investigación

En esta sección se presenta la información que abordan a las preguntas de investigación planteadas.

RQ1: ¿Cuáles son los países que publicaron sobre el desarrollo de sistemas expertos para el Control y Evaluación del desarrollo en niños?

La figura 5 presenta los países que realizaron estudios y que fueron publicación:

Resalta, China con 13, Estados Unidos 12 son los que lideran en términos de productividad, seguido por Corea con 5 estudios; por el contrario, son 18 naciones ubicados en últimos lugares y que aportan con un solo estudio cada uno. De América del Sur son 3 de 13 países, que la conforman.

Este análisis revela que mientras algunos países, como China y Estados Unidos, tienen un significativo aporte de investigación en sistemas expertos aplicados al desarrollo infantil, otros países muestran menor actividad en esta área, lo que sugiere la existencia de oportunidades para expandir y profundizar la investigación a nivel global. Por lo tanto, las instituciones de salud tienen que aprovechar y evolucionar según el avance y aporte de los sistemas expertos según su problemática de salud infantil y su contexto ambiental.

RQ2: ¿Cuántos estudios se publicaron según continentes sobre sistemas expertos y su impacto en el Control y Evaluación del desarrollo en niños?

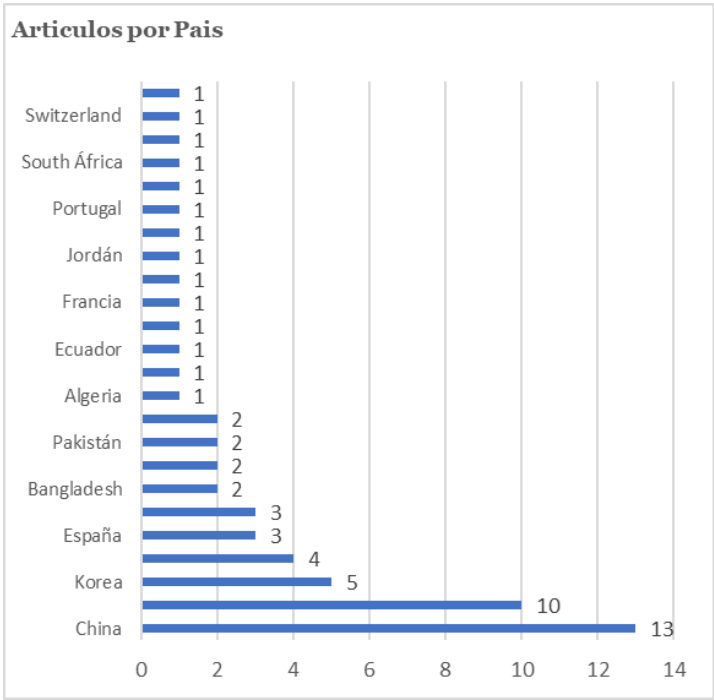


Figura 5 – Países con más publicaciones.

Según los resultados concluidos se tiene seis continentes que presentaron estudios, en Figura 6.

Los seis continentes presentan y realizaron estudios sobre Sistemas expertos, con predominio fuerte de Asia y Europa. Y otros Continente de África y América del Sur.

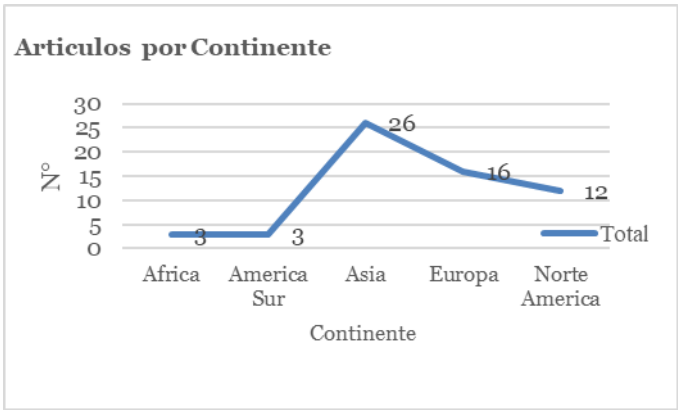


Figura 6 – Artículos publicados por Continente.

Según la revisión sistemática, Asia es el continente con aporte significativo de 26 artículos y Europa con 16 publicaciones; África y América del Sur, cada uno con 3 investigaciones.

|De acuerdo a Bondi-Kelly et al., (2023) los niños de Sudáfrica y otros países de ingresos bajos, siguen afrontando el riesgo de la desnutrición aguda que ello implica que presenten un alto retraso en el desarrollo y crecimiento del niño.

Desde un enfoque práctico, fomentar la investigación en regiones menos representadas, como África, sería beneficioso para enriquecer la diversidad de perspectivas y generar soluciones más aplicables y contextualmente relevantes en el campo de los Sistemas Expertos. Hay la necesidad de un esfuerzo más equitativo y colaborativo para maximizar los beneficios de la IA en la atención sanitaria.

R3 ¿Cuáles son los diagnósticos más frecuentes utilizados por Año en las investigaciones de sistema experto en el control y Evaluación del desarrollo en niños?

Los diagnósticos según los análisis realizados se organizan por años de publicación, consolidado por medio de la Tablas 4:

Diagnóstico	Nº
2018	1
Neumonía	1
2019	3
Cáncer	1
Apendicitis complicada y no complicada	1
Pie Plano	1
2020	3
Enfermedad Genética en Retina (RN)	1
Linfoma de Hodgkin	1
Obesidad	1
2021	7
Abuso en niños*	1
Epilepsia Refractaria	1
Función Renal	1
Neumonía	1
Otitis Media Aguda	1
Ondas EEG	1
Quemaduras	1
2022	22
Trastorno de Espectro Autista*	2
Sentimientos de bebe*	1

Diagnóstico	Nº
Trastorno por déficit de Atenc. con Hiperactividad*	1
Ambliopía	1
Cardiopatía	2
Caries	1
Desnutrición Aguda	1
Displacia en caderas	1
Edad Dental	1
Enfermedad Respiratoria	1
Fractura de cráneo	1
Fracturas	1
Función Motora (parálisis cerebral)	1
Leucemia	1
Obesidad	1
Resistencia a Insulina	1
Síndrome de dificultad respiratoria	1
Síndrome de Kawasaki	1
Trastorno en el Crecimiento y Evaluación	1
Tuberculosis	1
2023	24
Apoyo Psicológico*	1
Trastorno del Espectro Autista*	3
Trastorno por Déficit de A. con Hiperactividad*	1
Depresión*	1
Malestar Vital*	1
COVID-19	1
Enfermedad Respiratoria	2
Edad Ósea	2
Bronquitis	1
Apnea del Sueño	1
Desnutrición (deficiencia de micronutrientes)	1
Edad Dental	1
Enfermedades Cardíacas Congénitas	1
Espasmos Epilépticos	1

Diagnóstico	Nº
Fiebre	1
Función Motora Gruesa (Parálisis Cerebral)	1
Hemorragia Retiniana	1
Invaginación Intestinal	1
Obesidad -Cardiovascular	1
Paro cardiaco	1
Total	60

Nota. * Tipo de Diagnostico que afectan el área de salud Mental Infantil.

Tabla 4 – Aplicación de Sistemas Expertos en el Diagnostico en Niños

Con base a la revisión de los artículos, se observa en la tabla anterior hay un total de 52 patologías estudiados aplicados en el control y diagnóstico en niños con Sistemas Expertos, 45 tipo de diagnósticos son de enfermedades biológicas o físicas y 7 tipos de estudios son del área de la salud mental de los niños. El primer aporte de los Sistemas Expertos (SE) se inicia en el año 2018 con el Diagnostico de la enfermedad de Neumonía en niños, siendo una enfermedad respiratoria muy grave y con la intervención precisa y oportuna se logra disminuir la alta mortalidad infantil. El impacto de SE en el campo de la salud Mental en niños, se inicia en el año 2021, aborda y detecta el abuso y maltrato en niños que acuden a una consulta en emergencia (Annapragada et al., 2021), luego se investigan las dos frecuentes enfermedades neurológicas el Trastorno del Espectro Autista y Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad y con el riesgo que se asocie con la depresión infantil.

Desde 2013, la OMS ha alertado sobre los riesgos de los desechos electrónicos para la salud infantil y materna. Los niños son más vulnerables a las sustancias tóxicas debido a su desarrollo físico y metabólico, lo que les hace sensible a absorber más contaminantes y dificultar su eliminación. La exposición a metales pesados y químicos como el plomo, cadmio y cromo se ha relacionado con problemas neurológicos, conductuales, y disfunciones en varios sistemas del cuerpo, destacando la urgencia de abordar este problema.

El uso de los Sistemas Expertos desempeña un papel significativo en el control y evaluación de la salud infantil, particularmente en el diagnóstico de enfermedades físicas y del área de salud mental.

RQ4 ¿En qué etapa de atención es el impacto del sistema Experto en el Control y desarrollo en niños?

La distribución de los artículos muestra que los sistemas expertos tienen un impacto notable en 8 áreas del desarrollo y control infantil, con un enfoque predominante en el diagnóstico y la prevención según se observa la Tabla 5.

Control y Evaluación	Referencia	Nº	%
Diagnóstico	(Annapragada et al., 2021)* (Arnold, 2022) (X. Chen et al., 2023) (Choi et al., 2022) (Correa et al., 2018) (Esposito et al., 2021) (Huang et al., 2021) (Ji et al., 2023) (Ji et al., 2022)* (Jiang et al., 2023) (Khosravi et al., 2023) (D. W. Kim et al., 2021) (Loh et al., 2023)* (Reismann et al., 2019) (S. Masad et al., 2021) (Seo et al., 2023) (Shekhar et al., 2022) (Vaezipour et al., 2022) (Vaquerizo-Villar et al., 2023) (Villegas-Ch et al., 2023) (Wall et al., 2023) * (Y. Wu et al., 2022) (Xu et al., 2022) (Yang et al., 2022) (Yasin et al., 2022) (Nguyen et al., 2022)(Iadanza et al., 2020) (Lam et al., 2022)	28	46,6
Prevención	(Abdel Hameed et al., 2022) * (Goulooze et al., 2020) (Gupta et al., 2023) (Hadri & Bouramoul, 2023) (Nel et al., 2022) (Paolucci et al., 2023) * (Rasheed et al., 2021) * (Sierra et al., 2022) (Tragomalou et al., 2020) (Zhang & Wan, 2022) (Zhao et al., 2022) (Leon-Ayala & Andrade-Arenas, 2022)	12	20.0
Evaluación	(Y. Chen et al., 2023) (Cirillo et al., 2021) (Duran et al., 2022) (B. J. Kim et al., 2022) (Li et al., 2019) (Nishat et al., 2023) * (Wang et al., 2023) (T. J. Wu et al., 2022)	8	13,3
Predicción	(Abir et al., 2022) (Bala et al., 2022) * (Beaulac et al., 2020) (Bondi-Kelly et al., 2023) (Chang et al., 2023) (von Elling-Tammen et al., 2023)	6	10,0
Impacto Potencial en la Infección Respiratoria	(Ji et al., 2023) (Cordeiro et al., 2023)	2	3,3
Discriminar por EEG	(Nogales et al., 2023)	1	1,6
Intervención	(Pavez et al., 2023) *	1	1,6
Monitoreo y diagnóstico (desarrollar y validar algoritmos)	(Boivin et al., 2023) *	1	1,6
Gestión	(Shi et al., 2023)	1	1,6
Total		60	100

Nota: * Tipo de Diagnostico que afectan el área de salud Mental Infantil.

Tabla 5 – Impacto del sistema experto en el control y desarrollo en niños

Los resultados obtenidos según la revisión de literatura, de los 60 artículos son 81.7% (49) aportan a la salud física, y el 18,3% (11) pertenece al estudio de la salud Mental infantil. En el total de control y evaluación, la mayoría de los artículos se centran en el diagnóstico con el 46.6%, prevención 20%, evaluación con el 13.3%, predicción el 10% y con 9.7%. Resalta en el estudio de Salud Mental, se enfoca la intervención y Monitoreo con 1,6% (1) cada uno.

Se representan áreas de investigación emergentes o especializadas (Impacto potencial en la Infección respiratoria aguda, Discriminar por EEG, Intervención, Monitoreo y diagnóstico, Prevención y detección, y Gestión,). Esto indica que los sistemas expertos

son ampliamente utilizados para identificar problemas o trastornos en el desarrollo infantil, lo cual es crucial para intervenir tempranamente y mejorar los resultados a largo plazo, para prevenir problemas de desarrollo, lo cual puede incluir intervenciones tempranas y educación para padres y cuidadores; facilitan evaluaciones precisas, predecir posibles problemas antes de que se manifiesten, y nuevas perspectivas y herramientas innovadoras para el control y evaluación del desarrollo infantil.

5. Conclusiones

Este documento proporcione realizar un análisis estadístico sobre el uso de Sistemas Expertos en el Control y Desarrollo del niño menor de 10 años, mediante la extracción de 60 artículos publicados entre los años de 2017 al 2023. Todos los estudios identificados fueron de tipo Artículo publicados en mayoría en Web of Science, Science Direct, EBSCOhost.

En la pregunta RQ1 los resultados de la revisión de la literatura los países de China y Estados Unidos son los que predominan en publicar estudios en los últimos siete años. En la RQ2 los continentes con mayor aporte muy significativo están Asia, Europa y luego América del Norte. En la pregunta RQ3 Los diagnósticos son muy variados, la aplicación del Sistema Experto aporta es en 52 tipos de diagnóstico de niños, de este total 45 corresponden al estudio de enfermedades físicas y 7 estudios al área de la salud mental infantil. RQ5 Los sistemas expertos tienen un impacto significativo en la etapa del diagnóstico, prevención y evaluación tanto para área de salud física y mental y en el desarrollo infantil, tecnológicamente su aporte es significativo y crucial en la identificación temprana y la prevención de problemas de desarrollo.

De esta forma se logra un diagnóstico de prevención oportuna y con precisión para disminuir complicaciones mas severas en el niño e identificar riesgos, sea en aspecto físico como en el área mental que afecte su desarrollo para controlar e intervenir con la tecnología de los sistemas expertos.

6 Sugerencias

Por lo tanto, en futuras investigaciones deberían considerar las investigaciones más recientes, y otros estudios que publicaron sobre Sistemas Expertos en el Control y Evaluación del desarrollo en niños. Priorizar los temas que impactan y afectan al desarrollo y crecimiento en los niños y niñas para prevenir enfermedades en el área mental con el soporte de sistemas expertos.

Referências

Abdel Hameed, M., Hassaballah, M., Hosney, M. E., & Alqahtani, A. (2022). An AI-Enabled Internet of Things Based Autism Care System for Improving Cognitive Ability of Children with Autism Spectrum Disorders. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/2247675>

- Abir, W. H., Uddin, M. F., Khanam, F. R., Tazin, T., Khan, M. M., Masud, M., & Aljahdali, S. (2022). Explainable AI in Diagnosing and Anticipating Leukemia Using Transfer Learning Method. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2022/5140148>
- Annappagada, A. V., Donaruma, M. M. K., Annappagada, A. V., & Starosolski, Z. A. (2021). A natural language processing and deep learning approach to identify child abuse from pediatric electronic medical records. *PLoS ONE*, 16(2), e0247404. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247404>
- Arnold, R. W. (2022). Comparative Validation of PlusoptiX and AI-Optic Photoscreeners in Children with High Amblyopia Risk Factor Prevalence. *Clinical Ophthalmology*, 16(August), 2639–2650. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S378777>
- Bala, M., Ali, M. H., Satu, M. S., Hasan, K. F., & Moni, M. A. (2022). Efficient Machine Learning Models for Early Stage Detection of Autism Spectrum Disorder. *Algorithms*, 15(5), 166. <https://doi.org/10.3390/a15050166>
- Beaulac, C., Rosenthal, J. S., Pei, Q., Friedman, D., Wolden, S., & Hodgson, D. (2020). An evaluation of machine learning techniques to predict the outcome of children treated for Hodgkin-Lymphoma on the AHOD0031 trial. *Applied Artificial Intelligence*, 34(14), 1100–1114. <https://doi.org/10.1080/08839514.2020.1815151>
- Boivin, V., Shahriari, M., Faure, G., Mellul, S., Tiassou, E. D., Jouvett, P., & Noumeir, R. (2023). Multimodality Video Acquisition System for the Assessment of Vital Distress in Children. *Sensors*, 23(11), 5293. <https://doi.org/10.3390/s23115293>
- Bondi-Kelly, E., Chen, H., Golden, C. D., Behari, N., & Tambe, M. (2023). Predicting micronutrient deficiency with publicly available satellite data. *AI Magazine*, 44(1), 30–40. <https://doi.org/10.1002/aaai.12080>
- Carrascal, A. I. O., Cotte, D. S., Arango, N. A. R., & Vélez, A. F. P. (2019). Descubrimiento de Conocimiento en Historias Clínicas mediante Minería de Texto. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 34, 29–43. <https://doi.org/10.17013/risti.34.29-43>
- Chang, T. H., Liu, Y. C., Lin, S. R., Chiu, P. H., Chou, C. C., Chang, L. Y., & Lai, F. P. (2023). Clinical characteristics of hospitalized children with community-acquired pneumonia and respiratory infections: Using machine learning approaches to support pathogen prediction at admission. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 56(4), 772–781. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2023.04.011>
- Chen, X., You, G., Chen, Q., Zhang, X., Wang, N., He, X., Zhu, L., Li, Z., Liu, C., Yao, S., Ge, J., Gao, W., & Yu, H. (2023). Development and evaluation of an artificial intelligence system for children intussusception diagnosis using ultrasound images. *IScience*, 26(4), 106456. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106456>

- Chen, Y., Lv, Q., Andrinopoulou, E. R., Gallardo-Estrella, L., Charbonnier, J. P., Caudri, D., Davis, S. D., Rosenfeld, M., Ratjen, F., Kronmal, R. A., Stukovsky, K. D. H., Stick, S., & Tiddens, H. A. W. M. (2023). Automatic bronchus and artery analysis on chest computed tomography to evaluate the effect of inhaled hypertonic saline in children aged 3-6 years with cystic fibrosis in a randomized clinical trial. *Journal of Cystic Fibrosis*, 22(5), 916-925. <https://doi.org/10.1016/j.jcf.2023.05.013>
- Choi, J. W., Cho, Y. J., Ha, J. Y., Lee, Y. Y., Koh, S. Y., Seo, J. Y., Choi, Y. H., Cheon, J. E., Phi, J. H., Kim, I., Yang, J., & Kim, W. S. (2022). Deep Learning-Assisted Diagnosis of Pediatric Skull Fractures on Plain Radiographs. *Korean Journal of Radiology*, 23(3), 343-354. <https://doi.org/10.3348/kjr.2021.0449>
- Cirillo, M. D., Mirdell, R., Sjöberg, F., & Pham, T. D. (2021). Improving burn depth assessment for pediatric scalds by AI based on semantic segmentation of polarized light photography images. *Burns*, 47(7), 1586-1593. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2021.01.011>
- Cordeiro, J. R., Mosca, S., Correia-Costa, A., Ferreira, C., Pimenta, J., Correia-Costa, L., Barros, H., & Postolache, O. (2023). The Association between Childhood Obesity and Cardiovascular Changes in 10 Years Using Special Data Science Analysis. *Children*, 10(10), 1655. <https://doi.org/10.3390/children10101655>
- Correa, M., Zimic, M., Barrientos, F., Barrientos, R., Román-Gonzalez, A., Pajuelo, M. J., Anticona, C., Mayta, H., Alva, A., Solis-Vasquez, L., Figueroa, D. A., Chavez, M. A., Lavarello, R., Castañeda, B., Paz-Soldán, V. A., Checkley, W., Gilman, R. H., & Oberhelman, R. (2018). Automatic classification of pediatric pneumonia based on lung ultrasound pattern recognition. *PLoS ONE*, 13(12), e0206410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206410>
- Duran, I., Stark, C., Saglam, A., Semmelweis, A., Lioba Wunram, H., Spiess, K., & Schoenau, E. (2022). Artificial intelligence to improve efficiency of administration of gross motor function assessment in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 64(2), 228-234. <https://doi.org/10.1111/dmcn.15010>
- Esposito, S., Bianchini, S., Argentiero, A., Gobbi, R., Vicini, C., & Principi, N. (2021). New approaches and technologies to improve accuracy of acute otitis media diagnosis. *Diagnostics*, 11(12), 2392. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122392>
- Goolooze, S. C., Zwep, L. B., Vogt, J. E., Krekels, E. H. J., Hankemeier, T., van den Anker, J. N., & Knibbe, C. A. J. (2020). Beyond the Randomized Clinical Trial: Innovative Data Science to Close the Pediatric Evidence Gap. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 107(4), 786-795. <https://doi.org/10.1002/cpt.1744>
- Gupta, K., Jiwani, N., Pau, G., & Alibakhshikenari, M. (2023). A Machine Learning Approach Using Statistical Models for Early Detection of Cardiac Arrest in Newborn Babies in the Cardiac Intensive Care Unit. *IEEE Access*, 11(May), 60516-60538. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3286346>

- Hadri, S. A., & Bouramoul, A. (2023). Towards a deep learning based contextual chat bot for preventing depression in young children with autistic spectrum disorder. *Smart Health*, 27(December), 100371. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2022.100371>
- Huang, Y., Li, Q., Yang, Q., Huang, Z., Gao, H., Xu, Y., & Liao, L. (2021). Early Prediction of Refractory Epilepsy in Children Under Artificial Intelligence Neural Network. *Frontiers in Neurorobotics*, 15(June), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.690220>
- Iadanza, E., Goretti, F., Sorelli, M., Melillo, P., Pecchia, L., Simonelli, F., & Gherardelli, M. (2020). Automatic Detection of Genetic Diseases in Pediatric Age Using Pupillometry. *IEEE Access*, 8, 34949–34961. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2973747>
- Ji, Y., Choi, T. Y., Lee, J., Yoon, S., Jeong, H., Kang, S. W., Kim, J. W., & Won, G. H. (2022). Characteristics of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Subtypes in Children Classified Using Quantitative Electroencephalography. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 18(November), 2725–2736. <https://doi.org/10.2147/NDT.S386774>
- Ji, Y., Zhi, X., Wu, Y., Zhang, Y., Yang, Y., Peng, T., & Ji, L. (2023). Regression analysis of air pollution and pediatric respiratory diseases based on interpretable machine learning. *Frontiers in Earth Science*, 11(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1105140>
- Jiang, X., Yu, J., Ye, J., Jia, W., Xu, W., & Shu, Q. (2023). A deep learning-based method for pediatric congenital heart disease detection with seven standard views in echocardiography. *World Journal of Pediatric Surgery*, 6(3), e000580. <https://doi.org/10.1136/wjps-2023-000580>
- Khosravi, P., Huck, N. A., Shahraki, K., Hunter, S. C., Danza, C. N., Kim, S. Y., Forbes, B. J., Dai, S., Levin, A. V., Binenbaum, G., Chang, P. D., & Suh, D. W. (2023). Deep Learning Approach for Differentiating Etiologies of Pediatric Retinal Hemorrhages: A Multicenter Study. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(20), 15105. <https://doi.org/10.3390/ijms242015105>
- Kim, B. J., Kim, B. S., Mun, J. H., Lim, C., & Kim, K. H. (2022). An accurate deep learning model for wheezing in children using real world data. *Scientific Reports*, 12(1), 22465. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25953-1>
- Kim, D. W., Ahn, H. G., Kim, J., Yoon, C. S., Kim, J. H., & Yang, S. (2021). Advanced kidney volume measurement method using ultrasonography with artificial intelligence-based hybrid learning in children. *Sensors*, 21(20), 6846. <https://doi.org/10.3390/s21206846>
- Lam, J. Y., Shimizu, C., Tremoulet, A. H., Bainto, E., Roberts, S. C., Sivilay, N., Gardiner, M. A., Kanegaye, J. T., Hogan, A. H., Salazar, J. C., Mohandas, S., Szmuszkowicz, J. R., Mahanta, S., Dionne, A., Newburger, J. W., Anusinha, E., DeBiasi, R. L., Hao, S., Ling, X. B., & Sykes, M. (2022). A machine-learning algorithm for diagnosis of multisystem inflammatory syndrome in children and Kawasaki disease in the USA: a retrospective model development and validation study. *The Lancet Digital Health*, 4(10), e717–e726. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00149-2](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00149-2)

- Leon-Ayala, R., & Andrade-Arenas, L. (2022). Mobile Application Design: Caries Health Care for Children. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(21), 183–200. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i21.33967>
- Li, H., Huang, Z., Fu, J., Li, Y., Zeng, N., Zhang, J., Ye, C., & Jin, L. (2019). Modified Weights-and-Structure-Determination Neural Network for Pattern Classification of Flatfoot. *IEEE Access*, 7, 63146–63154. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2916141>
- Linares-Espinós, E., Hernández, V., Domínguez-Escrig, J. L., Fernández-Pello, S., Hevia, V., Mayor, J., Padilla-Fernández, B., & Ribal, M. J. (2018). Methodology of a systematic review. *Actas Urológicas Españolas*, 42(8), 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.acuroe.2018.07.002>
- Loh, H. W., Ooi, C. P., Oh, S. L., Barua, P. D., Tan, Y. R., Molinari, F., March, S., Acharya, U. R., & Fung, D. S. S. (2023). Deep neural network technique for automated detection of ADHD and CD using ECG signal. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 241(August), 107775. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107775>
- Masad, I. S., Alqudah, A., Alqudah, A. M., & Almashaqbeh, S. (2021). A hybrid deep learning approach towards building an intelligent system for pneumonia detection in chest X-ray images. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(6), 5530. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i6.pp5530-5540>
- Nel, S., Feucht, U. D., Nel, A. L., Becker, P. J., & Wenhold, F. A. M. (2022). A novel screening tool to predict severe acute malnutrition through automated monitoring of weight-for-age growth curves. *Maternal and Child Nutrition*, 18(3). <https://doi.org/10.1111/mcn.13364>
- Nguyen, T., Maarek, R., Hermann, A. L., Kammoun, A., Marchi, A., Khelifi-Touhami, M. R., Collin, M., Jaillard, A., Kompel, A. J., Hayashi, D., Guermazi, A., & Le Pointe, H. D. (2022). Assessment of an artificial intelligence aid for the detection of appendicular skeletal fractures in children and young adults by senior and junior radiologists. *Pediatric Radiology*, 52(11), 2215–2226. <https://doi.org/10.1007/s00247-022-05496-3>
- Nishat, F., Hudson, S., Panesar, P., Ali, S., Litwin, S., Zeller, F., Candelaria, P., Foster, M. E., & Stinson, J. (2023). Exploring the needs of children and caregivers to inform design of an artificial intelligence-enhanced social robot in the pediatric emergency department. *Journal of Clinical and Translational Science*, 7(1), e191. https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S2059866123006088/type/journal_article
- Nogales, A., García-Tejedor, Á. J., Chazarra, P., & Ugalde-Canitrot, A. (2023). Discriminating and understanding brain states in children with epileptic spasms using deep learning and graph metrics analysis of brain connectivity. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 232, 107427. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107427>

- Paolucci, C., Giorgini, F., Scheda, R., Alessi, F. V., & Diciotti, S. (2023). Early prediction of Autism Spectrum Disorders through interaction analysis in home videos and explainable artificial intelligence. *Computers in Human Behavior*, 148(July), 107877. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107877>
- Pavez, R., Diaz, J., Arango-Lopez, J., Ahumada, D., Mendez-Sandoval, C., & Moreira, F. (2023). Emo-mirror: a proposal to support emotion recognition in children with autism spectrum disorders. *Neural Computing and Applications*, 35(11), 7913–7924. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06592-5>
- Rasheed, M. A., Chand, P., Ahmed, S., Sharif, H., Hoodbhoy, Z., Siddiqui, A., & Hasan, B. S. (2021). Use of artificial intelligence on Electroencephalogram (EEG) waveforms to predict failure in early school grades in children from a rural cohort in Pakistan. *PLoS ONE*, 16(2), e0246236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246236>
- Reismann, J., Romualdi, A., Kiss, N., Minderjahn, M. I., Kallarackal, J., Schad, M., & Reismann, M. (2019). Diagnosis and classification of pediatric acute appendicitis by artificial intelligence methods: An investigator-independent approach. *PLoS ONE*, 14(9), e0222030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222030>
- Seo, H., Hwang, J. J., Jung, Y. H., Lee, E., Nam, O. H., & Shin, J. (2023). Deep focus approach for accurate bone age estimation from lateral cephalogram. *Journal of Dental Sciences*, 18(1), 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.07.018>
- Shekhar, R., Vanama, G., John, T., Issac, J., Arjoune, Y., & Doroshov, R. W. (2022). Automated identification of innocent Still's murmur using a convolutional neural network. *Frontiers in Pediatrics*, 10, 923956. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.923956>
- Shi, Y., Fu, J., Zeng, M., Ge, Y., Wang, X., Xia, A., Shen, W., Wang, J., Chen, W., Jiang, S., & Zhai, X. (2023). Information technology and artificial intelligence support in management experiences of the pediatric designated hospital during the COVID-19 epidemic in 2022 in Shanghai. *Intelligent Medicine*, 3(1), 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.imed.2022.08.002>
- Sierra, I., Díaz-Díaz, N., Barranco, C., & Carrasco-Villalón, R. (2022). Artificial Intelligence-Assisted Diagnosis for Early Intervention Patients. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(18), 8953. <https://doi.org/10.3390/app12188953>
- Tragomalou, A., Moschonis, G., Manios, Y., Kassari, P., Ioakimidis, I., Diou, C., Stefanopoulos, L., Lekka, E., Maglaveras, N., Delopoulos, A., & Charmandari, E. (2020). Novel e-health applications for the management of cardiometabolic risk factors in children and adolescents in greece. *Nutrients*, 12(5), 1380. <https://doi.org/10.3390/nu12051380>
- Vaezipour, N., Fritschi, N., Brasier, N., Bélard, S., Domínguez, J., Tebruegge, M., Portevin, D., & Ritz, N. (2022). Towards Accurate Point-of-Care Tests for Tuberculosis in Children. *Pathogens*, 11(3), 327. <https://doi.org/10.3390/pathogens11030327>

- Vaquerizo-Villar, F., Gutiérrez-Tobal, G. C., Calvo, E., Álvarez, D., Kheirandish-Gozal, L., del Campo, F., Gozal, D., & Hornero, R. (2023). An explainable deep-learning model to stage sleep states in children and propose novel EEG-related patterns in sleep apnea. *Computers in Biology and Medicine*, 165(August), 107419. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.107419>
- Villegas-Ch, W., Urbina-Camacho, I., & García-Ortiz, J. (2023). Detection of Abnormal Patterns in Children's Handwriting by Using an Artificial-Intelligence-Based Method. *Informatics*, 10(2), 52. <https://doi.org/10.3390/informatics10020052>
- von Elling-Tammen, L., Stark, C., Wloka, K. R., Alberg, E., Schoenau, E., & Duran, I. (2023). Predicting Gross Motor Function in Children and Adolescents with Cerebral Palsy Applying Artificial Intelligence Using Data on Assistive Devices. *Journal of Clinical Medicine*, 12(6), 2228. <https://doi.org/10.3390/jcm12062228>
- Wall, D. P., Liu-Mayo, S., Salomon, C., Shannon, J., & Taraman, S. (2023). Optimizing a de novo artificial intelligence-based medical device under a predetermined change control plan: Improved ability to detect or rule out pediatric autism. *Intelligence-Based Medicine*, 8(June), 100102. <https://doi.org/10.1016/j.ibmed.2023.100102>
- Wang, J., Dou, J., Han, J., Li, G., & Tao, J. (2023). A population-based study to assess two convolutional neural networks for dental age estimation. *BMC Oral Health*, 23(1), 109. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02817-2>
- Wu, T. J., Tsai, C. L., Gao, Q. Z., Chen, Y. P., Kuo, C. F., & Huang, Y. H. (2022). The Application of Artificial-Intelligence-Assisted Dental Age Assessment in Children with Growth Delay. *Journal of Personalized Medicine*, 12(7), 1158. <https://doi.org/10.3390/jpm12071158>
- Wu, Y., Zhao, S., Yang, X., Yang, C., Shi, Z., Liu, Q., Wang, Y., Qin, M., & Zhang, L. (2022). Ultrasound Lung Image under Artificial Intelligence Algorithm in Diagnosis of Neonatal Respiratory Distress Syndrome. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2022/1817341>
- Xu, W., Shu, L., Gong, P., Huang, C., Xu, J., Zhao, J., Shu, Q., Zhu, M., Qi, G., Zhao, G., & Yu, G. (2022). A Deep-Learning Aided Diagnostic System in Assessing Developmental Dysplasia of the Hip on Pediatric Pelvic Radiographs. *Frontiers in Pediatrics*, 9(March), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.785480>
- Yang, Q., Hu, D., Wang, T., Cao, J., Dong, F., Gao, W., Jiang, T., & Gao, F. (2022). Childhood epilepsy syndromes classification based on fused features of electroencephalogram and electrocardiogram. *Cognitive Computation and Systems*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.1049/ccs2.12035>
- Yasin, S., Draz, U., Ali, T., Shahid, K., Abid, A., Bibi, R., Irfan, M., Huneif, M. A., Almedhesh, S. A., Alqahtani, S. M., Abdulwahab, A., Alzahrani, M. J., Alshehri, D. B., Abdullah, A. A., & Rahman, S. (2022). Automated Speech Recognition System to Detect Babies' Feelings through Feature Analysis. *Computers, Materials and Continua*, 73(2), 4349–4367. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.028251>

- Zhang, Q., & Wan, N. J. (2022). Simple Method to Predict Insulin Resistance in Children Aged 6–12 Years by Using Machine Learning. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, 15(September), 2963–2975. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S380772>
- Zhao, X., Zhang, M., Cheng, M., Yue, X., Li, W., & Li, C. (2022). Construction of artificial intelligence system of carpal bone age for Chinese children based on China-05 standard. *Medical Physics*, 49(5), 3223–3232. <https://doi.org/10.1002/mp.15554>

Técnicas Baseadas em Refatoração para resolver *Requirements Smells*

Rafael Nascimento¹, Francisco Neto², Fernada Alencar³, Ricardo Ramos⁴,
Eduardo Aranha¹ e Márcia Lucena¹

rafael.jullian@gmail.com; miltonmendes@ufersa.edu.br; fernandaalenc@gmail.com;
ricardo.aramos@univasf.edu; eduardo.aranha@ufrn.br; marciaj@dimap.ufrn.br

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

³ Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil

⁴ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, Pernambuco, Brasil

DOI: 10.17013/risti.55.110–123

Resumo: A Especificação de Requisitos de Linguagem Natural é a tipo mais comum de documentação usada no desenvolvimento de sistemas. No entanto, a Linguagem Natural, devido à má escrita, pode gerar ambiguidade e outros defeitos que acabam comprometendo os critérios de qualidade de requisitos como compreensão, clareza, completude e outros. *Requirements Smells* são problemas de escrita na especificação de requisitos de linguagem natural. No entanto, não existem estudos sobre formas sistemáticas de corrigir *Requirements Smells* e garantir a Qualidade dos Requisitos. O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de Técnicas de Refatoração para corrigir *Requirements Smells* e garantir os Critérios de Qualidade. As técnicas de refatoração foram desenvolvidas seguindo o modelo proposto por Martin Fowler para refatoração de código. Espera-se que as aplicações das técnicas possam ser eficazes, trazendo diversos benefícios como a melhoria da qualidade.

Palavras-chave: Requisitos em Linguagem Natural, *Requirements Smells*, Refatoração, Requisitos de Qualidade.

Towards Refactoring-Based Techniques to resolve Requirements Smells

Abstract: Natural Language Requirements Specification is the most common type of documentation used in systems development. However, Natural Language, due to poor writing, can generate ambiguity and other defects that end up compromising Quality Criteria of requirements such as understanding, clarity, completeness and others. Requirements Smells are writing problems in the Natural Language Requirements specification. However, there are no studies on systematic ways to correct Requirements Smells and guarantee the Requirements Quality. The objective of this work consists in the development of Refactoring to

correct symptoms of Requirements Smells and guarantee the Quality Criteria. The Refactoring Techniques were developed following the model proposed by Martin Fowler for code refactoring. It is expected that the use of Refactoring Techniques can be effective, bringing several benefits such as the quality improvement.

Keywords: Requirements Natural Language, *Requirements Smells*, Refactoring, Requirement's Quality.

1. Introdução

A Engenharia de Requisitos tem como principal função capturar, documentar e gerenciar requisitos, e demais informações relevantes, que serão utilizados para a construção de sistemas que atendam às necessidades dos clientes (Pohl, 2016; Soto, 2023; Vera et al., 2024). Logo, é imprescindível que os requisitos sejam capturados e documentados da melhor maneira possível, prezando-se pela qualidade das informações.

O padrão de documentação de requisitos mais utilizado é em Linguagem Natural. Todavia, apesar da praticidade de não ter de aprender uma nova notação, ela é susceptível a erros que causam ambiguidade, falta de entendimento e clareza, por exemplo (Pohl, 2016). Os pesquisadores (Femmer et al., 2014, 2017) identificaram padrões de má escrita em Requisitos em Linguagem Natural que comprometem negativamente Critérios de Qualidade e outras atividades no desenvolvimento de software. Analisando estes padrões de má escrita, (Femmer et al., 2014) desenvolveram um catálogo sobre *Requirements Smells*. Nesse catálogo são descritos vários tipos de Smells que afetam Critérios de Qualidade de Requisitos em Linguagem Natural. O catálogo e os Critérios de Qualidade foram desenvolvidos a partir do padrão IEEE/IEC 29148, que descrever uma Taxonomia de Qualidade para Requisitos em Linguagem Natural (ISO/IEC/IEEE 29148, 2018).

Entretanto, apesar da literatura abordar trabalhos sobre a identificação de *Requirements Smells* em diversos projetos de sistemas e vários tipos de artefatos em linguagem natural, não há indícios de trabalhos que investigam técnicas para corrigir problemas de Smells em Requisitos em Linguagem Natural e garantir Critérios de Qualidade. Portanto, baseado nas abordagens de refatoração propostas por (Fowler, 2020; Russo et al., 1998), este trabalho propõe o desenvolvimento de técnicas de refatoração para resolver problemas de *Requirements Smells* em Requisitos em Linguagem Natural e garantir Critérios de Qualidade para diminuir, total ou parcialmente, impactos negativos em atividades que dependem destes artefatos de requisitos. A ideia é que esses mecanismos sirvam de guias para facilitar o trabalho dos praticantes de requisitos em atividades de análise e correção de requisitos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção de 2, são expostos o Referencial Teórico; na seção 3, são descritos os Trabalhos Relacionados usados como base para o desenvolvimento desta pesquisa; na seção 4, são descritos a Metodologia de Pesquisa e as Técnicas de Refatoração desenvolvidas e aplicadas a correção de *Requirements Smells*; na seção 5, são feitas discussões em relação ao aprendizado adquirido no processo de desenvolvimento das Técnicas de Refatoração; na seção 6, são discutidas as limitações que impactaram o desenvolvimento deste trabalho; e na seção 7, são descritas as Considerações Finais sobre o objetivo e a relevância deste trabalho.

2. Referencial Teórico

2.1. Requirements Smells

Segundo (Femmer et al., 2017), os *Requirements Smells* são sintomas de má escrita de Requisitos em Linguagem Natural. Esta escrita inadequada compromete Critérios de Qualidade nos requisitos, que consequentemente podem impactar atividades no desenvolvimento de sistemas que dependem destas informações, como: projeto arquitetural, desenvolvimento de código, planos de testes. Além disso, Henning Femmer investigou a norma *ISO/IEEE/IEC 29148* para desenvolver uma Taxonomia de Critérios de Qualidade para Requisitos em Linguagem Natural, de forma individual e coletiva, servindo de parâmetro para os impactos negativos produzidos na má escrita (ISO/IEC/IEEE 29148, 2018). Nesta pesquisa foi utilizado o catálogo de *Requirements Smells* descrito no trabalho de (Nascimento et al., 2018), que fez um Mapeamento Sistemático da Literatura, fazendo uma extensão no catálogo de Henning Femmer:

1. **Adjetivos e Advérbios Ambíguos:** são adjetivos e advérbios que geram ambiguidade na compreensão dos requisitos. Exemplo: Se a qualidade (...) for muito baixa, um registro de falha deve ser armazenado.
2. **Pronomes Vagos:** são pronomes que fazem referência vaga à 3ª pessoa do discurso. Exemplo: O software deve implementar serviços para aplicativos, que devem se comunicar com os aplicativos do controlador implantados em outros controladores.
3. **Linguagem Subjetiva:** são palavras cuja semântica não é objetiva. Exemplos: amigável, fácil de usar, econômico.
4. **Adjetivos Comparativos:** são advérbios e adjetivos, onde os requisitos expressam uma relação do sistema com outros sistemas específicos. Exemplo: melhor que, maior qualidade.
5. **Adjetivos Superlativos:** são advérbios e adjetivos, onde os requisitos expressam uma relação do sistema com todos os outros sistemas. Exemplo: melhor desempenho, menor tempo de resposta.
6. **Sentenças Negativas:** são sentenças usadas em funcionalidades que o sistema não deve fornecer, mas sem justificar o motivo. Exemplo: o sistema não deve aceitar cartões de crédito VISA.
7. **Termos Não Verificáveis:** são palavras difíceis de verificar por oferecer várias possibilidades de ações do sistema. Exemplo: O sistema só pode ser ativado se todos os sensores necessários (...) trabalharem com medição suficiente.
8. **Brechas:** são palavras que possibilitam os stakeholders ignorar as especificações. Exemplos: se possível, conforme apropriado, conforme aplicável.
9. **Referências Incompletas:** São referências que o leitores não conseguem encontrar.
10. **Voz Passiva:** Caracterizada por requisitos onde não está claro o ator que está desempenhando uma determinada ação no sistema.
11. **Funcionalidade Duplicada:** São descrições de ações entre sistemas e atores, repetidas em vários requisitos.

2.2. Refatoração de Requisitos

Para (Russo et al., 1998), refatoração de requisitos consiste na reestruturação da escrita de Requisitos em Linguagem Natural para corrigir, de forma sistematizada, problemas que afetam a sua qualidade. Trazendo alguns benefícios, como: encontrar falhas; tornar os requisitos legíveis; melhorar o projeto de software e facilitar a programação (Opdyke, 1992; Ramos et al., 2007; Russo et al., 1998). Assim, (Opdyke, 1992) descreve que a refatoração é composta de duas etapas. Na etapa de pré-condições, são estabelecidas as condições necessárias para que o artefato esteja correto. Na etapa de pós-condições, é verificado se o artefato atingiu a corretude necessária após as transformações aplicadas. Para (Mens & Tourwé, 2004), a refatoração, adaptado para artefatos de requisitos, deve seguir seis etapas distintas:

- **Identificar o/os artefatos para refatoração:** neste casos, são os artefatos de requisitos de software.
- **Determinar as refatorações aplicadas:** aplicar as técnicas mais adequadas para os respectivos problemas de inconsistência identificados;
- **Garantir a qualidade:** estabelecer quais as pré-condições e pós-condições em relação aos Critérios de Qualidade para requisitos (Ramos et al., 2007);
- **Aplicar a refatoração:** que pode ser aplicada de forma manual ou automatizada;
- **Verificar a garantia da qualidade:** observar se os Critérios de Qualidade foram garantidos;

Manter a consistência com outros artefatos: os demais artefatos devem ser atualizados para se manter a consistência com os artefatos de requisitos.

Nesta pesquisa foram considerados somente 5 etapas, pois não fez parte do escopo do nosso trabalho manter a consistência dos artefatos de requisitos com outros artefatos de desenvolvimento de software.

3. Trabalhos Relacionados

Observa-se uma lacuna na literatura no que se refere a trabalhos focados na refatoração de Requisitos em Linguagem Natural afetados por *Requirements Smells*. No entanto, os trabalhos relacionados serviram de norte para compreender os benefícios da refatoração de requisitos e de inspiração para o desenvolvimento das técnicas propostas nesta pesquisa.

No trabalho de (Russo et al., 1998) foram desenvolvidas Técnicas de Refatoração para especificações de Requisitos em Linguagem Natural. Os autores recomendam decompor requisitos em estruturas denominadas pontos de visão, que encapsulam requisitos parciais de componentes de software e suas interações. Tem como benefício melhorar o entendimento, facilitar a detecção de inconsistências e gerenciar a evolução dos requisitos.

No trabalho de (Ramos et al., 2007) foram desenvolvidas Técnicas de Refatoração de Requisitos em Linguagem Natural, baseado em Cenários de Casos de Uso. Eles consideram

que requisitos inadequados, chamados de *Bad Smells*, propagam problemas para as fases subsequentes no desenvolvimento de software, comprometendo a manutenção. As Técnicas de Refatoração foram desenvolvidas baseadas no modelo proposto por (Fowler, 2020). Além disso, mais de uma técnica pode ser usada para uma *Bad Smells* diferente: Extrair Requisitos, para o problema de Requisitos Grandes e Estrutura Condicional Complexa; Renomear Requisitos, para o Problema de Nomenclatura; Mover Atividades, para o problema de Requisitos Grandes, Estrutura Condicional Complexa e *Lazy Requirements*.

No trabalho de (Minuzzi, 2007) foi desenvolvido uma ferramenta para refatoração de *Story Cards*. Os artefatos são mapeados e transformados em diagrama de classes, depois analisados para validar se necessitam de refatoração ou não. Os mecanismos de refatoração são compostos de um conjunto de ontologias, propriedades OWL, conjunto de regras, pré e pós-condições.

No trabalho de (Rago et al., 2014) foi desenvolvido uma ferramenta, baseada em Processamento de Linguagem Natural, para refatorar Descrições de Casos de Uso. Foram desenvolvidas 8 técnicas de refatoração que são categorizadas em níveis baixo, médio e alto em relação a priorização para correção dos problemas de violação estrutural das Descrições de Casos de Uso e problemas de funcionalidades duplicadas.

No trabalho de (Sarmiento-Calisaya et al., 2020) foi desenvolvido uma ferramenta, baseado em Processamento de Linguagem Natural e Redes de Petri, para analisar Descrições de Casos de Uso baseados no *template* Cockburn (Cockburn, 2001). A ferramenta foi utilizada para detectar problemas de ambiguidade, completude e inconsistência de *template*. Logo, a ferramenta sugere refatorações de acordo com os problemas de escrita relacionados com as violações de *template*.

No trabalho de (Irshad et al., 2022) foi desenvolvido uma abordagem para refatorar especificações de requisitos com *template Behavior-driven Development* (BDD). Neste trabalho, são desenvolvidas 4 técnicas de refatoração usadas para corrigir problemas relacionados com similaridades de aspectos em especificações BDD: etapas, parâmetros, funcionalidades. Concluem que uma maior diversidade de especificações em BDD resultam em uma maior cobertura de funcionalidades de produtos.

No trabalho de (Farrell et al., 2022) foi desenvolvido uma ferramenta para refatoração de requisitos baseados no *template* FRETISH. O *template* FRETISH é usado para especificação de Requisitos em Linguagem Natural usando Lógica Temporal. Os adaptaram 4 técnicas de refatoração de código para refatorar requisitos. Estas técnicas de refatoração foram usadas para corrigir as violações no mau uso do *template* e que comprometem a qualidade da especificação.

Conforme pode ser observado, pesquisas vem sendo desenvolvidas com o objetivo de propor soluções, baseadas em refatoração, para correção de problemas de escrito em Requisitos em Linguagem Natural. Estas pesquisas propõem soluções para requisitos em Descrições de Casos de Uso, BDD, Cockburn e FRETISH. Nosso trabalho tem como foco a refatoração de *Requirements Smells* presentes em Requisitos em Linguagem Natural sem uso de *templates*.

4. Metodologia de Pesquisa

Nesta pesquisa, toma-se como pressuposto que: *Requirements Smells* são problemas de escrita que afetam a qualidade dos requisitos e de atividades subsequentes; Técnicas de Refatoração têm sua eficácia comprovada pela literatura (Fowler, 2020) para o tratamento de anomalias de código; e a Refatoração de Requisitos, traz benefícios para a qualidade da escrita de requisitos e para a sua evolução. Assim, busca-se neste estudo explorar o desenvolvimento de Técnicas de Refatoração para resolver *Requirements Smells*. Assim, foi realizado um Estudo Exploratório envolvendo a construção das Técnicas de Refatoração e a sua aplicação em conjunto de Histórias de Usuário. Analisando quais são os Critérios de Qualidade para Requisitos em Linguagem Natural, que são afetados por cada *Requirements Smells*.

Portanto, foi analisado o trabalho de (Nascimento et al., 2021), que fez um mapeamento entre cada *Requirements Smells* e os Critérios de Qualidade afetados. Neste estudo, foi realizada uma ampliação da Taxonomia de Critérios de Qualidade, desenvolvida por (Femmer et al., 2017), para cobrir Critérios de Qualidade para Histórias de Usuários:

- **Mínima:** é caracterizada pela presença dos componentes básicos da estrutura de um requisito;
- **Navegável:** caracterizada por links e/ou referências para acessar informações complementares aos requisitos;
- **Orientada ao Problema:** se refere ao requisito possuir informações sobre o problema ou necessidade do cliente;
- **Não Ambíguo:** quando o requisito possui somente uma interpretação;
- **Livre de Conflito:** quando não existe duplicidade ou conflito de funcionalidades entre os requisitos;
- **Estimável:** está relacionada com o tamanho do requisito e o seu nível de complexidade;
- **Única:** quando um requisito não está duplicado na documentação;
- **Uniforme:** quando os requisitos seguem uma mesma estrutura de escrita;
- **Completo:** os requisitos possuem todas as informações necessárias dentro de si ou outras referências;
- **Negociável:** os requisitos descrevem total ou parcialmente o valor de negócio;
- **Valioso:** os requisitos entregam valor ao cliente;
- **Testável:** os requisitos possuem informações necessárias para estabelecer parâmetros e métricas para testes;

Após analisar o trabalho de (Nascimento et al., 2021) sobre como as *Requirements Smells* comprometem a qualidade, foi analisado o modelo proposto por (Fowler, 2020) para construção de técnicas de refatoração. Este modelo segue a seguinte estrutura:

1. **Nome:** nome da técnica de refatoração;
2. **Contexto:** descrição da Smell que deve ser refatorada;
3. **Motivação:** descrição dos impactos negativos da Smell para as questões de qualidade;

4. **Procedimento:** descrição sistemática das etapas de como deve ser feita a refatoração da Smell;

Assim, foi desenvolvido uma Técnica de Refatoração para cada *Requirements Smells*, onde cada técnica possui o nome de cada *Requirements Smells* correspondente. É importante frisar que, o uso das Técnicas de Refatoração dependem das decisões tomadas pelos praticantes de requisitos junto com os *stakeholders* em reuniões de negociação. Porque, são os usuários que devem disponibilizar as informações necessárias para que os praticantes, com o uso das Técnicas de Refatoração, façam a correção adequada dos requisitos (Pohl, 2016; Sommerville et al., 2011; Soto, 2023; Vera et al., 2024).

Os exemplos mencionados aqui são de artefatos de Histórias de Usuário do projeto *SmartHome*; um projeto de Casa Inteligente onde os requisitos foram capturados de um conjunto de *stakeholders*, para serem utilizados em pesquisas para automatização de requisitos (Murukannaiah et al., 2017). Estes artefatos foram traduzidos para o Português, idioma nativo dos autores, e afetados por *Requirements Smells* (infelizmente, a literatura carece de artefatos afetados por *Requirements Smells* disponíveis publicamente para pesquisas). A seguir serão descritas as Técnicas de Refatoração para *Requirements Smells*.

Substituição de Adjetivos e Advérbios Ambíguos

Contexto: a *Smell* Adjetivos e Advérbios Ambíguos é caracterizada pelo uso inadequado do conjunto de adjetivos e/ou advérbios, gerando ambiguidade na interpretação das informações.

Solução: substituir os adjetivos e advérbios ambíguos por numerais ou detalhamento das informações.

Motivação: a *Smell* compromete as Estimativas e Testes, pois não é possível mensurar as palavras ambíguas. Compromete a Completude, devido as várias interpretações de informações. Compromete a Negociação e o Valor, devido a ausência de compreensão da necessidade do cliente.

Mecanismos: as seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar o adjetivo e/ou advérbio ambíguo.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.
3. Se o adjetivo e/ou advérbio ambíguo está relacionado com quantidade ou qualidade, então substituir por quantificadores numéricos. Se geram ambiguidade pela ausência de informações, então acrescentar as informações necessárias.
4. Verificar se a ambiguidade foi removida.

Requisito Infectado: Como morador, quero que a minha *SmartHome* possa apagar as luzes quando estiver **muito tarde**.

Requisito Refatorado: Como morador, quero que a minha *SmartHome* possa apagar as luzes quando for **10:00PM**.

Substituição de Pronomes Vagos

Contexto: os Pronomes Vagos são pronomes com relações pouco claras, ou seja, pronomes indefinidos independente de sua classificação.

Solução: neste caso a melhor alternativa é alterar a posição das orações na frase.

Motivação: a *Smell* gera Ambiguidade pela várias interpretações sobre qual sujeito está tendo relação com o pronome. Compromete a Negociação e o Valor, devido a ausência de compreensão da necessidade do cliente.

Mecanismos: as seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar o Pronome Indefinido.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.
3. Se a sentença não possui sujeito, então colocar o sujeito na oração e substituir o pronome indefinido por um pronome definido correspondente ao sujeito da sentença ou reestruturar a frase. Se a sentença possui um sujeito, então substituir o pronome indefinido por um pronome definido correspondente ou reestruturar a frase. Se a sentença possui mais de uma palavra candidata a sujeito do pronome indefinido, então selecionar a palavra que será o sujeito, reestruturar a sentença ou substituir o pronome indefinido por um pronome definido e reestruturar a sentença.
4. Verificar se a ambiguidade foi removida.

Requisito Infectado: Como morador, quero que a minha SmartHome sincronize com o meu aplicativo de batimentos cardíacos, **onde** possa ativar uma música para se adequar ao meu humor quando eu chego do trabalho.

Requisito Refatorado: Como morador, quero que a minha SmartHome **possa ativar uma música** sincronizando com o meu aplicativo de batimentos cardíacos, para se adequar ao meu humor quando eu chego do trabalho.

Substituição de Linguagem Subjetiva

Contexto: a Linguagem Subjetiva ocorre quando são usados termos que passam a ideia de subjetividade das informações, ou seja, palavras que descrevem emoções, sentimentos ou expressam opinião pessoal.

Solução: trocar as palavras que geram subjetividade por palavras que passam a ideia de objetividade.

Motivação: a *Smell* compromete as Estimativas e Testes, pois não é possível mensurar as palavras ambíguas, a Completude e a Ambiguidade, pois leva a várias interpretações ou ausência de informações, a Negociação e o Valor, devido a ausência de compreensão da necessidade do cliente.

Mecanismos: as seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar o termo que gera Linguagem Subjetiva.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.

3. Substituir este(s) termo(s) por termo(s) com Linguagem Objetiva (uso de quantificadores numéricos, por exemplo). Ou adicionar informações objetivas relacionadas com a Linguagem Subjetiva.
4. Verificar se a Linguagem Subjetiva foi removida ou corrigida.

Requisito Infectado: Como morador, eu quero que a minha *SmartHome* avise quando o chuveiro aquecer na temperatura **adequada**.

Requisitos Refatorado: Como morador, eu quero que a minha *SmartHome* avise quando o chuveiro aquecer na temperatura de **30°C**.

Substituição de Adjetivos e Advérbios Comparativos

Contexto: os Adjetivos e Advérbios Comparativos ocorrem quando são utilizados adjetivos e advérbios para expressar relação de comparação do sistema com outro sistema.

Solução: substituir os adjetivos/advérbios de comparação, remover a sentença de comparação com outro sistema e reestruturar a sentença utilizando linguagem objetiva.

Motivação: a *Smell* compromete as Estimativas e Testes, pois não é possível mensurar as palavras ambíguas, a Completude e Ambiguidade, pois leva a várias interpretações ou ausência de informações, a Negociação, o Valor e Orientação ao Problema, devido a ausência de compreensão da necessidade do cliente.

Mecanismos: as seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar o adjetivo/advérbio Comparativo.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.
3. Remover o adjetivo/advérbio e a sentença de Comparativo.
4. Reestruturar a sentença, usando uma Linguagem Objetiva, adicionando informações sobre o problema.
5. Verificar se o Comparativo foi removido.

Requisito Infectado: Como morador, eu quero que a minha *SmartHome* tenha aspersores automáticos **melhores que** os aspersores automáticos da *SmartHome X*.

Requisito Refatorado: Como morador, eu quero que a minha *SmartHome* tenha aspersores automáticos de **tecnologia Y e versão 1.Y**.

Substituição de Sentenças Negativas

Contexto: as Sentenças Negativas são palavras usadas em funcionalidades que o sistema não deve fornecer, e onde falta de explicação sobre o comportamento do sistema em tais casos.

Solução: reestruturar a frase com as palavras sobre a funcionalidade que o sistema deve fornecer, ou acrescentar informações justificando o comportamento que o sistema não deve fornecer.

Motivação: a *Smell* compromete a Negociação e o Valor, devido a ausência de compreensão da necessidade do cliente. Pode gerar Conflito com outros requisitos, que

possuam a mesma sentença de forma positiva. Compromete a completude, devido a falta de informações.

Mecanismos: as seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar a Sentença Negativa.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.
3. Se a sentença não possui informações justificando a negação do comportamento do sistema, então acrescentar informações justificando o comportamento que o sistema não deve fornecer. Caso contrário, remover o requisito.
4. Verificar se a Sentença Negativa foi removida ou corrigida.

Requisito Infectado: Como morador, eu quero que a *SmartHome* **não** desative o controle de temperatura.

Requisito Refatorado: Como morador, eu quero que a *SmartHome* não desative o controle de temperatura, **porque** o sistema precisa monitorar de forma contínua a presença de pessoas ou animais na casa.

Substituição de Termos Não Verificáveis

Contexto: os Termos Não Verificáveis ocorre quando são utilizadas palavras que são difíceis de verificar, pois oferecem várias possibilidades de execução do sistema, ou que possuem várias interpretações.

Solução: substituir os Termos Não Verificáveis por termos objetivos ou colocar a descrição sobre o termo utilizado.

Motivação: a *Smell* compromete as Estimativas e Testes pois não é possível mensurar as palavras ambíguas. Compromete a Completude e Ambiguidade, devido as várias interpretações ou ausência de informações. Compromete a Negociação e o Valor, devido a ausência de compreensão da necessidade do cliente. Compromete a navegabilidade caso o Termo Não Verificável seja um termo técnico, que precisa de uma referência complementar para melhorar o entendimento.

Mecanismos: as seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar o Termo Não Verificável.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.
3. Se o Termo Não Verificável é um termo técnico, então acrescentar informações complementares ou adicionar citação ou *link* para referência complementar. Se o Termo Não Verificável não é um termo técnico, então substituir este termo por um termo verificável (por exemplo, quantificadores numericos) ou acrescentar informações complementares.
4. Verificar se o Termo Não Verificável foi removido ou corrigido.

Requisito Infectado: Como morador, eu quero que a *SmartHome* realize o controle da temperatura **a qualquer momento**.

Requisito Refatorado: Como morador, eu quero que a *SmartHome* realize o controle da temperatura a **cada 1 minuto**.

Substituição de Voz Passiva

Contexto: a Voz Passiva corresponde a ausência do ator que está desempenhando uma determinada ação no sistema.

Solução: substituir Voz Passiva por Voz Ativa.

Motivação: a *Smell* gera Ambiguidade e Incompletude devido o sujeito da ação está oculto e gerar várias interpretações. Compromete a necessidade e o valor devido as várias interpretações sobre a necessidade do usuário.

Mecanismos: As seguintes atividades devem ser desempenhadas:

1. Localizar o sujeito paciente e a agente da passiva. Caso o agente da passiva não exista, neste caso ele sempre será o sistema.
2. Consultar o *Stakeholder* ou fornecedor do requisito para obtenção da informação correta.
3. Transformar o sujeito paciente em objeto direto e a agente da passiva em sujeito agente.
4. Substituir a locução verbal (caracterizada por verbos no particípio) por verbo no pretérito perfeito do indicativo.
5. Verificar se a Voz Passiva foi removida.

Requisito Infectado: Como morador, eu quero **ser notificado** quando alguém que não seja um membro da família ou outra pessoa de confiança estiver perto de minha casa.

Requisito Refatorado: Como morador, eu quero que a *SmartHome* me notifique por mensagem no celular quando alguém que não seja um membro da família ou outra pessoa de confiança estiver perto de minha casa.

5. Discussão sobre a Pesquisa

O que podemos analisar em relação ao desenvolvimento das Técnicas de Refatoração, é de que exige um conhecimento prévio sobre a Gramática da Língua Portuguesa. Estes conhecimentos envolvem: definições sobre as classes gramaticais, interpretação de texto e vícios de linguagem. Além disso, foi necessária a compreensão de estruturas gramaticais cuja semântica afetam Critérios de Qualidade; como por exemplo, uso de comparativos e superlativos.

Também, para o desenvolvimento dos mecanismos de correção, de forma sistematizada, foi necessária a compreensão de como corrigir os problemas gramaticais nos seus níveis léxico, sintático e semântico, por meio da compreensão das regras gramaticais. Para que a correção das sentenças possam garantir os Critérios de Qualidade para Requisitos em Linguagem Natural e possam manter a coesão gramatical.

Assim, observamos que o nível de correção realizado pelos praticantes de requisitos dependerá do nível de compreensão da gramática e de informações relacionadas

com os requisitos disponibilizados pelos stakeholders para realização das atividades de especificação. Portanto, os mecanismos de correção oferecem orientações de quais elementos gramaticais devem ser reestruturados ou substituídos. Ficando na responsabilidade do praticante de requisitos quais novas informações deverão ser acrescentadas.

6. Limitações do Trabalho

A principal limitação deste trabalho diz respeito à ausência, na literatura, de documentações de requisitos afetadas por *Requirements Smells*, principalmente de sistemas reais da indústria. Por isso, foi necessário selecionar alguns requisitos do sistema *SmartHome* e gerar novas versões contendo *Requirements Smells* para utilizarmos como exemplo nesta pesquisa. A outra limitação se deve a ausência de documentação de requisitos, em Português, disponíveis na literatura. Assim sendo necessária a tradução dos requisitos do Inglês para o Português, gerando mudança na estrutura gramatical, de modo que a criação dos mecanismos de refatoração vão seguir a estrutura gramatical do idioma de tradução. A outra limitação está relacionada com a validação das técnicas que refatoração, mas que será solucionado em trabalhos futuros.

7. Considerações Finais

Neste contexto, a ausência de mecanismos para correção de *Requirements Smells* disponíveis na literatura motivou o desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, estudos correlatos justificando os benefícios do uso da refatoração de requisitos serviram de norte como métodos de correção, mostrando que técnicas de refatorações são soluções eficazes para melhoria da qualidade dos requisitos. Este trabalho propõe mecanismos de técnicas de refatoração para *Requirements Smells*, com o objetivo de resolver os problemas e garantir a qualidade dos requisitos. As técnicas seguem o modelo proposto por Martin Fowler, de modo que o usuário das técnicas possa compreender qual o tipo de *Smell* cada técnica atacar e quais os impactos na qualidade da especificação cada *Smell* compromete. Assim, o usuário pode verificar os exemplos para compreender melhor o uso das técnicas e verificar como fazer uso dos mecanismos. A ideia é que estas técnicas possam beneficiar praticantes de requisitos no seu cotidiano na análise, correção e negociação dos requisitos. Como trabalhos futuros, está a aplicação de estudos de casos envolvendo praticantes de requisitos, para avaliarmos a viabilidade das técnicas de refatoração em projetos reais.

Referências

- Cockburn, A. (2001). Writing effective use cases. Pearson Education India. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/517669>
- Farrell, M., Luckcuck, M., Sheridan, O., & Monahan, R. (2022). Towards Refactoring FRETish Requirements. In Proceedings of NASA Formal Methods: 14th International Symposium, NFM 2022, Pasadena, CA, USA, May 24–27, 2022, , (pp. 272–279). https://doi.org/10.1007/978-3-031-06773-0_14

- Femmer, H., Fernández, D. M., Juergens, E., Klose, M., Zimmer, I., & Zimmer, J. (2014). Rapid requirements checks with requirements smells: two case studies. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering*, (pp. 10–19). <http://dx.doi.org/10.1145/2593812.2593817>
- Femmer, H., Fernández, D. M., Wagner, S., & Eder, S. (2017). Rapid quality assurance with requirements smells. *Journal of Systems and Software*, 123, 190–213. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.02.047>
- Fowler, M. (2020). *Refatoração: Aperfeiçoando o design de códigos existentes*. Novatec Editora.
- Irshad, M., Börstler, J., & Petersen, K. (2022). Supporting refactoring of BDD specifications—An empirical study. *Information and Software Technology*, 141, 106717. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106717>
- ISO/IEC/IEEE 29148. (2018). *ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering..* <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2018.8559686>
- Mens, T., & Tourwé, T. (2004). A survey of software refactoring. *IEEE Transactions on software engineering*, 30(2), 126–139. <https://doi.org/10.1109/TSE.2004.1265817>
- Minuzzi, T. da S. (2007). *Ustory-Refactory: ferramenta de refatoração de requisitos aplicada em cartões user stories (CRC Cards)*. [Tese de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade Vale do Rio dos Sinos]. Repositório UNISINOS. <https://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/2242>
- Murukannaiah, P. K., Ajmeri, N., & Singh, M. P. (2017). Toward automating crowd RE. 2017 IEEE 25th International Requirements Engineering Conference (RE), 512–515. <http://dx.doi.org/10.1109/re.2017.74>
- Nascimento, R., Aranha, E., Kulesza, U., & Lucena, M. (2018). Requirements Smells como indicadores de má qualidade na especificação de requisitos: Um Mapeamento Sistemático da Literatura. *WER*. <http://dx.doi.org/10.17771/pucrio.wer.inf2018-40>
- Nascimento, R., Guimarães, E., & Lucena, M. (2021). Requirements Smells como Indicador de Qualidade para Histórias de Usuários: Estudo Exploratório. Em M. L. P. de Menezes Cruz, G. D. S. Hadad, & J. C. Marques (Orgs.), *Anais do WER21 - Workshop em Engenharia de Requisitos*, Brasília, BSB, Brasil, August 23-27, 2021. Editora PUC-Rio. <http://dx.doi.org/10.29327/1298728.24-19>
- Opdyke, W. F. (1992). *Refactoring Object-Oriented Frameworks*. University of Illinois. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/871113>
- Pohl, K. (2016). *Requirements engineering fundamentals: a study guide for the certified professional for requirements engineering exam-foundation level-IREB compliant*. Rocky Nook, Inc. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1869735>
- Rago, A., Frade, P., Ruiva, M., & Marcos, C. (2014). An Approach for Automating Use Case Refactoring. *Electronic Journal of SADIO*, 13(1), 54–68. <https://ojs.sadio.org.ar/index.php/EJS/article/view/41>

- Ramos, R., Piveta, E. K., Castro, J., Araújo, J., Moreira, A., Guerreiro, P., Pimenta, M. S., & Price, R. T. (2007). Improving the quality of requirements with refactoring. In *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software*, (pp. 141–155). <http://dx.doi.org/10.5753/sbqs.2007.15573>
- Russo, A., Nuseibeh, B., & Kramer, J. (1998). Restructuring requirements specifications for managing inconsistency and change: A case study. In *Proceedings of IEEE International Symposium on Requirements Engineering: RE'98*, (pp. 51–60). <http://dx.doi.org/10.1109/icre.1998.667808>
- Sarmiento-Calisaya, E., Cárdenas, E. H., Cornejo-Aparicio, V., & Alzamora, G. S. (2020). Towards the Improvement of Natural Language Requirements Descriptions: The C&L Tool. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, (pp. 1405–1413). <https://doi.org/10.1145/3341105.3374028>
- Sommerville, I., Melnikoff, S. S. S., Arakaki, R., & de Andrade Barbosa, E. (2011). *Engenharia de software* (Vol. 9). Addison Wesley.
- Soto, W. (2023). Contrato Inteligente para la Gestión de Requerimientos en la Construcción de Software. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (49), 147–160. <https://doi.org/10.17013/risti.49.147-160>
- Vera, R. A. A., Charuf, R. A. S., Mendoza, J. C. D., & Pech, J. P. U. (2024). Factores Sociales y Culturales que Influyen en las Técnicas de Priorización de Requisitos de Software: Un Estudio Secundario. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (53), 53–68. <https://doi.org/10.17013/risti.53.53-68>

Critérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (<http://www.risti.xyz/>).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

El envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (<http://www.risti.xyz/>).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.



Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

©RISTI 2024 <http://www.risti.xyz>

