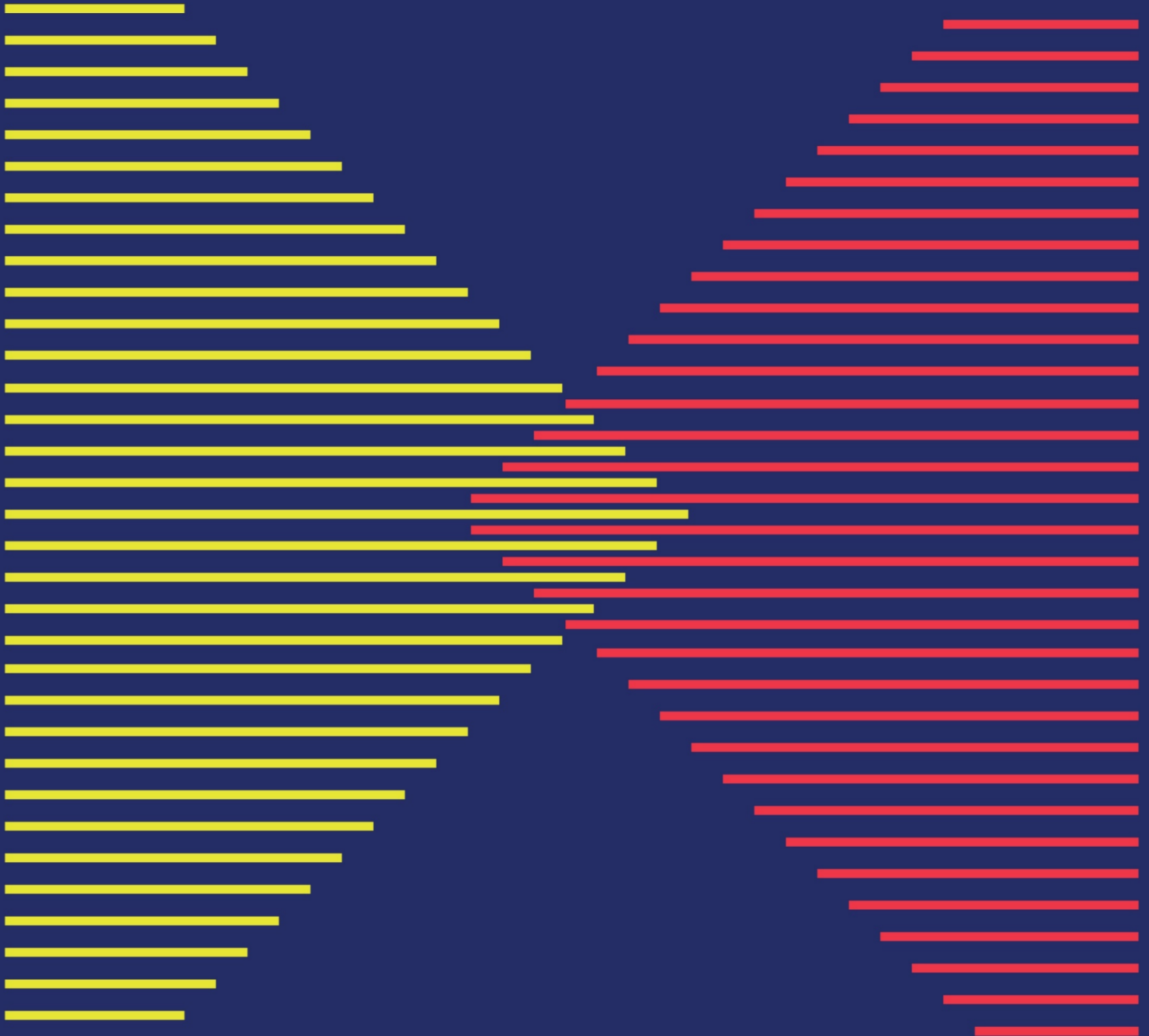


# Revista de Ativos de Engenharia

2025

Volume 3, Número 2

ISSN Online: 2975-8289



---


### Ficha Técnica

---



- **ISSN Online:** 2975-8289
- **Frequência:** Semestral
- **Propriedade:** Ponteditora, Sociedade Unipessoal, Lda.
- **NIPC:** 514 111 054
- **Composição do capital do proprietário:** 10 000€, 100% detido por Ana Leite, doutoranda
- **Gestão (não remunerada):** Eduardo Leite, Ph.D.
- **Localização:** Startup Madeira — Campus da Penteada, 9020-105, Funchal, Madeira, Portugal
- **Contacto principal:**
  - Eduardo Leite
  - Universidade da Madeira
  - +351 291 705 180
  - [eduardo.leite@staff.uma.pt](mailto:eduardo.leite@staff.uma.pt)
- **Contacto de apoio:**
  - Ponteditora
  - +351 291 723 010
  - [geral@ponteditora.org](mailto:geral@ponteditora.org)

## Equipa Editorial



### Editor-Chefe:

- Nuno Marques Almeida  — PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Instituto Superior Técnico, Portugal.

### Editores-Adjuntos:

- Elizabete Teixeira  — PhD em Engenharia Civil, Investigador Convidado na Universidade do Minho, Portugal.
- Vicente González Prida Díaz  — PhD em Engenharia Industrial, Professor Auxiliar, Universidad de Sevilla, Espanha.






















### Editores-Assistentes:

- Azucena Marques  — Doutoranda em Engenharia e Gestão, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Daniel Gaspar  — PhD em Engenharia Mecânica, Professor, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.

















### Conselho Científico:

- Adolfo Crespo Márquez  — PhD em Gestão Industrial, Professor Catedrático na Universidad de Sevilla, Espanha.
- Álvaro Rodríguez-Prieto  — PhD em Engenharia Industrial, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Espanha
- Ana Camanho  — PhD em Estudos Industriais e Empresariais, Professora Associada com Agregação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Ana Luís  — PhD em Gestão Estratégica do Risco em Entidades Gestoras de Infraestruturas de Água, Administradora Executiva AdP Internacional, Portugal.
- Ana Miguel Ramos Leite  — Doutoranda em Economia Política, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Ana Silva  — PhD em Ecologia de Ecossistemas Costeiros, professora no Instituto Superior Técnico, Portugal.
- António Aguiar Costa  — PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Antonio de la Fuente Carmona  — PhD em Engenharia Mecânica e Organização Industrial, INGEMAN, Espanha.
- Antonio Jesús Guillén López  — PhD em Engenharia Mecânica e Organização Industrial, Professor na Universidad Complutense de Madrid, Espanha.
- António Marques Cardoso  — PhD em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professor Catedrático, Universidade da Beira Interior, Portugal.
- Antonio Sánchez Herguedas  — PhD em Engenharia Industrial, Professor na Universidad de Sevilla, Espanha.
- Carla Boehl  — PhD em Engenharia e Ciência de Decisão, Assessora de administração em gestão de ativos, Fremantle Ports, Austrália.
- Carlos Parra Márquez  — PhD em Ingeniería de Organización Industrial, professor na Universidad Técnica Federico Santa María: Viña del Mar, Valparaíso, Chile.



- Celso de Azevedo  — PhD em Engenharia e Gestão Industrial, CEO, Assetsman, França.
- Edmundo de Almeida e Pais  — Doutorando em Engenharia e Gestão Industrial, Professor Auxiliar na Universidade Lusófona, Portugal.
- Fernanda Coutinho  — PhD em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.
- Filipa Salvado  — PhD em Engenharia Civil, Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.
- Helder Sousa  — PhD em Engenharia Civil, Post-doc em Engenharia Civil na Univerisade do Minho, Portugal.
- Helena Alegre  — PhD em Engenharia Civil, Investigadora Principal com Habilitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.
- Helena Navas  — PhD em Engenharia Mecânica, Professora na Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.
- Hugo David Raposo  — PhD em Engenharia Mecânica, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.
- Hugo Patrício  — Responsável Gestão de Ativos — Risco da Infraestrutura, Infraestruturas de Portugal, Portugal.
- Hugo Rodrigues  — PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Inácio Fonseca  — PhD em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professor Adjunto no Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal.
- Inês Flores Colen  — PhD em Engenharia Civil, Professora Catedrática, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Irene Roda  — PhD em Engenharia Industrial, Professora no Politécnico de Milão, Itália.
- Jaime Gabriel Silva  — Assessor da Administração na Águas do Douro e Paiva SA, Professor Convidado no Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal.
- João Gomes Ferreira  — PhD em Engenharia Civil, Professor Catedrático, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- João Gomes Morgado  — PhD em Engenharia Civil, Responsável Gestão de Ativos — Unidade de Planeamento e Revisão, Infraestruturas de Portugal, Portugal.
- João Poças Martins  — PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- José Campos e Matos  — PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Universidade do Minho, Portugal.
- José Neves  — PhD em Engenharia Civil, Professor no Instituto Superior Técnico, Portugal.
- José Silvestre  — PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- José Sobral  — PhD em Engenharia Mecânica, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal.
- José Torres Farinha  — PhD em Engenharia Mecânica, Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.
- Juan Francisco Gómez Fernández  — PhD em Organização Industrial, Professor Universidad de Sevilla, Espanha



- Luis Andrade Ferreira  — PhD em Engenharia Mecânica, Professor Associado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Luís Miguel Pinho  — PhD em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professor no Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal.
- Marco Macchi  — PhD em Engenharia de Gestão, Professor no Politécnico de Milão, Itália.
- Maria João Falcão  — PhD em Engenharia Civil, Investigadora no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Portugal.
- Marta Cabral  — PhD em Engenharia Civil, Investigadora, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Marta Gomes  — PhD em Engenharia de Sistemas, Professora no Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Mateus Mendes  — PhD em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.
- Miguel Azenha  — PhD em Engenharia Civil, Professor na Universidade do Minho, Portugal.
- Moacyr Eduardo Alves da Graca  — PhD em Engenharia Urbana e Construções Cíveis, Professor Coordenador do MBA Facility Management, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Mónica Amaral Ferreira  — PhD em Engenharia Civil, Investigadora, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Pablo Viveros  — PhD em Engenharia Mecânica e Industrial, Professor na Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile
- Paulo Vaz Serra  — PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Universidade de Melbourne, Austrália.
- Pedro Moreu de León  — PhD em Engenharia Industrial, Professor na Universidad de Sevilla, Espanha.
- Ricardo Prata  — PhD em Engenharia e Políticas Públicas, Diretor de Gestão de Ativos, E-Redes, Portugal.
- Rita Brito  — PhD em Engenharia Civil, Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.
- Rui Carrilho Gomes  — PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Rui Coutinho  — Ministério das Infraestruturas e da Habitação, Portugal.
- Seyed Rezvani  — Doutorando em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Portugal
- Vítor Correia  — Secretário-Geral do Observatório Internacional dos Recursos Minerais (Intraw), Bélgica.
- Wagner Carvalho  — Gestor de Projetos Senior, Aegea Saneamento e Participações SA, Brasil. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Espanha.

## **Estatuto Editorial**

I — A **Revista de Ativos de Engenharia**, conhecida também pelas formas abreviadas de **RAE**, é uma publicação periódica. Propriedade da Editora: Ponteditora.

II — A **RAE** dedica-se à pluralidade de temas que envolvem a gestão de ativos de engenharia.

III — A linha editorial da **RAE** publica textos inéditos dedicados à investigação científica transdisciplinar abrangendo áreas da Engenharia e da Gestão de Ativos.

IV — A **RAE** tem por missão fomentar a ciência em português e inglês nas suas linhas editoriais, como forma de estimular o conhecimento nas comunidades científicas.

V — A **RAE** é editada semestralmente, online, em língua portuguesa, sendo disseminada em todo o mundo através da Internet.

VI — A **RAE** terá, aproximadamente, 80 a 180 páginas.

VII — A **RAE** é, desde a sua génese até à atualidade, publicada na versão online.

VIII — A **RAE** destina-se a professores, investigadores, estudantes e profissionais, nacionais ou estrangeiros.

IX — A **RAE** apresenta um corpo editorial técnico e científico, aberto a académicos, investigadores e profissionais oriundos de diversas organizações e empresas relacionadas com a investigação, desenvolvimento e inovação da gestão de ativos de engenharia.

X — A **RAE** publica artigos académicos e científicos, originais e de revisão, bem como ensaios e resenhas/recensões críticas.

XI — A aprovação dos manuscritos para publicação regula-se por critérios de pertinência, interesse, qualidade científica e no respeito pela pluralidade de perspetivas. A **RAE** assume-se como independente de qualquer poder político, ideológico ou económico, e orienta-se por critérios de rigor, isenção e inclusão.

XII — A **RAE** publica em língua portuguesa, assim como em inglês. Em cada artigo estão incluídos o título, resumo e palavras-chave em duas línguas.

XII — A **RAE** publica preferencialmente em língua portuguesa, assim como em inglês. O título, resumo e palavras-chave de cada artigo poderão ser incluídos nas duas línguas.

XIII — A revista **RAE** edita números regulares e números especiais, confiados a investigadores credenciados das respetivas áreas de especialidade (normas para revisores), sob a escrutínio e aprovação da Equipa Editorial. Toda a colaboração é submetida a um exigente processo de seleção e revisão baseado em arbitragem científica e dois modos, cega por pares e por pares aberta.

XIV — Almejando os mais elevados padrões de ética na publicação, a Equipa Editorial da **RAE** inspira o seu Código de Ética nas orientações estabelecidas pelo *Committee on Publication Ethics* COPE; *Declaration of Helsinki* WMA; *International Committee of Medical Journal Editors* ICMJE; *Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments* ARRIVE. Nesse código definem-se as responsabilidades de todas as partes envolvidas no ato de publicação da **RAE**.

XV — A revista **RAE** pretende promover o intercâmbio de ideias, experiências e projetos entre os autores e editores, contribuindo para a reflexão abrangente sobre o valor gerado a partir dos ativos de engenharia e para a importância deste tipo de ativos no funcionamento sustentável e resiliente das sociedades modernas.

XVI — A revista **RAE** disponibiliza as Normas para apresentação e publicação de artigos e uma lista anual dos revisores que colaboram na arbitragem científica dos manuscritos.



XVII — A Equipa Editorial da revista **RAE**, assume o compromisso de assegurar o respeito pelos princípios deontológicos e pela ética profissional dos jornalistas, assim como pela boa-fé dos leitores, nos termos n.º 1 do artigo 17.º da Lei de Imprensa.



### Índice

<b>Página</b>	<b>Título</b>	<b>Autor(es)</b>
<b>01</b>	Editorial — Between innovation and legacy: Challenges in asset lifecycle management	Daniel Gaspar
<b>03</b>	Gestão de ativos e a otimização da eficiência em laboratórios de ensaios de materiais	Eduardo Ganilho
<b>21</b>	Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo (MCCR) aplicada en una línea de producción de envases biodegradables	Carlos Parra et al.
<b>37</b>	Implantação de sistema de gestão de ativos na Embasa: integração de sistemas de informação	Rinaldo Camurugy Alisson Brandão
<b>47</b>	CASADOMO: Habitação inovadora e sustentável em superadobe modular para bairros informais da Cidade da Praia — Cabo Verde	Felisberto Cortês et al.

## **Editorial — Between innovation and legacy: Challenges in asset lifecycle management**

### ***Editorial — Entre a inovação e a herança: Desafios na gestão do ciclo de vida dos ativos***

[10.29073/rae.v3i2.1062](https://doi.org/10.29073/rae.v3i2.1062)

Daniel Gaspar , IPV, Portugal, [dangas05@gmail.com](mailto:dangas05@gmail.com).

This 6<sup>th</sup> edition of RAE is composed of full-length manuscripts selected amongst works that have been originally presented in conferences and seminars of the Iberian asset management ecosystem, throughout the year 2025. In this same year 2025, the importance of the asset lifecycle management became increasingly important. There was the accident in Lisbon with the “Elevador da Glória” (Glory Elevator) and the accident in Adamuz, Andalusia, between two trains. Both accidents unfortunately resulted in a high number of fatalities. The coexistence of historical assets and contemporary technologies poses challenges to asset lifecycle management (ALCM). These accidents have been attracting much attention globally and have led us to reflect on asset management in public transport in light of industry standards and the scientific asset management literature. It is easy to conclude the importance of good management throughout the lifecycle of this equipment and infrastructure.

Asset Life Cycle Management refers to the systematic and structured approach to managing physical assets — from industrial machinery and infrastructure to buildings and vehicles — throughout every phase of their existence. The primary goal is to optimize asset performance and total cost of ownership (TCO) while ensuring safety, compliance, and business continuity

The ISO 55000:2024 standard reinforces the principles of value, alignment, leadership, and results (including adaptation and sustainability) for asset management systems, placing lifecycle management as the central axis for value creation and risk reduction.

In this regard, the current standard 55001:2024 includes a topic on “Operational planning and control, including life cycle management” (8.1). This point states that “the organization shall plan, implement, and control the processes, including life cycle processes, necessary to meet the requirements and to implement asset management planning actions”. This standard clarifies that life cycle processes involve the creation, acquisition, use, maintenance, improvement, renewal, or disposal of assets.

Each phase is inherently connected, and decisions made during acquisition will invariably affect maintenance costs and disposal strategies decades later. This interconnectedness is precisely where digitalization adds transformative value.

The rigorous application of Asset Lifecycle Management (ALCM) principles could have significantly mitigated the risks that existed and will always exist in asset intensive sectors, such as is the case of public transport. Academic literature consistently demonstrates that practices such as formal change management, systematic risk assessment, reliability-centered maintenance (RCM), independent audits, and continuous monitoring of critical components are crucial for preventing serious failures in complex equipment and infrastructure (Amadi-Echendu et al., 2010; Hastings, 2015; Woodhouse, 2014).

The insufficient integration of these practices in the case of the “Elevador da Glória” reveals systemic flaws in supervision, planning, and control, highlighting the importance of a mature ALCM model to ensure operational safety in historic transportation systems, which are highly dependent on continuous structural reliability. The incorporation of ISO 55000 standards into historic transportation and tourism policies, as well as the clarification of roles between operators and regulators, can reduce risks or prevent accidents in critical assets.



Research conducted within an ISO/TC251 working group in asset-owning organizations clearly identified the importance of asset lifecycle management for organizations, and several elements of ALCM were highlighted as areas where further guidance would be very useful. Most organizations already use established technologies such as Enterprise Asset Management (ERA), Computerized Maintenance Management (CMM), Asset Performance Management (APM), Risk Analysis, etc.; however, the adoption of emerging Industry 4.0 digital technologies appears to be in its early stages, justifying the need for guidelines for incorporating digitalization into ALCM. The adoption of sustainability practices is seen as a lower priority – this may be because few organizations are focused on sustainability or, more likely, because there is a lack of knowledge and guidance on how asset management, and in particular asset lifecycle management, can contribute to achieving sustainability goals.

Digitalization is fundamentally reshaping how ALCM is practiced. The convergence of the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Big Data analytics, cloud computing, and digital twins is enabling organizations to move from reactive, time-based asset management towards predictive, data-driven approaches that unlock new levels of efficiency, reliability, and sustainability.

In an increasingly competitive and resource-constrained industrial landscape, organizations are under growing pressure to maximize the value of their physical assets while minimizing costs, downtime, and risk. Asset Life Cycle Management (ALCM) has emerged as a strategic discipline that addresses this challenge — encompassing the planning, acquisition, operation, maintenance, and disposal of assets across their entire lifespan.

In summary, these cases that occurred in 2025 in Portugal and Spain demonstrate that gaps in asset lifecycle management—namely in change management, technical inspection, maintenance verification, and institutional supervision—directly contributed to the occurrence of the events. These cases, and others that occur with critical equipment and infrastructure, reinforce the need for the rigorous adoption of ALCM principles, not only as a way to better manage assets but also to prevent high-severity accidents.

### References

Amadi-Echendu, J., Brown, K., Parlikad, A., Lee, J., Mathew, J., McArthur, J., & Hawksley, P. (2010). *Definitions, concepts and scope of engineering asset management*. Springer.

Dhillon, B. S. (2016). *Engineering systems reliability, safety, and maintenance*. CRC Press.

Hastings, N. A. J. (2015). *Physical asset management: An organizational challenge*. Springer.

Mitchell, J. S. (2007). *Physical asset management handbook*. PennWell.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance II*. Industrial Press.

Woodhouse, J. (2014). *Asset management: Whole life management of physical assets*. Contributions to ISO/TC 251.

International Organization for Standardization (ISO). (2024). *ISO 55000 / ISO 55001 / ISO 55002: Asset management standards*. ISO.

### Declaração Ética

**Conflito de Interesse:** Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

## Gestão de ativos e a otimização da eficiência em laboratórios de ensaios de materiais

### *Asset management and efficiency optimisation in materials testing laboratories*

[10.29073/rae.v3i2.956](https://doi.org/10.29073/rae.v3i2.956)

**Recebido:** 2 de novembro de 2024.

**Aprovado:** 8 de abril de 2026.

**Publicado:** 8 de abril de 2026.

**Autor/a:** Eduardo Ganilho , ISLA Santarém, Portugal, [edugan@zonmail.pt](mailto:edugan@zonmail.pt).

#### Resumo

Este artigo aborda a gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, um tópico crítico, dada a sua influência nas indústrias. O problema central abordado é a necessidade de otimizar a eficiência desses laboratórios, considerando o papel crucial que desempenham em diversas áreas. O objetivo desta investigação é analisar a integração estratégica da gestão de ativos, destacando os custos associados e os investimentos necessários para otimizar o desempenho. A metodologia usada envolve uma revisão da literatura, analisando contribuições cruciais dos laboratórios de ensaios de materiais em diferentes indústrias. Além disso, investiga-se como a gestão de ativos pode ser integrada estrategicamente, considerando os custos envolvidos e os investimentos necessários para manter e melhorar as operações. Os laboratórios de ensaios de materiais emergem como componentes vitais em diversos setores como a indústria transformadora, construção civil ou investigação. A gestão eficaz dos ativos envolvidos é essencial para garantir a precisão dos resultados e a conformidade com normas e regulamentações. A integração estratégica da gestão de ativos é explorada como uma abordagem para melhorar a eficiência operacional, destacando os benefícios e desafios associados. Ao analisar os custos e investimentos relacionados com a gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, identificam-se áreas de otimização que podem resultar em melhorias significativas. A discussão abrange considerações práticas e estratégicas, proporcionando considerações valiosas para gestores, investigadores e outros profissionais envolvidos na operação e gestão desses laboratórios. Em conclusão, este estudo destaca a importância da gestão eficiente de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, oferecendo uma análise abrangente que contribui para a otimização dos processos e, por conseguinte, para o avanço nas diversas indústrias dependentes dessas instalações.

**Palavras-Chave:** Fiabilidade; Gestão de Ativos; Laboratórios de Ensaios de Materiais; Manutenção Preditiva; Sistemas de Monitorização.

#### Abstract

This article addresses asset management in materials testing laboratories, a critical topic given its influence across industries. The central problem addressed is the need to optimise the efficiency of these laboratories, considering the crucial role they play in several areas. The objective of this research is to analyse the strategic integration of asset management, highlighting the associated costs and investments necessary to optimise performance. The methodology used involves a literature review, analysing crucial contributions from materials testing laboratories in different industries. Furthermore, it investigates how asset management can be strategically integrated, considering the costs involved and the investments necessary to maintain and improve operations. Material testing laboratories are emerging as vital components in various sectors such as manufacturing, construction or research. Effective management of the assets involved is essential to ensure the accuracy of results and compliance with rules and regulations. Strategic integration of asset management is explored as an approach to improving operational efficiency, highlighting the associated benefits and challenges. By analysing the costs and investments related to asset management in materials testing laboratories, areas of

optimization are identified that can result in significant improvements. The discussion covers practical and strategic considerations, providing valuable considerations for managers, researchers and other professionals involved in the operation and management of these laboratories. In conclusion, this study highlights the importance of efficient asset management in materials testing laboratories, offering a comprehensive analysis that contributes to process optimization and, therefore, advancement in the diverse industries dependent on these facilities.

**Keywords:** Asset Management; Materials Testing Laboratories; Monitoring Systems; Predictive Maintenance; Reliability.

---

## 1. Introdução

A gestão eficiente de ativos<sup>1</sup> em laboratórios de ensaios de materiais é um desafio vital, dada a importância desses laboratórios em diversas indústrias. Desempenhando um papel crucial na garantia da qualidade e conformidade de materiais, a otimização da eficiência por meio da gestão estratégica de ativos permanece pouco explorada na literatura.

O problema de investigação reside na integração estratégica da gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, considerando não apenas os custos, mas também investimentos necessários para maximizar a eficiência. Este estudo visa preencher essa lacuna, explorando as contribuições cruciais desses laboratórios nas diversas indústrias.

Os pontos-chave incluem as contribuições fundamentais dos laboratórios, a integração estratégica da gestão de ativos, os custos e os investimentos associados. Além disso, são abordadas estratégias avançadas de otimização de custos e investimentos.

Com base nesse panorama abrangente, pretende-se oferecer orientações práticas e estratégicas para gestores, investigadores e profissionais ligados à operação desses laboratórios. Esperamos contribuir para a compreensão do papel crucial da gestão de ativos na otimização da eficiência dos laboratórios de ensaios de materiais, proporcionando entendimentos valiosos para a melhoria contínua dessas instalações essenciais.

## 2. Revisão da Literatura

Nesta seção, exploramos os laboratórios de ensaios de materiais, abordando as suas contribuições essenciais, integração estratégica da gestão de ativos e os custos envolvidos. Destacamos desafios e inovações em estratégias avançadas de otimização financeira. Essa visão holística constrói uma narrativa coesa sobre a eficiência desses laboratórios.

### 2.1. Laboratórios de Ensaios de Materiais: Contribuições Cruciais para Diversas Indústrias

A vitalidade dos laboratórios de ensaios de materiais ultrapassa fronteiras setoriais, desempenhando um papel crucial no avanço tecnológico e na garantia da qualidade. Essas instalações são fundamentais na indústria automotiva, assegurando a segurança e durabilidade de componentes críticos, especialmente nas mudanças impulsionadas pela transição ecológica e transformação digital (Zupancic, Pavlek & Erjavec, 2021). Nos setores da construção e da engenharia civil<sup>2</sup>, garantem a conformidade com padrões estruturais e a durabilidade de materiais em projetos de infraestrutura (Mouritz, 2012), por exemplo, os Eurocódigos Estruturais; os Eurocódigos

---

<sup>1</sup> Baseando-nos na norma internacional ISO 55000 (International Organization for Standardization, 2014a), um ativo é um bem, uma coisa ou uma entidade, que tem um valor potencial para o laboratório de ensaios de materiais. O valor variará conforme os diferentes laboratórios e partes interessadas, e pode ser tangível ou intangível, financeiro e não financeiro.

<sup>2</sup> Por exemplo, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), entidade independente de Investigação & Desenvolvimento (I&D), focaliza-se em Ciência para contribuir nos domínios da engenharia civil, incluindo obras públicas, barragens, portos, aeroportos, infraestruturas rodoviárias, edifícios, habitação, urbanismo, recursos hídricos, orla costeira, ambiente e transportes, bem como em materiais e produtos para construção.

Estruturais constituem um conjunto de Normas Europeias (EN) relativas ao projeto de estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia civil, realizadas com diferentes materiais.

A indústria aeroespacial beneficia significativamente dessas instalações, conduzindo ensaios<sup>3</sup> meticolosos para garantir que os materiais satisfaçam os rigorosos padrões de segurança e desempenho (Mouritz, 2012). Nos setores da energia, a contribuição dos laboratórios é essencial para garantir a eficiência e fiabilidade de materiais em ambientes extremos (Materials Research Society, 2010; U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

As contribuições cruciais desses laboratórios estendem-se a múltiplos setores, desde a investigação de novos materiais, por exemplo os nanomateriais<sup>4</sup> (Naito, Yokoyama, Hosokawa & Nogi, 2018), materiais compósitos (Chawla, 2012) e nanocompósitos (Chand, Dixit & Arpita, 2024), até à avaliação de materiais existentes sob condições operacionais simuladas. É apreciável a riqueza e diversidade que os laboratórios de ensaios de materiais trazem para as diversas indústrias, proporcionando bases sólidas para o avanço tecnológico e a sustentabilidade a longo prazo.

A aplicação da inteligência artificial<sup>5</sup> nos ensaios de materiais representa uma evolução significativa na indústria, conferindo uma abordagem mais eficiente e precisa. Integrando algoritmos avançados (Gupta, 2020; Rocca, 2021), a inteligência artificial (Goswami, Deka & Roy, 2023) automatiza a análise de dados complexos, otimizando a eficiência dos laboratórios e melhorando a compreensão do comportamento dos materiais em diversas condições. Essa inovação<sup>6</sup> promove uma investigação mais rápida e inteligente, reforçando a relevância dos laboratórios de ensaios de materiais nas indústrias modernas.

A interligação entre a ciência dos materiais<sup>7</sup>, os laboratórios de ensaio de materiais, os ensaios de materiais e a gestão de ativos, tanto físicos como não físicos, desempenha um papel essencial na compreensão, avaliação e otimização dos recursos. Unindo o conhecimento sobre as propriedades dos materiais aos processos de ensaio e à gestão estratégica de ativos (Institute of Asset Management, 2021)<sup>8</sup>, cria-se uma abordagem abrangente que visa a excelência na análise de materiais, bem como a eficácia na gestão e valorização de todos os recursos envolvidos.

## **2.2. Integração Estratégica da Gestão de Ativos nos Laboratórios de Ensaios de Materiais**

---

<sup>3</sup> Pode-se recorrer à norma ISO/IEC 17000 (*Conformity assessment - Vocabulary and general principles*) para a definição de ensaio: «*determination of one or more characteristics of an object of conformity assessment, according to a procedure*» (International Organization for Standardization, 2020a, p. 4), isto é, determinação de uma ou mais características de um objeto de avaliação da conformidade, de acordo com um procedimento.

<sup>4</sup> As instalações de produção de componentes à micro (milésima parte do milímetro) e nano (bilionésimos do metro,  $10^{-9}$  de um metro) escala são complementadas com uma rede de laboratórios dedicados aos domínios da eletrónica, física, química e materiais, disponibilizando serviços de caracterização de microscopia eletrónica de varrimento, microscopia eletrónica de transmissão, espectroscopia e análise de raios X, caracterização elétrica e caracterização morfológica.

<sup>5</sup> A inteligência artificial (IA) constitui uma família de tecnologias em constante evolução, exigindo novos modelos de supervisão regulamentar e um ambiente seguro para experimentação. Este contexto visa assegurar uma inovação responsável, integrando simultaneamente salvaguardas e medidas adequadas de mitigação de riscos (Comissão Europeia, 2021). A norma internacional ISO/IEC 42001 (*Information technology – Artificial intelligence – Management systems*) proporciona requisitos para o desenvolvimento de sistemas de IA, para utilizar, desenvolver, monitorizar ou fornecer produtos ou serviços que utilizem IA (International Organization for Standardization, 2023, p. 1). O "*Handbook on ethical issues related to algorithms, automation and AI*", da *European Labour Authority* (2023), aborda questões éticas no contexto de algoritmos, automação e inteligência artificial (IA), constituindo um recurso para compreender e abordar as complexas questões éticas associadas às tecnologias emergentes (European Labour Authority, 2023).

<sup>6</sup> No contexto de «Uma nova Agenda Europeia para a Inovação», a inovação de tecnologia profunda, baseada em avanços científicos e tecnológicos de ponta nas esferas física, biológica e digital, tem potencial para oferecer soluções transformadoras para os desafios globais (Comissão Europeia, 2022, p. 1).

<sup>7</sup> A Ciência dos materiais investiga a interligação entre a estrutura, o processamento e as propriedades dos materiais, estabelecendo os fundamentos científicos para a escolha de materiais existentes e o avanço no desenvolvimento de novos materiais.

<sup>8</sup> Esta publicação fornece conselhos práticos para o desenvolvimento de um Plano Estratégico de Gestão de Ativos (*Strategic Asset Management Plan*) (SAMP).



A integração estratégica da gestão de ativos nos laboratórios de ensaios de materiais é uma abordagem essencial para otimizar a eficiência e sustentabilidade dessas instalações cruciais. Ao unir a *expertise*<sup>9</sup> técnica da ciência dos materiais (Callister & Rethwisch, 2018) com práticas avançadas de gestão de ativos, os laboratórios podem alcançar uma operação mais eficiente e impactante.

### *2.2.1. Criação e Percepção de Valor a Partir dos Ativos nos Laboratórios de Ensaios de Materiais*

A criação e a percepção de valor a partir dos ativos nos laboratórios de ensaios de materiais não são estáticas, pelo contrário, são dinâmicas e evolutivas. Estes conceitos dependem de uma série de fatores internos e externos que mudam ao longo do tempo.

#### **Criação de valor: um processo dinâmico**

Nos laboratórios de ensaios de materiais, a criação de valor a partir dos ativos envolve a maximização da eficiência e eficácia dos ativos físicos, como equipamentos e instalações, bem como dos ativos intangíveis, como o conhecimento técnico, a imparcialidade e a reputação entre outros. Esta criação de valor é dinâmica porque depende de fatores como: (i) atualização e manutenção de ativos físicos: a manutenção regular e a atualização dos equipamentos de ensaio são essenciais para garantir a precisão e a fiabilidade dos resultados (Brooker & Gerrand, 2021). Este processo de criação de valor está em constante evolução à medida que novas tecnologias e métodos de ensaio são desenvolvidos (Mobley, 2002); (ii) desenvolvimento de competências e conhecimento: os ativos intangíveis, como o conhecimento técnico dos profissionais do laboratório, requerem formação contínua e desenvolvimento de competências<sup>10</sup> (International Organization for Standardization, 2019b). A criação de valor a partir destes ativos depende da capacidade do laboratório para inovar e adaptar-se a novas normas e métodos; (iii) gestão de riscos e resiliência<sup>11</sup>: a capacidade de um laboratório de gerir riscos, tais como falhas de equipamentos ou erros humanos, contribui para a criação de valor (International Organization for Standardization, 2014a) através da minimização de interrupções e manutenção da qualidade dos ensaios.

#### **Percepção de valor: um conceito evolutivo**

A percepção de valor pelos clientes<sup>12</sup> e outras partes interessadas<sup>13</sup> também é um conceito evolutivo e pode mudar com base em vários fatores: (i) satisfação do cliente<sup>14</sup> e reputação: a percepção de valor dos clientes está ligada à sua satisfação com os resultados dos ensaios e com a experiência global de interação com o laboratório, isto é, a percepção do cliente quanto ao grau de satisfação das suas expectativas (International Organization for Standardization, 2018b). Esta percepção pode ser afetada por fatores como a rapidez de resposta, a transparência dos processos e a capacidade de cumprir normas internacionais; (ii) adaptação às exigências do mercado: à medida que as exigências do mercado e das regulamentações mudam, a percepção de valor de um laboratório também pode evoluir. Laboratórios que demonstram a capacidade de se adaptar rapidamente e de cumprir

---

<sup>9</sup> Perícia, competência, conhecimentos próprios de perito.

<sup>10</sup> A gestão das competências e o desenvolvimento das pessoas estão ligadas entre si; são necessárias a nível organizacional, de equipa, de grupo e individual para que os laboratórios de ensaios sejam bem-sucedidos. A norma internacional ISO 10015 proporciona orientações para tratar de questões relacionadas com a gestão das competências e com o desenvolvimento das pessoas.

<sup>11</sup> Mais à frente voltaremos ao assunto.

<sup>12</sup> Recorrendo à norma internacional ISO 9000 (International Organization for Standardization, 2015), cliente, em termos gerais, refere-se à pessoa ou organização que poderia receber ou de facto recebe um produto ou serviço que se destina a, ou é requerido por essa pessoa ou organização. São exemplos, o consumidor, o cliente propriamente dito, o utilizador final, o retalhista, o recetor do produto ou o serviço proveniente de um processo interno, o beneficiário e o comprador. Um cliente pode ser interno ou externo à organização.

<sup>13</sup> Parte interessada, ou *stakeholder* em língua inglesa, segundo a norma internacional ISO 9000 refere-se a pessoa ou organização que pode afetar, ser afetada por, ou considerar-se como sendo afetada por uma decisão ou atividade. São exemplos, os clientes, os proprietários, as pessoas numa organização, os fornecedores, as entidades bancárias, os reguladores, os sindicatos, os parceiros ou sociedade, onde se podem incluir os competidores ou os grupos de pressão opostos.

<sup>14</sup> Percepção do cliente quanto ao grau de satisfação das suas expectativas.



rigorosamente as novas exigências, são percebidos como mais valiosos (Nelson & Stout, 2022); (iii) inovação e desenvolvimento tecnológico: a introdução de novas tecnologias e métodos de ensaio pode alterar significativamente a percepção de valor de um laboratório. Claro que é expectável que clientes e parceiros tendam a valorizar os laboratórios que estão na vanguarda da inovação tecnológica e que oferecem os métodos mais precisos e eficazes.

Portanto, tanto a criação como a percepção de valor a partir dos ativos nos laboratórios de ensaios de materiais são processos dinâmicos, influenciados por uma combinação de práticas de gestão internas, fatores de mercado e mudanças tecnológicas. Para maximizar a criação de valor, os laboratórios devem continuamente avaliar e adaptar as suas estratégias de gestão de ativos, mantendo um foco na inovação<sup>15</sup>, na eficiência operacional e na satisfação do cliente.

Além disso, o valor dos ativos do laboratório de ensaios de materiais e o valor gerado por esses ativos são conceitos distintos, mas inter-relacionados. O primeiro refere-se ao valor<sup>16</sup> intrínseco dos ativos, enquanto o segundo diz respeito ao valor que esses ativos criam na operação do laboratório, como eficiência operacional e satisfação do cliente. Estes conceitos ilustram a complexidade da gestão de ativos e a necessidade de uma abordagem estratégica para otimizar o desempenho e a sustentabilidade dos laboratórios de ensaios de materiais (International Organization for Standardization, 2014a)<sup>17</sup>.

### *2.2.2. A Imparcialidade como Ativo Intangível dos Laboratórios de Ensaios de Materiais*

A imparcialidade nos laboratórios de ensaios de materiais pode ser entendida como um ativo intangível, bem como a confidencialidade<sup>18</sup> (Daum, 2003)<sup>19</sup>. O conceito de imparcialidade refere-se à capacidade do laboratório de realizar ensaios de forma independente e sem influências externas que possam comprometer a objetividade dos resultados.

Um ativo intangível é algo que não possui uma forma física, mas que proporciona valor significativo a uma organização. No caso de laboratórios de ensaios de materiais, a imparcialidade pode ser considerada um ativo intangível por diversos motivos, entre os quais a reputação e a confiança, a conformidade com normas e creditações, a mitigação de riscos e o valor competitivo entre outros.

A imparcialidade é um elemento fundamental para a reputação de um laboratório de ensaios de materiais. Clientes e parceiros confiam nos resultados dos ensaios quando têm a certeza de que estes são conduzidos de forma justa e sem vieses. Este nível de confiança é um ativo intangível valioso que pode *atrair* novos negócios e parcerias, aumentando o valor e a competitividade do laboratório no mercado.

Além disso, a imparcialidade é frequentemente um requisito nas normas internacionais e creditações, como a norma internacional ISO/IEC 17025 (International Organization for Standardization, 2017a). Cumprir esses padrões é essencial para manter a acreditação, o que permite ao laboratório operar em mercados regulados e

---

<sup>15</sup> Diversos documentos normativos internacionais sobre inovação desenvolvidos no seio da *International Organization for Standardization* (ISO) estão disponíveis, nomeadamente os seguintes: ISO 56000, ISO 56002, ISO 56003, e ISO/TR 56004. Outros documentos no âmbito da inovação encontram-se em desenvolvimento, como sejam: ISO 56005, ISO 56006, ISO 56007 e ISO 56008. Os documentos em vigor e os que se encontram em desenvolvimento têm como referência o Oslo Manual (OECD/Eurostat, 2018) e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

<sup>16</sup> O valor económico é definido pelo preço de mercado, derivado da interação entre oferta e procura, ou pela utilidade para o consumidor, conforme Alfred Marshall (Marshall, 1920) e Adam Smith (Smith, 2014). Smith distingue entre valor de uso e valor de troca. Joseph Schumpeter (Schumpeter, 2012) destacou a inovação e o empreendedorismo como fontes de criação de valor. Na contabilidade, o valor de um ativo é registado pelo custo histórico, ajustado por depreciação, conforme as normas IFRS (Machado, 2000; Kieso, Weygandt & Warfield, 2001).

<sup>17</sup> Note-se que este documento normativo é aplicável a todos os tipos de ativos e de organizações.

<sup>18</sup> A confidencialidade não é apenas uma obrigação ética e regulamentar, mas também um recurso estratégico que pode diferenciar um laboratório da concorrência, reforçando o seu valor e a sua posição no mercado.

<sup>19</sup> No contexto de laboratórios de ensaios de materiais, as ideias de Daum sobre a valorização e gestão de ativos intangíveis podem ser aplicadas à gestão de conhecimentos técnicos, à reputação de imparcialidade e à confidencialidade, que são cruciais para a manutenção da credibilidade e eficiência desses laboratórios.



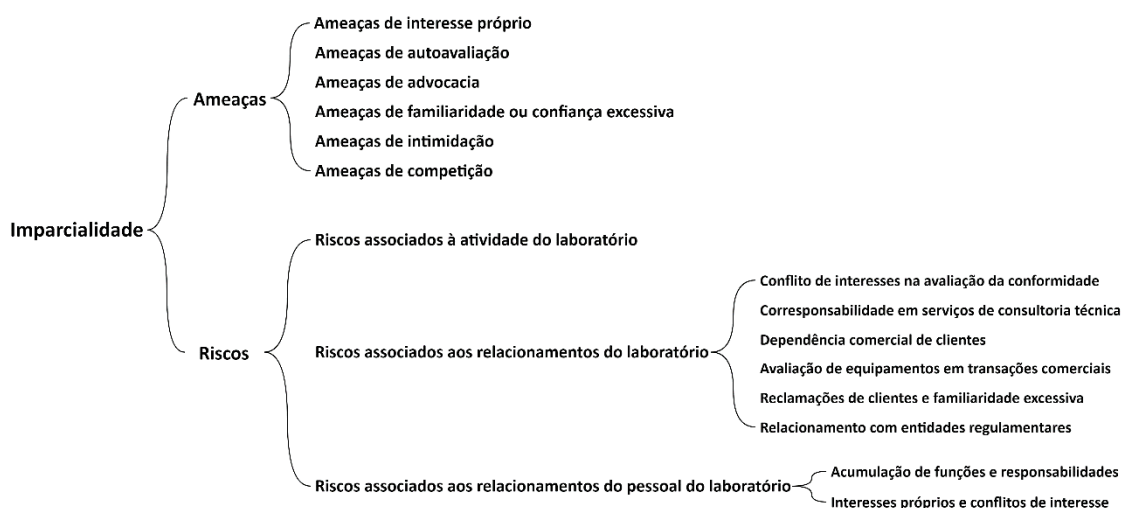
em condições de concorrência equitativa. Este cumprimento não é apenas uma exigência legal, mas também um fator que agrega valor ao funcionamento do laboratório, assegurando a sua credibilidade e fiabilidade.

A manutenção da imparcialidade também contribui para a mitigação de riscos associados a conflitos de interesse, fraudes ou manipulação de resultados. Uma gestão eficaz destes riscos, cuja finalidade é a criação e proteção de valor (International Organization for Standardization, 2018c), protege o laboratório de potenciais escândalos ou sanções legais, preservando a sua viabilidade e sustentabilidade a longo prazo.

Um laboratório reconhecido pela sua imparcialidade possui uma vantagem competitiva significativa em relação a outros que possam enfrentar questionamentos sobre a integridade dos seus resultados. Embora esta vantagem seja difícil de quantificar diretamente, representa um valor intangível considerável, que pode traduzir-se em novas oportunidades de negócio e expansão, fortalecendo ainda mais a sua posição no mercado.

O esquema da figura 1 mostra dois aspetos relevantes, as ameaças e os riscos associados à imparcialidade (IPAC, 2018). A seguir debatemos estes aspetos<sup>20</sup>.

**Figura 1:** Ameaças e riscos associados à imparcialidade.



As ameaças de interesse próprio ocorrem quando uma pessoa ou o próprio laboratório toma decisões que favorecem os seus interesses em detrimento da objetividade dos ensaios. Este tipo de ameaça é comum quando há uma dependência excessiva de um cliente específico, o que pode levar à manipulação dos resultados para manter o relacionamento comercial ou evitar dificuldades financeiras.

As ameaças de autoavaliação surgem quando uma pessoa ou o laboratório é responsável por avaliar o seu próprio trabalho, o que pode introduzir um viés inconsciente. Isto é particularmente problemático se os técnicos tiverem previamente realizado consultoria ou prestado suporte técnico nos produtos ou processos que estão a ser avaliados, comprometendo a imparcialidade dos resultados.

As ameaças de advocacia manifestam-se quando o laboratório defende os interesses de um cliente, colocando em risco a sua neutralidade. Esta situação pode acontecer quando o laboratório tenta manter uma boa relação com o cliente, levando a um favorecimento deliberado nas disputas relacionadas com os resultados dos ensaios.

As ameaças de familiaridade ou confiança excessiva resultam de uma proximidade excessiva entre o laboratório e os seus clientes ou fornecedores. Relações de longa duração podem dificultar a capacidade de manter um

<sup>20</sup> Baseamo-nos no guia que incorpora interpretações, explicações e exemplos de implementação da norma internacional ISO/IEC 17025 considerando, entre outros, documentos elaborados pela *European co-operation for Accreditation* (EA) e pela *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC) bem como a experiência acumulada pelos laboratórios e pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC).

juízo crítico e independente, resultando numa avaliação menos rigorosa e em práticas de controlo da qualidade menos exigentes.

As ameaças de intimidação ocorrem quando os técnicos ou gestores se sentem pressionados a tomar decisões que favorecem o cliente, devido ao receio de perderem o emprego ou um contrato significativo. Esta pressão pode vir de superiores hierárquicos ou de influências externas, comprometendo a integridade dos ensaios.

As ameaças de competição emergem quando o laboratório é responsável pela avaliação de produtos ou serviços de um concorrente direto. Esta situação pode gerar resultados tendenciosos, com o laboratório a favorecer os seus próprios interesses ou os interesses dos seus clientes preferenciais, em detrimento de uma avaliação justa e imparcial.

Quanto aos riscos, os laboratórios de ensaios de materiais enfrentam vários riscos que podem comprometer a sua imparcialidade e objetividade na avaliação da conformidade, os quais vamos abordar de seguida<sup>21</sup> (IPAC, 2018).

#### ***Riscos associados às atividades do laboratório***

Os riscos associados às atividades do laboratório estão ligados a pressões indevidas originadas por objetivos de natureza comercial, a pedidos de entrega de resultados com prioridade e a reduzido número de clientes.

#### ***Riscos associados aos relacionamentos do laboratório***

Um dos principais riscos é o conflito de interesses. Este surge quando o laboratório avalia produtos que são concebidos, fabricados, vendidos, mantidos ou reparados pela mesma entidade a que pertence. Esta proximidade pode comprometer a imparcialidade dos resultados devido a potenciais conflitos de interesse.

Além disso, a corresponsabilidade em serviços de consultoria técnica também representa um risco significativo. Quando a entidade a que o laboratório pertence presta serviços de consultoria, como a elaboração de projetos, e valida a sua adequabilidade através de ensaios realizados pelo próprio laboratório, a objetividade pode ser comprometida devido à ligação direta entre as fases de projeto e de ensaio (International Organization for Standardization, 2017b).

A dependência comercial de clientes é outro fator que pode afetar a imparcialidade. Quando o laboratório avalia a conformidade de produtos de clientes que também adquirem outros produtos ou serviços do laboratório ou da entidade a que este pertence, cria-se uma dependência mútua que pode gerar pressões para favorecer resultados, comprometendo a integridade dos ensaios.

Também existe o risco associado à avaliação de equipamentos em transações comerciais. Este risco manifesta-se quando o laboratório é responsável pela avaliação de conformidade de equipamentos envolvidos em transações comerciais, nas quais o próprio laboratório, ou a entidade a que pertence, tem interesse direto. Tal envolvimento pode introduzir, enviesamentos, que afetam a credibilidade das avaliações.

As reclamações de clientes e a familiaridade excessiva entre o laboratório e os seus clientes representam riscos adicionais. Relações demasiado próximas podem levar a uma perda de imparcialidade, enquanto reclamações frequentes (International Organization for Standardization, 2018d) podem pressionar o laboratório a ajustar os resultados para evitar conflitos, comprometendo assim a objetividade dos ensaios (International Organization for Standardization, 2018e).

---

<sup>21</sup> Assim, como anteriormente, seguimos o guia que oferece interpretações, esclarecimentos e exemplos práticos para a implementação da norma internacional ISO/IEC 17025. Tal guia, como referimos, inspira-se em documentos elaborados em particular pela European Co-operation for Accreditation (EA) e pela International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), e na experiência adquirida pelos próprios laboratórios e pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC).

Por fim, o relacionamento com entidades regulamentares também apresenta riscos. Qualquer influência externa ou pressão exercida por estas entidades pode afetar a independência e imparcialidade dos ensaios, comprometendo a conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis.

Deste modo, para garantir a integridade dos resultados e a confiança no processo de avaliação, é crucial que os laboratórios de ensaios de materiais mantenham uma gestão rigorosa destes riscos, assegurando a imparcialidade e a objetividade em todas as suas operações.

### ***Riscos associados aos relacionamentos dos colaboradores do laboratório***

A acumulação de funções e responsabilidades pelos colaboradores<sup>22</sup> do laboratório, seja internamente ou em nome de terceiros, pode gerar conflitos de interesse. A sobreposição de papéis compromete a objetividade e a imparcialidade, afetando a qualidade e a credibilidade dos ensaios realizados.

O risco de interesses próprios surge quando os colaboradores do laboratório têm uma dependência excessiva de contratos ou teme perder o emprego. Estas pressões podem levar a decisões influenciadas por interesses pessoais, comprometendo a integridade e a imparcialidade necessárias. Além disso, relações familiares ou pessoais entre membros dos colaboradores, especialmente em diferentes níveis hierárquicos, podem afetar a transparência e a equidade nas operações do laboratório.

Em síntese, a imparcialidade é um ativo intangível crucial para os laboratórios de ensaios de materiais, sendo essencial para estabelecer confiança, garantir a conformidade com as normas, mitigar riscos e manter uma vantagem competitiva. Proteger este ativo é fundamental para o sucesso e sustentabilidade do laboratório a longo prazo.

A gestão de riscos e a construção de resiliência são igualmente vitais para a estratégia de gestão de ativos nos laboratórios. Através da identificação e avaliação rigorosa dos riscos, do desenvolvimento de planos de contingência eficazes e da monitorização contínua dos ativos, os laboratórios não apenas mitigam os riscos, mas também constroem a resiliência necessária para enfrentar futuros desafios com confiança.

### ***2.2.3. Gestão de Riscos e Resiliência nos Laboratórios de Ensaios de Materiais***

Nos laboratórios de ensaios de materiais, a gestão de riscos e a construção de resiliência são cruciais para garantir a continuidade das operações<sup>23</sup> (International Organization for Standardization, 2019a), a qualidade dos resultados e a segurança dos ativos. Estes laboratórios dependem de uma combinação de ativos físicos, como equipamentos e instalações, e ativos não físicos, como o conhecimento técnico, processos operacionais, dados e a reputação entre outros. Uma gestão eficaz de riscos e uma abordagem estratégica para aumentar a resiliência são essenciais para proteger ambos os tipos de ativos e, por extensão, a própria viabilidade do laboratório.

Segundo a norma internacional ISO 31000<sup>24</sup> (International Organization for Standardization, 2018c), a finalidade da gestão do risco é a *criação e proteção de valor*; a *criação e percepção de valor* estão diretamente relacionadas tanto com os ativos físicos quanto com os ativos não físicos no caso de um laboratório de ensaios de materiais<sup>25</sup>.

A figura 2 mostra o processo de gestão de risco<sup>26</sup>, o qual envolve a aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas nas atividades de comunicação e consulta, estabelecimento do contexto e na

---

<sup>22</sup> Indivíduos de ambos os sexos. Em linguagem jurídica é comum o uso dos termos *trabalhador* e *trabalhadora*.

<sup>23</sup> Capacidade de um laboratório para continuar a fornecer serviços dentro de prazos aceitáveis com a capacidade predefinida durante uma interrupção.

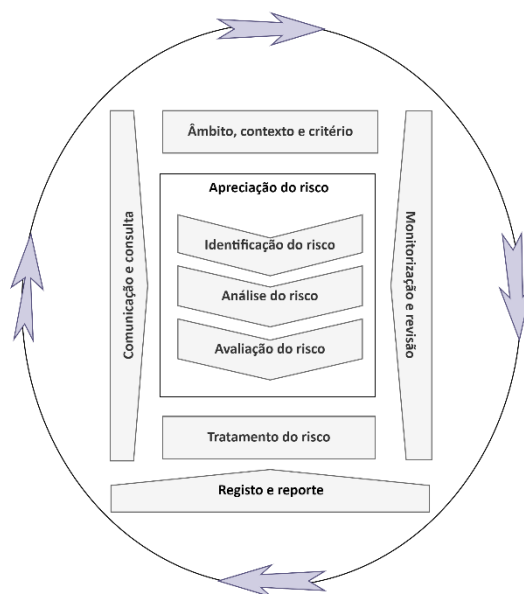
<sup>24</sup> O documento fornece linhas de orientação na gestão do risco a que as organizações têm de fazer face. A aplicação destas linhas de orientação pode ser adaptada a qualquer organização e ao seu contexto.

<sup>25</sup> A gestão do risco melhora o desempenho, encoraja a inovação e suporta a consecução de objetivos do laboratório. A gestão do risco é baseada em princípios, estrutura e processo.

<sup>26</sup> A gestão do risco deverá considerar os contextos externo e interno do laboratório, incluindo o comportamento humano e os fatores culturais.

apreciação, tratamento, monitorização, revisão, registo e reporte do risco<sup>27</sup>. O processo da gestão do risco deverá ser uma parte integrante da gestão e tomada de decisão e integrado na estrutura, nas operações e nos processos do laboratório de ensaios de materiais, podendo ser aplicado ao nível estratégico, operacional, em programas ou em projetos.

**Figura 2:** Processo de gestão de risco.



**Fonte:** Adaptado da norma internacional ISO 31000.

Qual a importância da gestão de riscos? A gestão de riscos envolve a identificação, avaliação e mitigação de ameaças que possam impactar a operação dos laboratórios de ensaios de materiais, desde falhas de equipamentos a erros humanos<sup>28</sup>, obsolescência tecnológica<sup>29</sup> (Ma, 2021) e incumprimento de regulamentações. Os ativos físicos, como máquinas de ensaio, instrumentos de medição e infraestruturas, são essenciais para as operações diárias. Riscos associados a esses ativos incluem avarias, manutenção inadequada e desgaste, que podem comprometer projetos importantes<sup>30</sup> (International Organization for Standardization, 2017b) e afetar a qualidade dos resultados, prejudicando a credibilidade do laboratório. Da mesma forma, os ativos não físicos, como o conhecimento técnico e os processos internos, enfrentam riscos significativos, como a perda de técnicos qualificados, falhas na gestão de dados<sup>31</sup> ou na transferência de conhecimento (Williams, 2020; Yada, 2024). Adicionalmente, a perda de reputação devido a resultados imprecisos ou falta de conformidade

<sup>27</sup> Note-se que, o processo de gestão do risco é frequentemente apresentado como sequencial, no entanto, na prática, é iterativo.

<sup>28</sup> Há uma diferença subtil entre erro humano e falha humana, embora os termos sejam frequentemente usados de forma intercambiável. Erro humano refere-se a ações ou decisões específicas, enquanto falha humana engloba uma gama mais ampla de condições que podem levar ao fracasso na execução de uma tarefa. Esta distinção é importante em áreas como segurança no trabalho (Instituto Superior Técnico, 2016; International Organization for Standardization, 2018f), operações laboratoriais e gestão de riscos, pois implica diferentes abordagens de mitigação e prevenção. A obra "*New Technology and Human Error*", editada por Jens Rasmussen, Keith Duncan e Jacques Leplat (1987), é uma referência no estudo das interações entre novas tecnologias e erros humanos, especialmente em contextos de trabalho e operações complexas. O livro analisa como a introdução de novas tecnologias pode aumentar a ocorrência de erros e como esses erros podem ser mitigados, reunindo perspectivas multidisciplinares que discutem o *design* de sistemas mais seguros.

<sup>29</sup> Segundo um Parecer do Comité Económico e Social Europeu, é possível fazer uma distinção entre diferentes formas de obsolescência: obsolescência programada em sentido restrito, obsolescência indireta, obsolescência por incompatibilidade e obsolescência psicológica. A obsolescência por incompatibilidade, é o caso, por exemplo, dos programas informáticos que deixam de funcionar quando da atualização do sistema de exploração.

<sup>30</sup> A norma internacional ISO 21505, poderá ser útil dado que descreve o contexto e as linhas de orientação do governo de projetos, programas e portefólios.

<sup>31</sup> Os dados operacionais são vitais para a eficiência, rastreabilidade e reputação do laboratório.

com normas internacionais pode ser devastadora (Honey, 2017). Para mitigar esses riscos, é essencial implementar políticas de manutenção preventiva, assegurar formação contínua dos técnicos e estabelecer protocolos rigorosos para a gestão de dados e cumprimento das normas de qualidade.

Como integrar a resiliência nos laboratórios de ensaios de materiais? A resiliência<sup>32</sup>, refere-se à capacidade do laboratório de se adaptar a mudanças e recuperar rapidamente de eventos adversos, sendo um atributo vital para manter a competitividade e eficácia no ambiente dinâmico dos ensaios de materiais. Para fortalecer a resiliência dos ativos físicos, é essencial investir em equipamentos modernos, tecnologicamente avançados, e em sistemas redundantes para operações críticas. A integração de tecnologias de monitorização em tempo real (por exemplo da temperatura) também contribui para prever falhas e reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos. No que respeita aos ativos não físicos, a resiliência pode ser reforçada promovendo uma cultura de inovação e aprendizagem contínua, investindo na formação dos técnicos e assegurando a continuidade do conhecimento por meio de uma base de dados sólida. Além disso, manter relações fortes com clientes e fornecedores (não contrariando a imparcialidade) ajuda a mitigar o impacto de perturbações nos processos de negócio.

Quais as estratégias de mitigação de riscos e aumento da resiliência possíveis? Para gerir riscos e construir resiliência, os laboratórios de ensaios de materiais devem adotar uma abordagem holística que inclua: (i) análise de riscos abrangente: avaliar regularmente os riscos associados a todos os ativos, tanto físicos como não físicos. Isto pode envolver auditorias internas (International Organization for Standardization, 2018a)<sup>33</sup>, avaliações de desempenho e revisões de processos; (ii) planos de contingência e continuidade de negócios: desenvolver e testar planos para garantir que o laboratório pode continuar a operar mesmo em situações de crise, como desastres naturais, falhas de energia ou ciberataques (Craigen, Diakun-Thibault & Purse, 2014; International Organization for Standardization, 2020b); (iii) inovação e adaptação contínuas: manter-se atualizado com as novas tecnologias e métodos de ensaio, e ser proactivo na adaptação a mudanças regulamentares e de mercado.

Resumindo, a gestão eficaz de riscos e a construção de resiliência são essenciais para os laboratórios de ensaios de materiais que desejam proteger os seus ativos, manter a sua reputação e garantir a continuidade e qualidade das suas operações. A capacidade de gerir tanto ativos físicos como não físicos de forma integrada e estratégica permite ao laboratório enfrentar desafios e aproveitar novas oportunidades num ambiente cada vez mais complexo e exigente.

#### *2.2.4. Impacto da Gestão de Ativos no Desempenho dos Laboratórios de Ensaios de Materiais*

A gestão de ativos é uma disciplina estratégica que visa maximizar o valor obtido a partir dos ativos de uma qualquer organização, assegurando que estes contribuem eficazmente para o cumprimento dos seus objetivos. Nos laboratórios de ensaios de materiais, a implementação de uma gestão de ativos estruturada pode ter um impacto significativo em diversas áreas, desde a eficiência operacional até à satisfação dos clientes. A norma internacional ISO 55000, que proporciona uma visão global da gestão de ativos e dos sistemas de gestão de ativos, isto é, sistemas de gestão para a gestão de ativos, identifica vários benefícios que podem ser aplicados neste contexto (International Organization for Standardization, 2014a) tais como, a melhoria do desempenho financeiro, as decisões fundamentadas de investimento em ativos, a gestão do risco, a melhoria dos serviços e dos resultados, a demonstração de responsabilidade social (International Organization for Standardization, 2010), a demonstração da conformidade, a melhoria da reputação, a melhoria da sustentabilidade do laboratório de ensaios e a melhoria da eficácia e da eficiência.

---

<sup>32</sup> Recorrendo à Dicionária (https://www.infopedia.pt/), resiliência, em sentido figurado, refere-se à capacidade de reagir e superar contrariedade ou situação de crise; faculdade de quem consegue lidar de forma positiva com fatores ou condições adversas.

<sup>33</sup> Esta norma proporciona orientações sobre auditorias a sistemas de gestão, todavia pode ser aplicada a outros tipos de auditoria, desde que se tenha em conta a competência específica necessária.

A gestão de ativos oferece diversos benefícios significativos para os laboratórios de ensaios de materiais, destacando-se pela capacidade de melhorar o desempenho financeiro e operacional. Um dos principais benefícios é a otimização da utilização dos recursos e a redução dos custos operacionais. Através de práticas como a manutenção preditiva e a monitorização contínua dos equipamentos (Moblely, 2002), os laboratórios conseguem minimizar o tempo de inatividade e prevenir falhas dispendiosas, reduzindo, assim, os custos associados à substituição e reparação de equipamentos. Estas práticas prolongam a vida útil dos equipamentos, contribuindo para uma gestão financeira mais eficiente.

Além disso, a gestão de ativos proporciona uma base sólida para a tomada de decisão informada. Ao implementar um sistema estruturado de gestão de ativos (International Organization for Standardization, 2014a, 2018g, 2024), os laboratórios de ensaios de materiais podem aceder a dados precisos e em tempo real sobre o estado e desempenho dos seus ativos. Esta informação permite aos gestores tomar decisões fundamentadas sobre investimentos em novos equipamentos, estratégias de manutenção e alocação de recursos, garantindo que estas decisões estão alinhadas com os objetivos estratégicos do laboratório.

A norma ISO 55000 destaca a melhoria da gestão de riscos como um benefício essencial. Nos laboratórios de ensaios de materiais, a identificação e mitigação de riscos relacionados com os ativos, como obsolescência tecnológica, falhas em equipamentos críticos ou não conformidade regulatória, são cruciais para garantir a continuidade e a qualidade das operações. A gestão de ativos fornece metodologias para gerir esses riscos de forma proativa, aumentando a resiliência do laboratório<sup>34</sup>.

A gestão eficaz de ativos assegura que os equipamentos funcionam adequadamente<sup>35</sup> e os processos são consistentes, garantindo resultados fiáveis e de alta qualidade. Isto reforça a confiança dos clientes, incrementa a sua satisfação e fortalece a reputação do laboratório.

A conformidade com normas como a ISO 17025 é outro aspeto crítico. A gestão de ativos facilita a manutenção de registos precisos sobre o uso e manutenção dos equipamentos, simplificando auditorias e inspeções externas<sup>36</sup>. Além disso, promove uma cultura de responsabilidade e transparência, alinhando as práticas do laboratório aos padrões internacionais. Esta abordagem contribui também para a sustentabilidade, reduzindo emissões de gases com efeito de estufa e preservando recursos, evidenciando responsabilidade social e conduta ética (IPCC, 2023; Nelson & Stout, 2022).

A gestão de ativos contribui igualmente para a sustentabilidade dos laboratórios, promovendo o uso eficiente de recursos e a redução do desperdício<sup>37</sup>. Ao implementar políticas de sustentabilidade, como a reutilização de materiais e a gestão eficiente da energia (International Organization for Standardization, 2014b, 2018h), os laboratórios podem não só reduzir os seus custos operacionais, mas também melhorar a sua pegada ecológica. A eficiência operacional resultante da otimização dos processos e da maximização da utilização dos ativos disponíveis assegura que cada componente do laboratório contribui para o seu desempenho global.

Um laboratório de ensaios de materiais que adota uma gestão eficaz de ativos melhora significativamente a sua reputação no mercado. A capacidade de garantir a fiabilidade dos serviços, o cumprimento rigoroso das normas e a gestão proativa de riscos posiciona-o como uma referência no setor. Esta reputação positiva *atrai* novos clientes e parcerias, fortalecendo a competitividade e a sustentabilidade a longo prazo.

---

<sup>34</sup> Capacidade de adaptação do laboratório de ensaios num ambiente complexo e em mudança.

<sup>35</sup> Segurança de funcionamento (disponibilidade, fiabilidade, manutibilidade, logística da manutenção) como refere a norma internacional ISO 55000 já referida anteriormente.

<sup>36</sup> Por exemplo, em Portugal, o Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto, aprova o Regulamento de Instalação e de Funcionamento de Recipientes sob Pressão Simples e de Equipamentos sob Pressão, o qual estabelece as condições a observar para a inspeção periódica obrigatória, destinada a verificar a aptidão de recipientes ou equipamentos abrangidos, bem como se as condições da instalação se mantêm.

<sup>37</sup> Medir o progresso é útil para assegurar a utilização eficaz dos recursos e atingir os objetivos ambientais do laboratório de ensaios (International Organization for Standardization, 2016).

A gestão estratégica de ativos, alinhada com a norma ISO 55000, oferece múltiplos benefícios, desde a otimização financeira até à resiliência e conformidade. Ao integrar essas práticas, os laboratórios aumentam a eficiência, promovem a inovação, a qualidade e asseguram a sua sustentabilidade futura.

### **2.3. Custos e Investimentos na Gestão de Ativos em Laboratórios de Ensaios de Materiais**

A gestão eficaz de ativos em laboratórios de ensaios de materiais requer uma análise meticulosa dos custos associados e dos investimentos necessários, fundamentais para assegurar operações eficientes e contribuir para a sustentabilidade financeira destas instalações. Os custos diretos, como manutenção de equipamentos de ensaio (Shimadzu Corporation, 2016) e aquisição de tecnologias de ponta, são fatores-chave que impactam o orçamento operacional desses laboratórios. A negligência na gestão desses custos pode resultar em equipamentos desatualizados e, conseqüentemente, na obsolescência tecnológica (Ma, 2021).

Além dos custos diretos, salienta-se que os custos indiretos, incluindo formação contínua dos colaboradores e colaboradoras e despesas associadas à conformidade legal e regulatória, devem ser cuidadosamente considerados. Estes custos indiretos têm um papel crucial na manutenção da competência da equipa e no cumprimento das normas e regulamentações da indústria [por exemplo, a norma internacional ISO/IEC 17025 “*General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*” (Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração) (International Organization for Standardization, 2017a)].

Os investimentos necessários na gestão de ativos englobam não apenas a aquisição de tecnologias avançadas, mas também a implementação de sistemas de monitorização e manutenção preditiva (Lima, 2017)<sup>38</sup>, manutenção centrada na fiabilidade, conforme destacado por Moubrey (1999). Tais investimentos visam aumentar a eficiência operacional, reduzir custos a longo prazo e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Ao considerar os investimentos, é fundamental discutir o potencial retorno desses investimentos<sup>39</sup>. Poder-se-á argumentar que a modernização da infraestrutura e a implementação de práticas avançadas de gestão de ativos podem resultar em melhorias significativas na precisão dos ensaios e, conseqüentemente, na reputação<sup>40</sup> e na competitividade do laboratório.

Em síntese, a gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais exige uma abordagem estratégica para equilibrar custos e investimentos. Uma análise abrangente, como proposta nesta investigação, é essencial para garantir a eficiência operacional, a conformidade regulatória e o sucesso contínuo dessas instalações cruciais.

#### **2.3.1. Otimização de Custos e Investimentos: Estratégias Avançadas de Gestão de Ativos em Laboratórios de Ensaios de Materiais**

Num contexto onde a eficiência operacional e a gestão eficaz de recursos são fundamentais, a otimização de custos e investimentos torna-se uma abordagem essencial na gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais. Esta estratégia avançada visa maximizar o retorno sobre os investimentos, mantendo ou melhorando a qualidade das operações laboratoriais. Para atingir este objetivo, é crucial implementar práticas avançadas de gestão de ativos. Isso inclui a avaliação cuidadosa das necessidades específicas do laboratório, a identificação de áreas onde os investimentos podem ser mais eficazes e a implementação de medidas para garantir a durabilidade e eficiência dos ativos adquiridos.

A otimização de custos não implica simplesmente cortes orçamentais, mas sim uma alocação inteligente de recursos. Isso pode envolver a escolha estratégica de equipamentos que ofereçam o melhor desempenho ao

---

<sup>38</sup> Inspirando-nos em iniciativas bem-sucedidas na indústria da aviação, como evidenciado no trabalho de Lima (2017), que desenvolveu um programa de monitorização da *saúde* de aeronaves para a frota da Embraer ERJ-190/195 da Portugal Airlines, reconhecemos a aplicabilidade da implementação de sistemas de monitorização e manutenção preditiva em contextos específicos. A investigação destacou a eficácia desses programas na deteção precoce de degradação em sistemas críticos, proporcionando argumentos valiosos para a gestão eficiente de ativos.

<sup>39</sup> Normalmente calcula-se o indicador “retorno do investimento” ou *return on investment* (ROI) em língua inglesa.

<sup>40</sup> Um dos benefícios da gestão de ativos referidos na ISO 55000.

longo do tempo, evitando custos recorrentes de manutenção ou substituição. Além disso, a implementação de tecnologias de monitorização e manutenção preditiva pode contribuir para evitar falhas inesperadas, reduzindo os custos associados a paragens não planeadas (Smith & Hinchcliffe, 2004).

No que diz respeito aos investimentos, a estratégia avançada de gestão de ativos considera não apenas o custo inicial de aquisição, mas também o ciclo de vida completo. Avaliar os custos operacionais, manutenção e eventuais atualizações ao longo do tempo é crucial para tomar decisões informadas.

Assim, a otimização de custos e investimentos através de práticas avançadas de gestão de ativos não só permite um uso mais eficiente dos recursos financeiros, mas também contribui para a sustentabilidade e longevidade dos laboratórios de ensaios de materiais, garantindo a qualidade contínua das suas atividades.

### **3. Metodologia**

Este artigo adota uma abordagem teórica, assente numa revisão de literatura e numa análise crítica das práticas de gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, com o objetivo de investigar a relação entre a gestão de ativos e a eficiência operacional. A metodologia envolve, numa primeira fase, uma revisão de publicações científicas, normas internacionais (como a ISO 55000 e ISO 17025) e relatórios técnicos, visando identificar práticas e desafios específicos na gestão de ativos.

Seguidamente, procede-se a uma análise crítica das práticas identificadas, com a categorização dos ativos em físicos e intangíveis e uma avaliação do impacto da sua gestão na eficiência operacional e conformidade com normas de acreditação, nomeadamente a ISO 17025. A partir desta análise, é proposto um modelo teórico piloto que relaciona a gestão de ativos com a eficiência operacional, evidenciando práticas como a manutenção preditiva e a calibração regular.

Apesar de este estudo se basear em dados teóricos, sugere-se que futuras investigações validem o modelo piloto proposto através de estudos empíricos. Esta metodologia oferece uma base sólida para compreender o contributo da gestão de ativos na otimização da eficiência em laboratórios de ensaios de materiais, propondo um modelo piloto aplicável a futuras investigações.

### **4. Análise e Discussão**

Este artigo teórico explorou a gestão de ativos como estratégia essencial para otimizar a eficiência em laboratórios de ensaios de materiais. Foram destacados aspetos-chave como o papel central dos laboratórios em diversas indústrias, a importância da gestão de riscos e resiliência, o impacto da gestão de ativos no desempenho global e o equilíbrio entre custos e investimentos.

Os laboratórios de ensaios são cruciais para garantir a conformidade, o desenvolvimento de materiais e a inovação tecnológica. Dada a crescente exigência regulatória e competitiva, uma gestão eficaz de ativos torna-se vital para assegurar a precisão, fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, além de uma operação eficiente. A gestão estratégica de ativos permite aos laboratórios, independentemente da sua dimensão, responder às exigências do mercado, mantendo a sua relevância.

A abordagem holística da gestão de ativos abrange tanto os ativos físicos (por exemplo, os equipamentos laboratoriais) como os não físicos (por exemplo, o conhecimento técnico, a reputação e a imparcialidade). A manutenção e calibração dos ativos físicos garantem a fiabilidade dos ensaios, enquanto a formação contínua e as políticas da qualidade asseguram a gestão eficaz dos ativos intangíveis. A imparcialidade, em particular, emerge como um ativo crítico, indispensável para a credibilidade dos laboratórios, especialmente no cumprimento de normas como a ISO 17025.

A gestão de riscos desempenha um papel essencial ao assegurar que os laboratórios possam mitigar falhas operacionais, tanto nos ativos físicos como nos processos. Estratégias como a manutenção preditiva e a redundância de equipamentos críticos são fundamentais para manter a resiliência e a continuidade das operações.

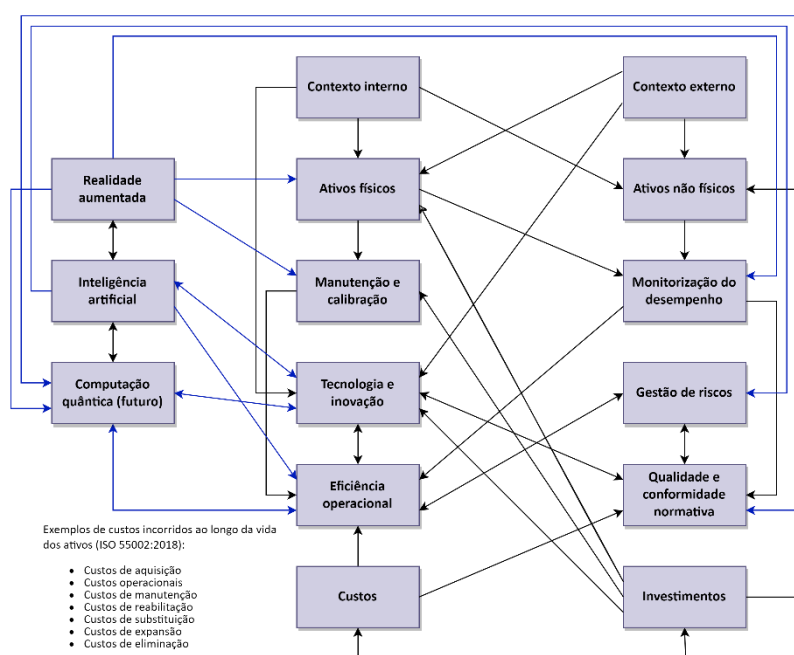
A implementação de uma gestão de ativos bem estruturada tem impactos diretos no desempenho dos laboratórios, otimizando recursos, reduzindo custos operacionais e assegurando a conformidade normativa. Além disso, os investimentos em ativos físicos e intangíveis, incluindo a formação do pessoal e os sistemas de gestão, são essenciais para a competitividade e sustentabilidade dos laboratórios. A análise custo-benefício torna-se especialmente relevante para laboratórios de menor dimensão, onde os recursos são limitados.

O uso de tecnologias avançadas no laboratório do futuro (Shute & Lynch, 2021), como a inteligência artificial (IA), a realidade aumentada (RA) (IGI Global, 2018) e, futuramente, a computação quântica (CQ) (kaku, 2023), revolucionará a gestão de ativos. A IA permitirá uma análise mais precisa de dados e apoio à tomada de decisões, enquanto a RA melhorará a monitorização e a interação com os equipamentos. A computação quântica poderá transformar significativamente a capacidade de processamento de grandes volumes de dados, potenciando ainda mais a eficiência operacional dos laboratórios.

#### 4.1. Modelo de Gestão de Ativos em Laboratórios de Ensaios de Materiais

O modelo piloto proposto na figura 3 visa representar a interligação entre as principais variáveis envolvidas na gestão de ativos. O diagrama inclui as seguintes variáveis principais: ativos físicos, ativos não físicos, manutenção e calibração<sup>41</sup>, monitorização do desempenho, tecnologia e inovação, gestão de riscos, eficiência operacional, qualidade e conformidade normativa, custos e investimento. Estas variáveis são influenciadas pelos contextos interno e externo, que afetam a gestão de ativos e o desempenho global dos laboratórios.

Figura 3: Modelo de gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais



Além disso, o modelo integra a RA, IA e CQ como tecnologias que interagem com as demais variáveis, melhorando a eficiência e a capacidade de adaptação dos laboratórios. As interações são representadas por setas unidirecionais, que indicam influência direta, e bidirecionais, que representam relações de retroação entre as

<sup>41</sup> Operação que estabelece, sob condições especificadas, num primeiro passo, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; num segundo passo, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação (International Organization of Legal Metrology, 2013). É relevante não confundir a calibração com o ajuste de um sistema de medição.



variáveis. A introdução destas novas tecnologias oferece um potencial significativo para melhorar a gestão de ativos e garantir uma resposta adaptativa às mudanças tecnológicas e de mercado.

Este modelo<sup>42</sup> apresenta, de forma dinâmica, as inter-relações entre variáveis críticas, sublinhando a importância de uma abordagem integrada para garantir a sustentabilidade e a competitividade dos laboratórios a longo prazo.

## 5. Conclusão

As conclusões do artigo destacam a vital importância dos laboratórios de ensaios de materiais, ressaltando o seu papel crucial em diversas indústrias. A integração estratégica da gestão de ativos nesses laboratórios emerge como uma necessidade para assegurar a eficiência operacional e contribuir positivamente para os resultados dos ensaios.

A análise aprofundada sobre custos e investimentos na gestão de ativos destaca a complexidade desse processo, enfatizando a importância de considerar o ciclo de vida completo dos ativos. A otimização de custos e investimentos através de estratégias avançadas de gestão de ativos revela-se como uma abordagem valiosa para garantir a durabilidade e a eficácia.

No contexto de investigação futura, sugere-se uma exploração mais profunda da implementação prática dessas estratégias, avaliando o seu impacto real na eficiência operacional e na qualidade dos resultados dos ensaios. Além disso, incentiva-se a investigação no desenvolvimento de tecnologias inovadoras para monitorização e manutenção preditiva em laboratórios de ensaios de materiais, promovendo uma abordagem proativa na gestão de ativos.

Em síntese, o artigo sublinha a importância vital dos laboratórios de ensaios de materiais, defende a integração estratégica da gestão de ativos, explora estratégias avançadas de otimização de custos e investimentos, e aponta para áreas de investigação futura que podem contribuir para melhorar continuamente esses ambientes laboratoriais essenciais.

## Referências

- Brooker, D., & Gerrand, M. (2021). *Practical reliability data analysis for non-reliability engineers*. Artech House.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Chand, V., Dixit, R., & Arpita, K. (2024). The current scenario in nanocomposite and nanohybrid materials. In R. K. Verma, D. K. Singh, & J. P. Davim (Eds.), *Nanocomposite and nanohybrid materials: Processing and applications*. De Gruyter.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials* (3rd ed.). Springer.
- Comissão Europeia. (2021). *Proposta de regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho* [COM(2021) 206 final].
- Comissão Europeia. (2022). *Uma nova agenda europeia para a inovação* [COM(2022) 332 final].
- Craigien, D., Diakun-Thibault, N., & Purse, R. (2014). Defining cybersecurity. *Technology Innovation Management Review*, 4(10), 13–21. <http://doi.org/10.22215/timreview/835>
- Daum, J. H. (2003). *Intangible assets and value creation*. Wiley.
- Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto. (2019). *Diário da República: 1.ª série, n.º 166*.

---

<sup>42</sup> No caso dos laboratórios de ensaios de materiais, um modelo piloto de gestão de ativos será um projeto experimental que visa testar e validar as metodologias e práticas propostas para a gestão eficiente dos ativos físicos e não físicos (como equipamentos, infraestruturas, conhecimento técnico, dados). O propósito será observar o desempenho do modelo num laboratório específico, analisar os resultados e ajustar as abordagens de acordo com as lições aprendidas.

European Labour Authority. (2023). *Artificial intelligence and algorithms in risk assessment: Addressing bias, discrimination and other legal and ethical issues*.

Goswami, L., Deka, M. K., & Roy, M. (2023). Artificial intelligence in material engineering: A review on applications of artificial intelligence in material engineering. *Advanced Engineering Materials*, 25(13). <https://doi.org/10.1037/ppm0000185>

Gupta, A. (2020). *Advanced algorithms*. Carnegie Mellon University.

Honey, G. (2017). *A short guide to reputation risk*. Routledge.

IGI Global. (2018). *Virtual and augmented reality: Concepts, methodologies, tools, and applications*.

Institute of Asset Management. (2021). *Developing and maintaining a strategic asset management plan (SAMP)* (Version 1.1).

Instituto Superior Técnico. (2016). *Manual de segurança para laboratórios*.

International Organization for Standardization. (2010). *Guidance on social responsibility* (ISO Standard No. 26000:2010).

International Organization for Standardization. (2014a). *Asset management: Overview, principles and terminology* (ISO Standard No. 55000:2014).

International Organization for Standardization. (2014b). *Energy audits—Requirements with guidance for use* (ISO Standard No. 50002:2014).

International Organization for Standardization. (2015). *Quality management systems—Fundamentals and vocabulary* (ISO Standard No. 9000:2015).

International Organization for Standardization. (2016). *Environmental management systems—General guidelines on implementation* (ISO Standard No. 14004:2016).

International Organization for Standardization. (2017a). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* (ISO/IEC Standard No. 17025:2017).

International Organization for Standardization. (2017b). *Project, programme and portfolio management—Guidance on governance* (ISO Standard No. 21505:2017).

International Organization for Standardization. (2018a). *Guidelines for auditing management systems* (ISO Standard No. 19011:2018).

International Organization for Standardization. (2018b). *Quality management—Customer satisfaction—Guidelines for monitoring and measuring* (ISO Standard No. 10004:2018).

International Organization for Standardization. (2018c). *Risk management—Guidelines* (ISO Standard No. 31000:2018).

International Organization for Standardization. (2018d). *Quality management—Customer satisfaction—Guidelines for complaints handling in organizations* (ISO Standard No. 10002:2018).

International Organization for Standardization. (2018e). *Quality management—Customer satisfaction—Guidelines for dispute resolution external to organizations* (ISO Standard No. 10003:2018).

International Organization for Standardization. (2018f). *Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use* (ISO Standard No. 45001:2018).

- International Organization for Standardization. (2018g). *Asset management—Management systems—Guidelines for the application of ISO 55001* (ISO Standard No. 55002:2018).
- International Organization for Standardization. (2018h). *Energy management systems—Requirements with guidance for use* (ISO Standard No. 50001:2018).
- International Organization for Standardization. (2019a). *Security and resilience—Business continuity management systems—Requirements* (ISO Standard No. 22301:2019).
- International Organization for Standardization. (2019b). *Quality management—Guidelines for competence management and people development* (ISO Standard No. 10015:2019).
- International Organization for Standardization. (2020a). *Conformity assessment: Vocabulary and general principles* (ISO/IEC Standard No. 17000:2020).
- International Organization for Standardization. (2020b). *Information technology—Cybersecurity—Overview and concepts* (ISO/IEC TS No. 27100:2020).
- International Organization for Standardization. (2023). *Information technology—Artificial intelligence—Management system* (ISO/IEC Standard No. 42001:2023).
- International Organization for Standardization. (2024). *Asset management—Asset management system—Requirements* (ISO Standard No. 55001:2024).
- International Organization of Legal Metrology (OIML). (2013). *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)*.
- IPAC. (2018). *Guia para a aplicação da NP EN ISO/IEC 17025 (OGC001)*.
- IPCC. (2023). Summary for policymakers. In H. Lee & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis report* (pp. 1–34). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Kaku, M. (2023). *Quantum supremacy: How the quantum computer revolution will change everything*. Penguin Random House.
- Kieso, D. E., Weygandt, J. J., & Warfield, T. D. (2001). *Intermediate accounting* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Lima, N. A. F. S. (2017). *Development of an aircraft health monitoring program for predictive maintenance* [Master's thesis, Universidade de Lisboa]. [http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997258174/ExtendedAbstract\\_73733.pdf](http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997258174/ExtendedAbstract_73733.pdf)
- Ma, S. (2021). *Technological obsolescence*. National Bureau of Economic Research. [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w29504/w29504.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29504/w29504.pdf)
- Machado, J. R. B. (2000). *Contabilidade financeira: Da perspectiva da determinação dos resultados* (2.ª ed.). ProTOContas.
- Marshall, A. (1920). *Principles of economics* (8th ed.). Macmillan.
- Materials Research Society. (2010). *Advanced materials for our energy future*. <https://www.tms.org/portal/downloads/publications/studies/MaterialsandEnergyEfficiency/1005AdvMatsforEnergy.pdf>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Elsevier Science.
- Moubray, J. (1999). *Reliability-centred maintenance*. Elsevier Science & Technology.
- Mouritz, A. P. (2012). *Introduction to aerospace materials*. Woodhead Publishing.



Naito, M., Yokoyama, T., Hosokawa, K., & Nogi, K. (Eds.). (2018). *Nanoparticle technology handbook* (3rd ed.). Elsevier.

Nelson, J. S., & Stout, L. A. (2022). *Business ethics: What everyone needs to know*. Oxford University Press.

OECD/Eurostat. (2018). *Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation* (4th ed.). OECD Publishing.

Rasmussen, J., Duncan, K., & Leplat, J. (Eds.). (1987). *New technology and human error*. John Wiley & Sons.

Rocca, M. L. (2021). *Advanced algorithms and data structures*. Manning Publications.

Schumpeter, J. (2012). *Teoria do desenvolvimento económico: Um estudo sobre lucro empresarial, capital, crédito, juro e ciclo da conjuntura*. Fundação Calouste Gulbenkian.

Shimadzu Corporation. (2016). *Application handbook: Materials testing*. [https://www.shimadzu.cz/sites/shimadzu.seg/files/seg\\_3385\\_apphb\\_testing\\_all.compressed.pdf](https://www.shimadzu.cz/sites/shimadzu.seg/files/seg_3385_apphb_testing_all.compressed.pdf)

Shute, R., & Lynch, N. (2021). The next big developments: The lab of the future. In K. Zupancic, T. Pavlek, & J. Erjavec (Eds.), *Digital transformation of the laboratory: A practical guide to the connected lab*. Wiley-VCH.

Smith, A. (2014). *Inquérito sobre a natureza e as causas da riqueza das nações* (Vol. 1, 7.ª ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.

Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM: Gateway to world class maintenance*. Elsevier.

U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Laboratories for the 21st century: An introduction to low-energy design*.

Williams, R. (2020). *Data management and data description*. Taylor & Francis.

Yada, A. (2024). Introduction to data processing: Understanding the core concepts of data modeling. In P. Whig et al. (Eds.), *Practical applications of data processing, algorithms, and modeling* (pp. 1–15). IGI Global.

Zupancic, K., Pavlek, T., & Erjavec, J. (Eds.). (2021). *Digital transformation of the laboratory: A practical guide to the connected lab*. Wiley.

### Declaração Ética

**Conflito de Interesse:** Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

## Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo (MCCR) aplicada en una línea de producción de envases biodegradables

### *Qualitative Risk Criticality Matrix (QRCM) applied in a biodegradable packaging production line*

[10.29073/rae.v3i2.969](https://doi.org/10.29073/rae.v3i2.969)

**Recebido:** 24 de dezembro de 2024.

**Aprovado:** 20 de maio de 2025.

**Publicado:** 8 de abril de 2026.

**Autor/a 1:** Carlos Parra , Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [carlos.parram@usm.cl](mailto:carlos.parram@usm.cl).

**Autor/a 2:** Giovanni Tino, MOLPACK, Planta MOLPASA, Panamá, [giovanni.tino@molpack.net](mailto:giovanni.tino@molpack.net).

**Autor/a 3:** Jorge Parra, Technological University Dublin, Irlanda, [jorge.parra9299@outlook.com](mailto:jorge.parra9299@outlook.com).

**Autor/a 4:** Félix Pizarro, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [felix.pizarro@usm.cl](mailto:felix.pizarro@usm.cl).

**Autor/a 5:** Pablo Duque, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [pablo.duque@usm.cl](mailto:pablo.duque@usm.cl).

**Autor/a 6:** Erik Kohnenkamp, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [erik.kohlenkamp@usm.cl](mailto:erik.kohlenkamp@usm.cl).

**Autor/a 7:** Carlos Baldi, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [carlos.baldi@usm.cl](mailto:carlos.baldi@usm.cl).

**Autor/a 8:** Ricardo Ciudad, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [ricardo.ciudad@usm.cl](mailto:ricardo.ciudad@usm.cl).

**Autor/a 9:** Vicente González-Prida, Universidad de Sevilla, Espanha, [vgonzalezprida@us.es](mailto:vgonzalezprida@us.es).

#### Resumo

Las técnicas de análisis de criticidad que consideran el factor Riesgo, son herramientas que permiten en primer lugar, identificar la importancia de los activos de una instalación industrial y en segundo lugar, direccionar de forma eficiente los recursos: humanos, económicos y tecnológicos. En el siguiente artículo, se explican los aspectos teóricos básicos de un modelo de Análisis de Riesgo Cualitativo, utilizado para determinar la criticidad de los equipos y cuyo proceso considera, la evaluación de dos factores claves: confiabilidad (frecuencia de fallos) y consecuencias (impacto que generan las fallas sobre la seguridad, el ambiente y la producción). Adicionalmente, se presenta un caso de estudio, basado en la herramienta denominada: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo (MCCR), la cual se aplica en una planta de manufactura de envases biodegradables del sector agroindustrial de Panamá.

A continuación, se describen algunos de los aspectos de mayor relevancia a desarrollar en el artículo:

- La aplicación correcta de los métodos cualitativos de Análisis de Criticidad, ayudará a los niveles gerenciales y técnicos a tomar decisiones con un menor nivel de incertidumbre en los procesos relacionados con la operación y el mantenimiento de los activos industriales. En relación específica a la gestión del mantenimiento, los resultados de un proceso de análisis de criticidad basado en Riesgo, permitirán que se puedan desarrollar estrategias de mantenimiento con un enfoque de optimización Costo-Riesgo-Beneficio.
- Es importante que la gerencia de mantenimiento entienda que los modelos de criticidad a diseñar, deben alinearse con los objetivos del negocio y no cometer el error de desarrollar herramientas de criticidad, donde solo se incluyan factores particulares del proceso de mantenimiento, con respecto a este punto, el utilizar modelos de criticidad basados en Riesgo, generan un escenario favorable, para evaluar el impacto de los factores inherentes al proceso de mantenimiento y además, facilitan el proceso para adicionar factores tales como: producción, calidad, costos de pérdidas de producción, seguridad, ambiente, etc., los cuales se relacionan con un proceso integral de gestión de activos.

Finalmente, implementación correcta de las recomendaciones obtenidas a partir del análisis de los resultados de la metodología MCCR (Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo), optimizará los procesos técnicos de la

gestión del mantenimiento y mejorará la rentabilidad de los productos manufacturados en la Planta de Envases Biodegradables MOLPASA (Panamá), a lo largo de todo su ciclo de vida industrial.

**Palavras-Chave:** Consecuencias; Fallos; Matriz de Criticidad; Riesgo.

### **Abstract**

The criticality analysis techniques that consider the Risk factor are tools that, first, allow, to identify the importance of assets in an industrial facility, and second, enable the efficient allocation of resources: human, financial, and technological. In the following technical article, are explained, the basic theoretical aspects of a Qualitative Risk Analysis model used to determine the criticality of equipment. This process involves the evaluation of two key factors: reliability (failure frequency) and consequences (impact that failures have on safety, the environment, and production). Additionally, a case study is presented, which includes the development of a model based on a Qualitative Risk Criticality Matrix (QRCM), applied in a biodegradable packaging manufacturing plant in the agro-industrial sector of Panamá.

The following describes some of the most important keys to be developed in the article:

- The correct application of Qualitative Criticality Analysis methods will help management and technical levels make decisions with a lower level of uncertainty in processes related to the operation and maintenance of industrial assets. Specifically, regarding maintenance management, the results of a Risk-based criticality analysis process will allow the development of maintenance strategies with a Cost-Risk-Benefit optimization approach.
- It is important that the maintenance management understands that the criticality models to be designed must align with the business objectives and not make the mistake of developing criticality tools where only specific factors of the maintenance process are included. In this regard, using risk-based criticality models creates a favorable scenario for evaluating the impact of factors inherent to the maintenance process and also facilitates the process of adding factors such as production, quality, production loss costs, safety, environment, etc., which are related to a comprehensive asset management process.

Finally, the correct application and implementation of recommendations obtained from the analysis of the results of the QRCM (Qualitative Risk Criticality Matrix), will optimize the technical processes of maintenance management and improve the profitability of manufactured products at the Biodegradable Packaging Plant MOLPASA throughout its entire industrial life cycle.

**Keywords:** Consequences; Criticality Matrix; Failures; Risk.

## **1. Introducción a los Procesos de Criticidad**

Tomando como referencia el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de 8 fases (ver Figura 1), el presente artículo, describe el proceso general de análisis de criticidad, el cual se relaciona con la Fase 2 del MGM [1, 2, 3]. Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan [4].

El término “crítico” y la propia definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones dependiendo del objetivo que se está tratando de jerarquizar [5, 6, 7]. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde esta óptica existe una gran diversidad de posibles criterios

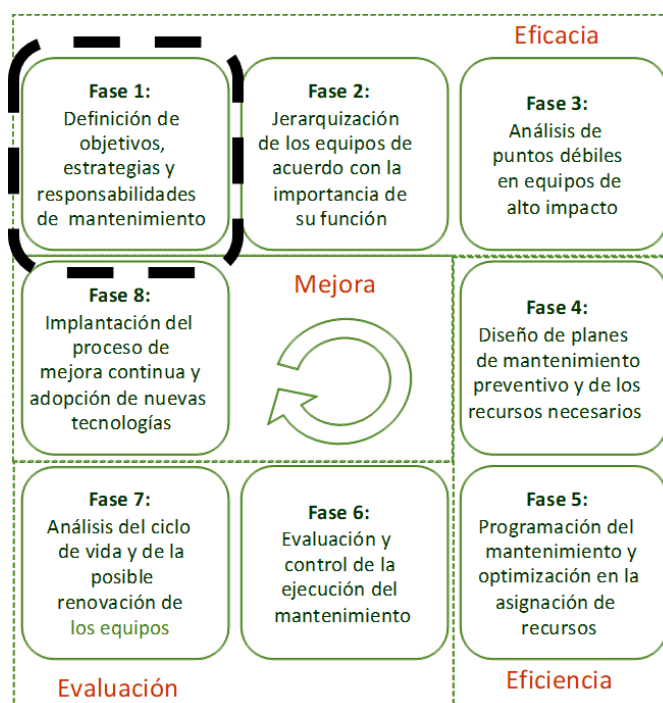


que permiten evaluar la criticidad de un activo de producción. Los motivos de priorización pueden variar según las oportunidades y las necesidades de la organización [8, 9, 10].

A continuación, se presentan algunos criterios comunes a utilizar dentro de los procesos de jerarquización [6,11]:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallos / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento
- Disponibilidad de repuestos.

**Figura 1:** Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).



Específicamente, para el desarrollo de este capítulo, se consideraron varias de las metodologías de análisis de criticidad sustentadas en la teoría del riesgo, concepto que mezcla el factor fiabilidad (frecuencia de fallos) y el factor severidad/consecuencia del fallo (impacto de los fallos en: seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.) [6, 12]. Es importante mencionar que los resultados que se obtienen con la aplicación de las técnicas de criticidad representan la materia prima con la cual se debe iniciar cualquier proceso de implantación de técnicas de optimización de Ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. A continuación, se presenta un modelo de jerarquización basado en la evaluación del riesgo y orientado a identificar los equipos críticos de un sistema de producción [1].

En el contexto del proceso de evaluaciones de riesgo industrial, se combina el análisis de dos factores: la probabilidad/frecuencia de que se produzca un evento de fallo y el impacto que el evento de fallo causaría, tanto en la seguridad, el ambiente y la producción (costos de penalización por los fallos) [1, 5]. Las técnicas de evaluación de riesgos se pueden usar para evaluar la criticidad de los equipos/activos y alinear las acciones de mantenimiento a los objetivos claves del negocio. Al realizar esto, se asegura de que las acciones de mantenimiento sean eficaces desde el punto de vista de los principales costos asociados al mantenimiento y lo



más importante sean eficientes para minimizar las consecuencias sobre la seguridad, el ambiente, las pérdidas por penalización en producción, y, en última instancia, sobre la insatisfacción del cliente [7]. El proceso de toma de decisiones detrás de la determinación de la criticidad de los activos requiere de una estructura jerárquica y de la aplicación de algunos modelos matemáticos que permitan obtener ponderaciones y prioridades de los activos a evaluar. En este estudio, los pasos a seguir para diseñar el modelo de criticidad basado en riesgo serían los siguientes [1, 7]:

- Definir un alcance y el propósito para el análisis de criticidad basada en el modelo de riesgo. Esto será definido en función de las metas del mantenimiento alineadas a las metas de del negocio y la gerencia.
- Definir el nivel de detalle del análisis (taxonomía - referencia Norma ISO 14224).
- Establecer criterios de importancia del Modelo de Riesgo: rangos de frecuencias de fallas (FF) y los factores de consecuencias (C) a ser evaluados (alineados a los objetivos del negocio) dentro del modelo de riesgo seleccionado.
- Seleccionar o desarrollar un método de evaluación de Riesgo que permita jerarquizar los sistemas del contexto operacional a ser analizado.

En los últimos años, como consecuencia de la versatilidad y adaptabilidad del proceso de análisis del factor Riesgo, se han desarrollado una diversidad de herramientas de criticidad de equipos, basadas en dicho factor, capaces de ajustarse a las necesidades de los diversos contextos industriales. A continuación, se presenta un resumen de las referencias más importantes (ver Tabla 1), relacionadas con las técnicas de criticidad basadas en Riesgo aplicadas en el área de mantenimiento:

**Tabla 1:** Referencias relacionadas con técnicas de criticidad basadas en el el factor Riesgo.

Autor/es	Título
El-Thalji, I. [13]	Emerging Practices in Risk-Based Maintenance Management Driven by Industrial Transitions: Multi-Case Studies and Reflections, 2025
Liao, R.; He, Y.; Feng, T.; Yang, X.; Dai, W.; Zhang, W. [14]	Mission reliability-driven risk-based predictive maintenance approach of multistate manufacturing system, 2023
Fernández, P.M.G.; López, A.J.G.; Márquez, A.C.; Fernández, J.F.G.; Marcos, J.A. [15]	Dynamic Risk Assessment for CBM-based adaptation of maintenance planning, 2022
Abbassi, R.; Arzaghi, E.; Yazdi, M.; Aryai, V.; Garaniya, V.; Rahnamayezekavat, P. [16]	Risk-based and predictive maintenance planning of engineering infrastructure: Existing quantitative techniques and future directions, 2022
Parra, C.; Crespo, A. [7]	Criticality Analysis Methods. Based on the Risk Assessment Process, 2020
Kim, D.; Lee, Y.; Jae Lee, M. [17]	Development of Risk-Based Bridge Maintenance Prioritization Methodology, 2018
ISO 14224 [18]	Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries—Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment. International Organization for Standardization, 2016.
NORSOKZ-008 [19]	Risk Based Maintenance and Consequence Classification. Standard Norge, 2017
Crespo, A.; Moreu de León, P.; Gómez, J.; Parra, C.; López, M. [3]	The maintenance management framework, 2009
Jones, R. [12]	Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach, 1995
Woodhouse, J. [4]	Criticality Analysis Revisited, 1994
Saaty T.L. [20]	How to make a decision: the analytic prioritization process, 1990

## 2. Modelo de Criticidad MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo

Para el siguiente artículo, se toma como referencia el modelo de criticidad denominado Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo: MCCR, método diseñado para los activos de producción Off-Shore del área de Magallanes, elaborada para ENAP SIPETROL, (ver informe técnico: ENAP SIPETROL, 2015 [21]). El modelo propuesto está basado en la estimación del factor Riesgo y se ajustó y adaptó a las necesidades de una de las principales empresas del sector de Envases Biodegradables de Centroamérica, ubicada específicamente en la Ciudad de Panamá. A continuación, se presentan las expresiones generales para la evaluación del Modelo de Criticidad basado en el factor de Riesgo [1, 22, 23, 24]:

$$\text{Riesgo} = FF \times C \text{ (1)}$$

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos (número de fallos en un tiempo determinado)

C = Consecuencias de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.

Dentro del proceso de análisis de criticidad basada en Riesgo, se deben seleccionar los factores y las escalas de evaluación, relacionadas con las consecuencias y las frecuencias de los fallos. A continuación, se presentan los factores de consecuencias y frecuencias de fallos propuestos. Es importante mencionar, que los factores y escalas de evaluación seleccionados, están alineados con los objetivos estratégicos del negocio y fueron aprobados por la dirección de la empresa en estudio.

Factores ajustados a la Planta de Envases Biodegradables:

### Frecuencia de fallos (FF)

1. Excelente: una ocurrencia posterior a los 12 meses
2. Bueno: al menos una ocurrencia entre 6 y 12 meses
3. Promedio: al menos una ocurrencia entre 3 y 6 meses
4. Pobre: al menos una ocurrencia entre 1 y 3 meses
5. Muy pobre: al menos una ocurrencia al mes

### Consecuencias de los fallos (C)

- Impacto en Seguridad y Medio Ambiente (SHA)
- Costos directos de fallos (CDF)
- Impacto en producción (IP)

### Seguridad–Higiene–Ambiente (SHA)

1. No genera ningún impacto sobre la seguridad y el ambiente
2. Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente
3. Evento genera: daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable
4. Evento genera: lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente
5. Evento catastrófico: muerte y/o Alto impacto ambiental)

### Costes directos de fallos (CDF)

1. Costes inferiores a 100 dólares
2. Costes entre 100 y 1000 dólares
3. Costes entre 1000 y 5000 dólares
4. Costes entre 5000 y 10000 dólares
5. Costes superiores a 10000 dólares

### Impacto en producción (IP)



1. Pérdida producción hasta 0.45 Ton (< 1 horas de parada)
2. Pérdida de producción entre 0.45 y 2.5 Ton (1 < X < 5 horas de parada)
3. Pérdida de producción entre 2.5 y 10 Ton (5 < X < 20 horas de parada)
4. Pérdida de producción entre 10 y 20 Ton (20 < X < 40 horas de parada)
5. Pérdida de producción mayores a 20 Ton (> 40 horas de parada)

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5 (ver Figura 2), donde el eje vertical está formado por cinco niveles de frecuencia de fallos, mientras que el eje horizontal está formado por cinco niveles de consecuencias de fallos.

**Figura 2:** Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo (MCCR).

Frecuencia					
5	A	A	MA	MA	MA
4	M	M	A	A	MA
3	M	M	M	A	MA
2	B	B	B	M	A
1	B	B	B	M	A
	1	2	3	4	5
	Consecuencias				

Para definir el nivel de criticidad de los equipos a ser evaluados, un grupo de expertos, analizan los factores de frecuencia y consecuencia de los fallos y le asignan a cada factor a evaluar, una calificación entre 1 y 5. En resumen, la definición de criticidad se detalla a continuación: primero se selecciona el valor asignado para la frecuencia de fallos (FF) y se define la posición vertical en la matriz del equipo evaluado, luego se toma el valor más alto, asignado a los tres factores de consecuencias de fallos (SH), (CDF) e (IP) y este valor permite definir la posición horizontal del equipo evaluado en la matriz de criticidad. Posteriormente, se toman el valor de frecuencia y el valor más alto obtenido por el lado de las consecuencias y se interceptan dichos valores en la Matriz de Riesgo (Figura 2). De esta forma, se obtiene el nivel de criticidad del equipo evaluado en la matriz de riesgo (la matriz de riesgo está dividida en cuatro regiones que representan cuatro niveles de criticidad):

**B = Baja criticidad**

**M = Media criticidad**

**A = Alta criticidad**

**MA = Muy Alta criticidad**

A continuación, un ejemplo básico del uso de la matriz

Equipo para evaluar: Bomba P101

FF: 2, Bueno (al menos una ocurrencia de fallos entre 6 y 12 meses)

SHA: 2, Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente

CDF: 3, Costes entre 1000 y 5000 dólares

IP: 4, Pérdida de producción entre 10 y 20 Ton (20 < X < 40 horas de parada)

Posición final (valores a interceptar en la Matriz de Riesgo):

Frecuencia de fallos (FF): 2

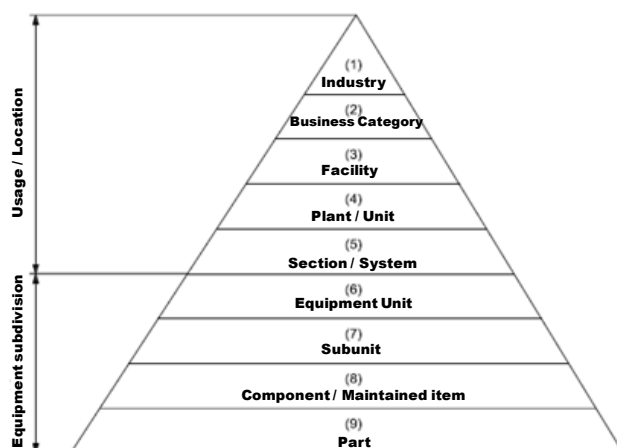
Factor de consecuencias con el valor más alto, IP: 4

Posición en la matriz de criticidad: MC (Medida Criticidad)

### 3. Caso de Estudio: Aplicación del Modelo MCCR en Planta de Envases Biodegradables

A continuación, se presenta el caso práctico de aplicación del modelo de Matriz de Criticidad Cualitativa Basada en Riesgo (MCCR) en la empresa MOLPASA, fábrica de envases biodegradables ubicada en Panamá. El análisis de criticidad se llevó a cabo a nivel de sistemas (Nivel 5), de acuerdo con la norma ISO 14224 (ver Figura 3). La evaluación abarcó un total de 149 activos que forman parte de la planta de envases biodegradables y que están registrados como ubicaciones técnicas dentro de la estructura jerárquica del sistema de gestión de mantenimiento SAP-PM [18, 22, 25].

**Figura 3:** Propuesta de taxonomía para jerarquizar los diferentes niveles de activos físicos según la norma ISO 14224.



#### Equipos que conforman la Planta de Envases Biodegradables

A continuación, se presenta un resumen del equipo y sus principales funciones. Esta cotización comprende una línea de producción completa Hartmann para la fabricación de bandejas para huevos, tipo Eggtec 75, compuesta por las siguientes secciones principales [6]:

- Sección 1.00 — Sistema de pulpa y sistema de preparación de pulpa:
  - El suministro de maquinaria comienza desde el inicio del proceso, donde la materia prima se carga en una cinta transportadora para su ingreso al desintegrador (pulper). Después del desintegrado, la bomba al 5% transfiere la pulpa al tanque de retención (dump chest) y, desde allí, se bombea al tanque de almacenamiento tras un proceso de limpieza. Esta sección incluye todas las partes desde el desintegrador hasta la entrada de la máquina de moldeo: todos los tanques, dispositivos de limpieza, equipos de control y bombas.
- Sección 2.00 — Sistema de aguas blancas:
  - Este sistema recoge y trata el agua de proceso proveniente de la producción, incluyendo diversos tanques y bombas. Adicionalmente, el sistema puede ampliarse con un filtro de aguas blancas para minimizar el consumo de agua fresca.
- Sección 3.00 — Sistema de vacío y aire comprimido:
  - Comprende todos los dispositivos necesarios para generar el vacío requerido en el proceso de moldeo. El sistema de aire comprimido no está incluido y se prevé que sea suministrado localmente.
- Sección 4.00 — Máquina de moldeo:
  - La máquina de moldeo, basada en el reconocido diseño de 2 rotores de Hartmann, forma la pulpa en artículos húmedos con la forma del producto final. Los artículos moldeados se transfieren al sistema de secado para su procesamiento automático posterior. Durante la



operación, un limpiador automático de matrices elimina los residuos del material mediante un cepillo giratorio. Un sistema automático de pulverización de aceite mantiene una película delgada sobre los moldes de prensado para minimizar la deformación de los productos durante el soplado. Una camisa térmica que cubre la rueda de succión permite un bajo consumo de energía y una alta calidad del producto. Esta sección también incluye los moldes de producción necesarios para la operación (cada juego incluye un molde de succión y uno de prensado).

- Sección 5.00 — Sistema de secado:
  - En este sistema, el contenido de humedad de los productos se reduce de aproximadamente un 70% a un 10%. El secador es de tipo convectivo y de múltiples niveles, donde los artículos pasan sobre portadores impulsados por dos cadenas sin fin. El sistema es calentado por aire caliente. Al finalizar, los artículos salen automáticamente y son volcados en cintas transportadoras para el tratamiento posterior.
- Sección 6.00 — Sistema de apilado y embalaje:
  - Esta sección incluye un sistema avanzado de cintas transportadoras de tres filas y un sistema de apilamiento con contador, operado en línea con la máquina de moldeo/secador. Se incluye también la separación automática y compresión de paquetes de bandejas para huevos, así como un túnel de envoltura por termocontracción.
- Sección 7.00 — Sistema eléctrico y de control:
  - Incluye todos los componentes eléctricos y de control, como el tablero principal de distribución de energía, tableros de control, centro de control de motores, arrancadores suaves, cables, equipos neumáticos, etc.
- Sección 8.00 — Accesorios:}
  - Esta sección comprende todos los accesorios tales como repuestos para un año de operación, herramientas de montaje para mallas metálicas en moldes de succión, tuberías, válvulas y bridas para el sistema de pulpa, escaleras y plataformas para el sistema de pulpa, sistema de dosificación de productos químicos, ingeniería, manuales y documentación, así como supervisión de la instalación.

#### Descripción de las funciones de los equipos que conforman la Planta de Envases Biodegradables

- Preparación y tratamiento de la pulpa:
  - La cantidad correcta de materias primas (papel reciclado, productos químicos, entre otros) se coloca sobre la cinta transportadora de alimentación del desintegrador (pulper) de acuerdo con una receta predeterminada. En el desintegrador, las materias primas se mezclan con agua hasta alcanzar la consistencia adecuada. Un rotor ubicado en el fondo del equipo desintegra el papel hasta convertirlo en fibras individuales suspendidas en agua. El equipo de tratamiento de pulpa —como el limpiador de alta densidad, el clasificador de fibras (fibersorter) y una criba vibratoria— elimina las impurezas presentes en la mezcla. Antes de que la pulpa sea conducida hacia la máquina de moldeo, su consistencia es controlada automáticamente mediante la adición de agua blanca.

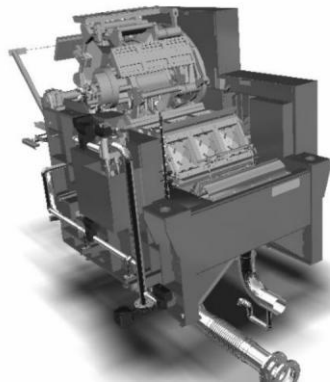
Figura 4: Preparación y tratamiento de pulpa.





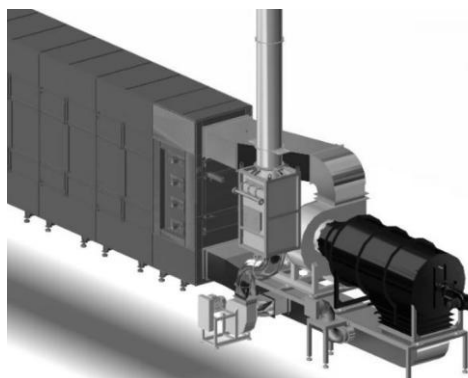
- Tratamiento de aguas blancas:
  - El sistema de aguas blancas recoge y trata el agua de proceso proveniente de la producción. Con el fin de reducir el consumo de agua y la descarga de aguas residuales, se puede integrar un filtro de tratamiento de aguas en la planta de preparación de pulpa. El filtro por flotación elimina las fibras en suspensión presentes en el agua blanca. Posteriormente, estas fibras son reincorporadas al sistema de pulpa.
- Máquina de moldeo:
  - La máquina de moldeo está compuesta por una estructura general de contención (tina), una rueda de succión con moldes de succión y una rueda de prensado con moldes de prensado. Mientras la rueda de succión gira dentro de la tina, la pulpa es aspirada hacia los moldes de succión, y los artículos moldeados son drenados mediante un vacío continuo. Posteriormente, estos artículos se transfieren a los moldes de prensado ubicados en la rueda de prensado giratoria, y mediante aire comprimido son expulsados hacia los portadores del secador, que transportan los artículos a través del sistema de secado. Durante la operación, los moldes vacíos se limpian continuamente. Las fibras sobrantes adheridas a los artículos son eliminadas mediante boquillas de aspersión instaladas en la máquina de moldeo.

**Figura 5:** Máquina de moldeo.



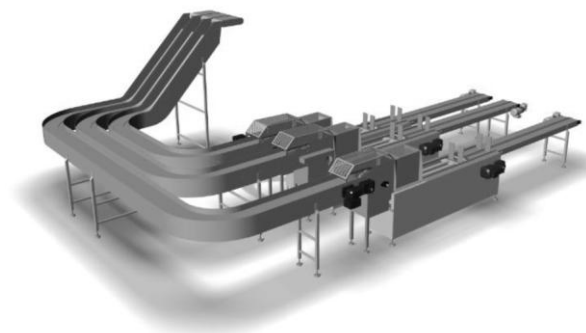
- Sistema de secado y calefacción de aire:
  - El sistema de secado está compuesto por un horno de secado y un sistema de calefacción de aire que genera aire caliente para el secado de los artículos. Este sistema, conformado por varios módulos, reduce el contenido de humedad de los productos desde aproximadamente un 70% hasta un 10%. El sistema de transporte dentro del secador está equipado con dos cadenas sin fin que sostienen portadores intermedios. El aire caliente es introducido en el secador a través de un sistema de ductos ubicado en la parte superior y se extrae por medio de ductos situados en la parte inferior. Los artículos se calientan y liberan humedad al aire de extracción. El sistema de calefacción de aire está compuesto por un calentador de aire, un ventilador de aire de proceso y un ventilador de extracción. Este sistema puede ser diseñado para operar con diferentes tipos de combustible.

**Figura 6:** Máquina de secado y calefacción de aire.



- Sistema de apilado:
  - Al salir del secador, los artículos son automáticamente volcados desde los portadores hacia las cintas transportadoras, las cuales los conducen al sistema de apilado. Los productos son apilados en pilas organizadas.

**Figura 7:** Sistema de apilado.



Es importante destacar que la aplicación del modelo MCCR (Matriz de Criticidad Cualitativa Basada en Riesgo) puede realizarse en distintos niveles jerárquicos (planta, procesos, sistemas, equipos, componentes, etc.), y los resultados serán específicos para el estudio desarrollado. Por ejemplo, la criticidad de dos sistemas similares en una misma industria puede ser diferente, ya que los factores de riesgo pueden variar o tener distinta importancia relativa, dependiendo de las características del contexto operacional en el que opere cada sistema [6]. En este estudio, el equipo de trabajo natural estuvo compuesto por siete integrantes, incluyendo al facilitador y representantes de los siguientes departamentos: gerencia técnica, gerencia de mantenimiento, gerencia de operaciones, ingeniería de procesos y gestión de salud, seguridad y medio ambiente.

#### **4. Resultados del Caso de estudio: Aplicación de la MCCR en Planta de Envases Biodegradables**

Después de determinar la calificación de la frecuencia y de las consecuencias de los fallos, el siguiente paso fue determinar la criticidad de cada equipo por el método propuesto de Matriz Cualitativa de Riesgo en la planta de envases biodegradables. A continuación, se resumen los resultados prácticos aplicación de la herramienta MCCR (ver detalles en la tabla 2):

- **149 equipos evaluados (8 de septiembre 2021):**
  - 2 equipos en la zona de Muy Alta Criticidad (1.34%)
  - 23 equipos en la zona de Alta Criticidad (15.43%)
  - 53 equipos en la zona de Media Criticidad (35.57%)
  - 71 equipos en la zona de Baja Criticidad (47.66%)

**Tabla 2:** Resultados de Matriz de Criticidad. Planta MOLPASA Panamá (1/2).



**ANÁLISIS CRITICIDAD**

Organización:

**MOLPASA**

Planta:

**PANAMÁ**

**JERARQUIZACION POR SISTEMAS Y SUBSISTEMAS**

Código de Equipo	Denominación/Sistemas y Subsistemas	FRECUENCIA FALLAS	SHA	CDF	IP-CM	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
MP-APNW1-AFTPRS110-AP1_AP1_1710	PLANCHA T-735	4	2	4	3	4	16	Alta Criticidad
MP-APNW1-AFTPRS110-AP1_STCKAP1	APILADOR PLANCHA T-735	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APNW1-AFTPRS110-AP1_TRANAP1	TRANSPORTADOR A PLANCHA T-735	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-AP1_APND_1	PANEL DE CONTROL EN PLANCHA T-735	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-AP1_CP_AP1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL PLANCHA T-735	2	2	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-AP1_CS_0	PANELES ESTACION TRANSPORTE A T-735	4	2	3	3	3	12	Alta Criticidad
MP-APNW1-ELEAP110-AP1_GNRPAN_1	PANELES TERMINALES Y PULSADORES T-735	2	2	1	1	2	4	Baja Criticidad
MP-APNW1-HDRAP110-AP1_HIDRAL_1	ESTACION HIDRAULICA PLANCHA T-735	3	2	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APNW1-HUMAP110-AP1_HUM_1710	HUMIDIFICADOR 3 ROW PLANCHA T-735	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APNW1-PNEUAP110-AP1_PNEUM_1	ESTACION NEUMATICA PLANCHA T-735	4	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-APNW1-TD2AP110-AP1_SERVCO1_1	SERVO CORNER 3 ROW PLANCHA T-735	3	2	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-APNW1-TD2AP110-AP1_TP2_1710	TIPPING DEVICE A PLANCHA T-735	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APNW1-TD2AP110-AP1_TTRANTP2_1	TRANSPORTADOR TIPPING DEVICE PLCH T-735	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-AFTPRS210-AP2_AP_1810	PLANCHA T-1317	4	2	4	3	4	16	Alta Criticidad
MP-APWD2-AFTPRS210-AP2_STCKAP2	APILADOR PLANCHA T-1317	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-AFTPRS210-AP2_TRANAP2	TRANSPORTADOR PLANCHA T-1317	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_APND_2	PANEL DE CONTROL EN PLANCHA T-1317	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_CP_AP2	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL PLANCHA T-1317	2	2	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_CS_0	PANELES ESTACION TRANSPORTE T-1317	4	2	3	3	3	12	Alta Criticidad
MP-APWD2-ELEAP210-AP2_GNRPAN_2	PANELES TERMINALES Y PULSADORES T-1317	2	2	1	1	2	4	Baja Criticidad
MP-APWD2-HDRAP210-AP2_HIDRAL_2	ESTACION HIDRAULICA PLANCHA T-1317	3	2	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APWD2-HUMAP210-AP2_HUM_1810	HUMIDIFICADOR 4 ROW PLANCHA T-1317	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-APWD2-PNEUAP210-AP2_PNEUM_2	ESTACION NEUMATICA PLANCHA T-1317	4	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-APWD2-TD3AP210-AP2_SERVCO2_1	SERVO CORNER 4 ROW PLANCHA T-1317	3	2	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-APWD2-TD3AP210-AP2_TP3_1170	TIPPING DEVICE A PLANCHA T-1317	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-APWD2-TD3AP210-AP2_TTRANTP3_1	TRANSPORTADOR TIPPING DEVICE PLCH T-1317	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_ACETE	CONDUCCION ACETE TERMICO	2	5	5	5	5	10	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_CENIZA	MANEJO DE CENIZA BIOMASA	4	3	4	2	4	16	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_COMBE	COMBUSTION DE BIOMASA	2	4	5	2	5	10	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_DEPACI	DEPOSITO DE ACETE TERMICO	1	4	3	2	4	4	Media Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_DOSIFI	DOSIFICACION DE BIOMASA	4	2	3	2	3	12	Alta Criticidad
MP-BIOMASA-BIOMAS10-BIOM_GASES	CONDUCCION GASES DE COMBUSTION	1	2	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-BIOMASA-PNEUBIOM10-BIOM_PNEU	ESTACION NEUMATICA DE BIOMASA	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-BIOMASA-ELEBIOM10-BIOM_CP_50	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL BIOMASA	2	4	3	1	4	8	Media Criticidad
MP-CALID-EQCONTROL-EQCONTRCALI	CJTO. EQUIPOS DE CONTROL DE CALIDAD	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10A-AH_DCTDRY_15	CONJUNTO AIRE CALIENTE A HORNO	1	2	3	3	3	3	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10A-AH_DCTHTJK_1	CONJUNTO AIRE CALIENTE A CAPOTA	2	2	1	1	2	4	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10A-AH_DCTSCRUB_1	CONJUNTO AIRE CALIENTE A SCRUBBER	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10B-AH_BURNER_15	FUENTE CALOR DIRECTO A SECADOR (GAS)	1	2	4	5	5	5	Alta Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10B-AH_HEATOL_15	FUENTE CALOR INDIRECTO A SECADO (ACEITE)	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10C-AH_PUMP_1209	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA SECADOR (SCRUBBER)	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
MP-DRYING-AIRHET10C-AH_SCRUBB_15	DEPURADOR DE AIRE DEL SECADOR (SCRUBBER)	1	3	2	1	3	3	Baja Criticidad
MP-DRYING-DRYER10-DRY_CARRIER_15	CONJUNTO TRANSPORTADORES DE BANDEJAS	5	3	3	2	3	15	Muy Alta Criticidad
MP-DRYING-DRYER10-DRY_DRYNG_1510	HORNO DE SECADO	4	3	1	2	3	12	Alta Criticidad
MP-DRYING-DRYER10-DRY_LUBR_1510	LUBRICACION TRANSPORTADORES DE BANDEJA	3	3	2	2	3	9	Media Criticidad
MP-DRYING-ELEDRY10-DRY_CP_1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL HARTMANN	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-DRYING-ELEDRY10-DRY_CPAH_1	ESTACION DE CONTROL HORNO SECADO	2	2	4	3	4	8	Media Criticidad
MP-DRYING-ELEDRY10-DRY_SENSR_1510	CONTROLES EN HORNO SECADOR	3	2	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-GASCOMB-GLP-GLP_TQGLP_1	SISTEMA DE TANQUE GAS COMBUSTIBLE GLP	1	5	1	3	5	5	Alta Criticidad
MP-MATPRIM-COMPACTADO-COMPACT	COMPACTADORAS DE MATERIA PRIMA	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_ASEMB_1110	PUNTE SALIDA MOLDEADORA	3	1	2	3	3	9	Media Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_EXPCNV_1110	CJTO. EXPULSION DE SP-30 A STACKERS	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_EXPCNV_1111	CJTO. EXPULSION ESTUCHES A PLANCHA 735	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_EXPCNV_1112	CJTO. EXPULSION ESTUCHES A PLANCHA 1317	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-DCHCR10-DCR_MCHTRM_1110	CJTO. MOTRIZ DE LA CADENA A HORNO	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_CP_1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL HARTMANN	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_CS_2	ESTACION DE CONTROL MOLDEADORA	1	2	4	3	4	4	Media Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_Q_112	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL VACIO	1	2	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-ELEMM10-MM_SEN_SR_1110	CONTROLES EN MAQUINA MOLDEADORA	4	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_BLVVAC_1110	CJTO. SOPLADO Y VACIO MOLDEADORA	4	1	3	3	3	12	Alta Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_CRANE_1110	CJTO. DE IZAJE MANTENIMIENTO MOLDEADORA	1	1	3	1	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_DCLEAN_1111	CJTO. CEPILLO DE LIMPIEZA MOLDEADORA	2	3	3	1	3	6	Baja Criticidad



MP-MM-MOLD10-MM_DRIVE_1110	CJTO. MOTRIZ DE MAQUINA MOLDEADORA	4	1	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_FLUSH_1110	CJTO. REGADERAS DE LA MOLDEADORA	4	1	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_HEJACK_1110	CAPOTA DE LA MOLDEADORA	1	2	3	1	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_LUBR_1110	CJTO. DE LUBRICACION MOLDEADORA	2	2	2	3	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_PULCH_1110	PULP CHEST CUBA MAQUINA MOLDEADORA	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-MM-MOLD10-MM_WHEEL_1110	RUEDAS-EJES DE MAQUINA MOLDEADORA	1	1	5	5	5	5	Alta Criticidad
MP-MM-PM PFL10C-MM_PUMP_1205	CJTO. BOMBA MOTOR PASTA A MOLDEADORA	2	1	4	5	5	10	Alta Criticidad
MP-MM-PM PFL10C-MM_PUMP_1206	CJTO. BOMBA MOTOR DILUCION A MOLDEADOR	2	1	4	5	5	10	Alta Criticidad
MP-MM-PNEUM10-MM_PB_2	ESTACION NEUMATICA MAQUINA MOLDEADORA	4	2	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-MM-VACWT10-VAC_COLTOW_1111	TORRE DE ENFRIAMIENTO	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VAC_PUMP_1112	CJTO. BOMBA DE VACIO MOLDEADORA	2	1	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-MM-VACWT10-VAC_PUMP_1204	CJTO. BOMBA MOTOR TANQUE SEPARADOR MO	2	1	2	3	3	6	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VAC_PUMP_1208	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA A TORRE ENFRIAM.	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VAC_SEALCH_1409	TANQUE AGUA DE SELLO BOMBA DE VACIO	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-MM-VACWT10-VAC_VACCH_1404	TANQUE SEPARADOR VACIO MOLDEADORA	1	2	3	3	3	3	Baja Criticidad
MP-PRINTER-ELEPR10-PRNT_CPPRT_1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL IMPRESORA	2	1	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-PRINTER-PNEUPRT10-PRNT_PNEUPR	ESTACION NEUMATICA IMPRESORA	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-PRINTER-PRINT10-PRNT_DENEST_19	ALIMENTACION A IMPRESORA ESTUCHES	2	1	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-PRINTER-PRINT10-PRNT_PRINTER_19	IMPRESORA DE ESTUCHES	3	1	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-PRINTER-PRINT10-PRNT_PRTLTR_19	CABEZALES IMPRESION LATERAL Y SUPERIOR	3	2	4	4	4	12	Alta Criticidad
MP-PRINTER-PRINT10-PRNT_STCKPRT_1	APILADOR DE ESTUCHES IMPRESOS	3	1	3	3	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUAFRESCA-GAL_T	SISTEMA DE TANQUES DE AGUA FRESCA	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUAPOZO-PUMP_P	BOMBAS DE POZO DE AGUA	2	1	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUARESID-GAL_FIL	SISTEMA DEL FILTRO PRENSA	4	4	3	1	4	16	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUARESID-GAL_LAI	SISTEMA DE LAVADO DE BANDEJAS	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUASERV-BAN_ADM	SISTEMA AGUAS SERVIDAS BANOS ADMINISTR	3	3	2	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUASERV-BAN_OPE	SISTEMA AGUAS SERVIDAS BANOS AREAS OPE	3	3	2	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUASERV-PTAR	SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS SERVIDAS	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-AGUASERV-SAL_VES	SISTEMA AGUAS SERVIDAS VESTUARIOS Y BAN	3	3	3	1	3	9	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-AIRECOMP-PR-GAL_CO	SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE COMPRIMI	2	4	4	4	4	8	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-CLIMATIZ-CLIMATIZ	SISTEMA DE CLIMATIZACION AREAS DE PLANTA	2	2	3	1	3	6	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DETECCIINC-DETECCI	SISTEMA DE DETECCION DE INCENDIO	2	5	3	1	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-GAL_BI	SISTEMA DE ELECTRICIDAD EN GALERA BIOMAS	1	3	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-GAL_FI	SISTEMA ELECTRICIDAD GALERA FILTRO PRENS	3	2	1	3	3	3	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-GAL_M	SISTEMA ELECTRICIDAD GALERA MATERIA PRIM	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-GAL_PR	SISTEMA ELECTRICIDAD GALERA DE PRODUCCIO	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-OFI_ADI	SISTEMA DE ELECTRICIDAD EN OFICINAS ADMIN	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-SAL_AI	SISTEMA DE AUTOMATIZACION Y CONTROL	1	2	2	2	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-SAL_EL	SISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA PRINCIPAL	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-SAL_EL	SISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA SECUNDARIA	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-SAL_GA	SISTEMA ELECTRICIDAD GARITA DE VIGILANCIA	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-SAL_TR	SISTEMA TRANSFORMACION ELECTRICA PRINCI	1	4	4	1	4	4	Media Criticidad
MP-SERVGRALES-DISTRIBEL-EC-SAL_VE	SISTEMA DE ELECTRICIDAD EN VESTUARIOS	1	2	2	1	2	2	Baja Criticidad
MP-SERVGRALES-EMERGELECT-SAL_PL	SISTEMA DE PLANTA DE EMERGENCIA	1	5	4	1	5	5	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-ESTACMANG-ESTACI	SISTEMA ESTACION DE MANGUERAS C-I EN PLA	2	5	3	1	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-EXTINCINC-EXTINCINC	SISTEMA DE EXTINCION INCENDIO EN PLANTA	2	5	4	1	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-EXTINCINC-GAL_BOM	SISTEMA DE BOMBA CONTRA INCENDIO	2	5	4	3	5	10	Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-EXTINTOR-EXTINTOR	SISTEMA DE EXTINTORES CONTRA INCENDIO	5	5	2	1	5	15	Muy Alta Criticidad
MP-SERVGRALES-PARARAYO-PRAYOPI	SISTEMA DE PARARAYOS Y PUESTA A TIERRA	1	5	3	1	5	5	Alta Criticidad
MP-STCKR-ELESTCK10-STCK_CPST_1	PANEL DE CONTROL EN STACKERS	2	2	3	2	3	6	Baja Criticidad
MP-STCKR-ELESTCK10-STCK_SENSR_1	CONTROLES EN STACKERS SP-30	3	2	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STCKR-ELESTCK10-STCK_STCKND	PANEL NODO APILADO Y COMPRESION	3	2	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STCKR-TD1STCK10-STCK_STCK_16	APILADOR LINEA #1 DE SP-30	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STCKR-TD1STCK10-STCK_STCK_16	APILADOR LINEA #2 DE SP-30	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STCKR-TD1STCK10-STCK_STCK_16	APILADOR LINEA #3 DE SP-30	3	1	3	2	3	9	Media Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_AGIT_1109	AGITADOR DEL STORAGE CHEST	2	1	2	1	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_FS_1107	FIBER SORTER	4	1	2	2	2	8	Media Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_HDC_1105	LIMPIADOR DE ALTA DENSIDAD	3	1	2	3	3	9	Media Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_PUMP_1203	CJTO. BOMBA RECIRCULACION STORAGE CHEST	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_STGCH_1402	TANQUE STORAGE CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-CLNFL10-CLN_VBSC_1108	ZARANDA	3	1	2	1	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_CP_1	PANEL ELECTRICO PRINCIPAL HARTMANN	2	2	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_CS_1	ESTACION DE CONTROL PULPER	1	1	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_Q_103	PANEL ELECTRICO PULPER	1	1	4	2	4	4	Media Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_Q_107	PANEL ELECTRICO FIBER SORTER	1	1	3	2	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-ELESTCK10-STK_SEG_1	CJTO. SEGURIDAD PREPARACION PASTA	2	1	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_CLFCH_14	TANQUE CLARIFIED WATER CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_PUMP_121	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA A LIMPIEZA PULPA	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_PUMP_121	CJTO. BOMBA MOTOR A REGADERA PALMA	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_PUMP_121	CJTO. BOMBA MOTOR AGUA A SCRUBBER	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_PUMP_121	CJTO. BOMBA MOTOR DE AGUA A PULPER	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_PUMP_121	CJTO. BOMBA MOTOR A REGADERA AGUJAS	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_PUMP_121	CJTO. BOMBA MOTOR DILUCION CONSISTENCIA	1	1	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10A-PPF1_WHWHCH_1	TANQUE WHITE WATER CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PM PFL10B-PPF2_AKDCX_0	SISTEMA DE QUIMICOS PREPARACION DE PASTA	2	1	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_0	ESTACION NEUMATICA PULPER	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_101	ESTACION NEUMATICA ZARANDA	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_105	ESTACION NEUMATICA LIMPIADOR CENTRIFUGO	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PNEUSTCK10-STK_PB_107	ESTACION NEUMATICA FIBER SORTER	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_AGIT_1104	AGITADOR DEL DUMP CHEST	2	1	2	2	2	4	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_CONV_1101	TRANSPORTADOR MATERIA PRIMA A PULPER	1	1	2	2	2	2	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_DUPCH_1401	TANQUE DUMP CHEST	1	2	2	3	3	3	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_PLP_1103	DESFIBRADOR PULPER	2	1	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_PUMP_1201	CJTO. BOMBA MOTOR SALIDA PULPER	2	1	3	3	3	6	Baja Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_PUMP_1202	CJTO. BOMBA MOTOR DUMP CHEST	3	1	2	2	2	6	Media Criticidad
MP-STOCK-PULP10-PLP_SWPIT_1412	ACHIQUE SISTEMA PULPEO	1	2	3	1	3	3	Baja Criticidad

Es importante mencionar que los resultados de la evaluación de la Criticidad a los 149 equipos son el inicio del proceso de optimización. Posteriormente en la fase siguiente del proyecto, se tomarán los equipos que quedaron en las zonas de: Muy Alta Criticidad (MA) y Alta Criticidad (A) y se seleccionarán y aplicarán de forma adecuada los métodos de Ingeniería de Confiabilidad y Riesgo: RCA (Root Cause Analysis), RCM (Reliability Centered Maintenance), Optimización Costo-Riesgo-Beneficio, entre otros, para mejorar la Confiabilidad, Mantenibilidad

y Disponibilidad, disminuir el impacto de las consecuencias de los modos de fallos y mejorar de forma integral los costos de operación y mantenimiento, los planes de mantenimiento e inspección y el soporte logístico para todo el ciclo de vida de los activos críticos.

### **5. Consideraciones Importantes del Proceso de Aplicación de la Herramienta MCCR**

Un factor clave para el éxito en la implementación de un proceso de Análisis Integral de Criticidad basado en Riesgo, es que la alta gerencia de la organización, es decir, quienes tienen la autoridad de tomar decisiones y actuar sobre las recomendaciones generadas a partir de los resultados obtenidos de la aplicación de la herramienta MCCR, estén involucrados en la definición y aprobación de los factores a considerar en el diseño de la herramienta de análisis de criticidad. Por otra parte, los planes de acción para implementar medidas de control de riesgos deben tener objetivos SMART (Specific, Measurable, Agreed, and Realistic Timescales) [24]. Para que las medidas de control de riesgos propuestas sean SMART, se requiere que la gerencia, los profesionales y los técnicos de las diferentes áreas que participan en la aplicación de la herramienta MCCR, tengan un buen conocimiento tanto del contexto operacional como de la forma en que los activos cumplen sus funciones, para lo cual deben desarrollar una discusión constructiva sobre lo que deben incluir los planes de acción y de cómo se deben implementar los mismos. No todas las medidas de control de riesgos propuestas a partir de los resultados de la MCCR, serán implementadas en el corto plazo, pero aquellas con mayor prioridad deben ser ejecutadas de inmediato. Al establecer prioridades, se debe guiar por la magnitud del riesgo (frecuencia y gravedad del daño). Como recomendación, pregúntese: ¿Qué es esencial para garantizar la salud, el ambiente y las operaciones de forma eficaz y eficiente?, ¿Qué no puede dejarse para otro día?, ¿Qué tan alto es el riesgo para los empleados, si esta medida de control de riesgos no se implementa de inmediato?

En el caso de que el nivel de criticidad sea muy alto, se debe actuar de inmediato, el no implementar medidas para controlar riesgos graves e inminentes es totalmente inaceptable. Para aquellos equipos cuya criticidad no genere riesgos altos, las medidas de control deben incluirse en planes de acción de mediano o largo plazo. Cada medida de control debe asignarse a un plazo específico y a una persona responsable de su implementación. Es crucial que una persona específica, preferiblemente un director, socio o gerente senior, sea responsable de garantizar que el plan de acción en su totalidad se lleve a cabo. Esta persona no necesariamente tiene que realizar el trabajo por sí misma, pero debe supervisar el progreso del plan de acción de control de riesgos. El progreso del plan debe revisarse regularmente. Cualquier desviación significativa del plan debe explicarse y las medidas de control de riesgos reprogramarse, si corresponde. Los empleados y sus representantes deben mantenerse completamente informados sobre el contenido del plan de acción de control de riesgos y el progreso en su implementación [24, 25].

### **6. Conclusiones**

La aplicación correcta de los métodos cualitativos de Análisis de Criticidad puede ayudar a los niveles gerenciales y técnicos a tomar decisiones más eficientes, direccionando de forma correcta tanto los recursos económicos y humanos en los procesos relacionados con la operación y el mantenimiento de los activos industriales [1]. Es importante que la gerencia de mantenimiento entienda que los modelos de criticidad a diseñar o a utilizar, deben alinearse con los objetivos del negocio y no cometer el error de desarrollar herramientas de criticidad dónde solo se incluyan factores particulares del proceso de mantenimiento, con respecto a este punto, el utilizar modelos de criticidad basados en el factor Riesgo, son muy interesantes, ya que el proceso de análisis de Riesgo, permite evaluar el impacto de los factores inherentes al proceso de mantenimiento y adicionar la evaluación de factores tales como: producción, calidad, costos de pérdidas de producción, seguridad, ambiente, etc. En relación específica a la gestión del mantenimiento, los resultados de un proceso de análisis de criticidad, permitirán que se puedan desarrollar estrategias de mantenimiento con un enfoque de optimización basado en Riesgo [26]. A continuación se presentan algunas fortalezas y debilidades a tener en cuenta para el desarrollo de un Modelo Cualitativo de Criticidad basado en Riesgo:



#### Fortalezas:

- Es una buena ocasión para unificar los criterios de criticidad en torno al proceso de análisis de riesgos
- Es una técnica sencilla y de muy fácil aplicación (su implantación es rápida)
- Ayuda a estandarizar los escenarios de priorización por riesgos de sistemas/procesos
- Introduce y difunde el concepto de Riesgo (indicador que permite integrar los factores de frecuencia y consecuencias de los fallos sobre la seguridad, el ambiente, la calidad, las operaciones, etc.)
- No requiere de recursos adicionales (de altos costos), con excepción del tiempo de dedicación para desarrollar el modelo ajustado a las necesidades de la organización en estudio

#### Debilidades:

- Los métodos cualitativos de Riesgo, generan un alto nivel de incertidumbre, por lo cual hay que tener mucho cuidado con los criterios a evaluar y con el sector industrial dónde se estén utilizando
- Las mejoras reales que se obtienen de un proceso de análisis de criticidad, van a depender de las acciones posteriores que se generen sobre los equipos críticos, después de haber realizado los análisis de criticidad (esta metodología depende de la aplicación posterior de otros métodos de mejora, por ejemplo: RCA (Root Cause Analysis), RCM (Reliability Centered Maintenance), RBI (Risk Based Inspection, etc.).
- Depende mucho de la información disponible (factor clave, contar con personas expertas), a tal punto, que puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos
- Al ser una técnica cualitativa, aunque sistemática, no hay una valoración real de la frecuencia y de las consecuencias de los fallos.

Finalmente, los resultados obtenidos de la aplicación efectiva de la metodología MCCR (Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo), guiará a los Gerentes de Activos Industriales a tomar decisiones más eficientes y con un menor grado de incertidumbre, en las actividades relacionadas con la asignación y distribución de recursos humanos, técnicos y económicos dentro de los procesos de Mantenimiento y Operación, ayudando de esta forma, a maximizar la rentabilidad de los productos manufacturados en la Planta de Envases Biodegradables, a lo largo de todo el ciclo de vida industrial.

#### Referencias

- [1] Parra, C., Tino, G., Parra, J. A., Viveros, P., & Kristjanpoller, F. A. (2022). Criticality analysis techniques applied to optimize maintenance management processes: Tools based on the qualitative and quantitative risk model. In V. González-Prida, C. Márquez, & A. Márquez (Eds.), *Cases on optimizing the asset management process* (pp. 180–207). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7943-5.ch008>
- [2] Parra, C., & Crespo, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos* (2nd ed.). INGEMAN. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29363.66083>
- [3] Crespo Márquez, A. (2007). *The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance*. Springer Verlag. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16765.38884>
- [4] Woodhouse, J. (1994). *Criticality analysis revisited*. The Woodhouse Partnership Limited.
- [5] Crespo, A., Moreu de León, P., Gómez, J., Parra, C., & López, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- [6] Parra, C., Morán, C., Pizarro, F., Duque, P., Aránguiz, A., González-Prida, V., & Parra, J. (2024). Implementation of the asset management, operational reliability and maintenance survey in recycled beverage container manufacturing lines. *Information*, 15(12), 784. <https://doi.org/10.3390/info15120784>
- [7] Parra, C., & Crespo, A. (2020). *Whitepaper V: Criticality analysis methods based on the risk assessment process*. INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales.



- [8] Mitchell, J. (1998). *Physical asset management handbook*. Clarion Technical Publishers.
- [9] Viveros, P., Parra, C., Kristjanpoller, F., Gonzalez-Prida, V., & Crespo, A. (2020). Life cycle cost techniques for decision making in maintenance optimization: Case study in oil and gas industry. *DYNA Management*, 8(1), 20 pages. <https://doi.org/10.6036/MN9825>
- [10] Parra, C., Viveros, P., Kristjanpoller, F., Crespo, A., & Gonzalez-Prida, V. (2021). Audit and diagnosis in asset management and maintenance applied in the electrical industry. *DYNA*, 96(3), 238. <https://doi.org/10.6036/10037>
- [11] Kristjanpoller, F., Crespo, A., Barberá, L., & Viveros, P. (2017). Biomethanation plant assessment based on reliability impact on operational effectiveness. *Renewable Energy*, 101, 301–310.
- [12] Jones, R. (1995). *Risk-based management: A reliability-centered approach* (1st ed.). Gulf Publishing Company.
- [13] El-Thalji, I. (2025). Emerging practices in risk-based maintenance management driven by industrial transitions: Multi-case studies and reflections. *Applied Sciences*, 15(3), 1159. <https://doi.org/10.3390/app15031159>
- [14] Liao, R., He, Y., Feng, T., Yang, X., Dai, W., & Zhang, W. (2023). Mission reliability-driven risk-based predictive maintenance approach of multistate manufacturing system. *Reliability Engineering & System Safety*, 236, Article 109273.
- [15] Fernández, P. M. G., López, A. J. G., Márquez, A. C., Fernández, J. F. G., & Marcos, J. A. (2022). Dynamic risk assessment for CBM-based adaptation of maintenance planning. *Reliability Engineering & System Safety*, 223, Article 108359.
- [16] Abbassi, R., Arzaghi, E., Yazdi, M., Aryai, V., Garaniya, V., & Rahnamayezekavat, P. (2022). Risk-based and predictive maintenance planning of engineering infrastructure: Existing quantitative techniques and future directions. *Process Safety and Environmental Protection*, 165, 776–790.
- [17] Kim, D., Lee, Y., & Jae Lee, M. (2018). Development of risk-based bridge maintenance prioritization methodology. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 3718–3725.
- [18] International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. <https://www.iso.org/standard/61010.html>
- [19] Standard Norge. (2017). *NORSOK Z-008: Risk based maintenance and consequence classification*. <https://online.standard.no/en/norsok-z-008-2017>
- [20] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic prioritization process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- [21] ENAP SIPETROL. (2015). *Matriz de evaluación y gestión de riesgos para la confiabilidad operacional, diseñada para los Yacimientos Pampa del Castillo — La Guitarra* (ENAP INF-10-2015-CONF1). Santiago de Chile, Chile.
- [22] Parra, C. (2002). *Aplicación de la técnica de proceso de análisis jerárquico (AHP) en los sistemas de refinación y producción de la industria petrolera* (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla).
- [23] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic prioritization process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.

[24] Parra, C., González-Prida, V., Candón, E., De la Fuente, A., Martínez-Galán, P., & Crespo, A. (2020). Integration of asset management standard ISO 55000 with a maintenance management model. In A. Crespo Márquez, D. Komljenovic, & J. Amadi-Echendu (Eds.), *Proceedings of the 14<sup>th</sup> World Congress on Engineering Asset Management* (pp. 189–200). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_17)

[25] Parra, C., Tino, G., Parra, J., Crespo, A., Viveros, P., Kristjanpoller, F., & González-Prida, V. (2021). Metodología básica de análisis de riesgo para evaluar la criticidad de activos industriales: Caso de estudio línea de manufactura de envases biodegradables. INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10422.52802/3>

[26] Parra, C., & Crespo, A. (2015). Review of the basic processes of a maintenance and reliability management model. In *Project: Design and construction of the third set of locks in the ACP (Autoridad del Canal de Panamá)*. INGECON—INGEMAN—MWH GLOBAL.

### Declaração Ética

**Conflito de Interesse:** Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla-cega.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

## Implantação de sistema de gestão de ativos na Embasa: integração de sistemas de informação

### *Implementation of an asset management system at Embasa: integration of information systems*

[10.29073/rae.v3i2.914](https://doi.org/10.29073/rae.v3i2.914)

**Recebido:** 2 de junho de 2024.

**Aprovado:** 8 de abril de 2026.

**Publicado:** 8 de abril de 2026.

**Autor/a 1 (Correspondente):** Rinaldo Camurugy, Embasa, Brasil, [rkamurugy@gmail.com](mailto:rkamurugy@gmail.com).

**Autor/a 2:** Alisson Brandão, Embasa, Brasil, [alisson.brandao@embasa.ba.gov.br](mailto:alisson.brandao@embasa.ba.gov.br).

#### Resumo

Um sistema de Gestão de Ativos eficaz é crucial para maximizar o valor dos recursos da organização, garantir conformidade regulatória, reduzir custos e melhorar a eficiência operacional da empresa. A integração de processos e sistemas desempenha um papel fundamental na criação de um sistema eficiente de Gestão de Ativos, permitindo que diferentes ferramentas e plataformas se comuniquem e compartilhem informações de forma transparente, criando uma base única de ativos dentro da companhia.

Ao integrar sistemas aos processos estruturados de gestão de ativos, é possível unificar dados provenientes de diversas áreas correlatas aos ativos físicos da organização, como cadastro dos ativos na área patrimonial, custo de aquisição e reposição de ativos na área contábil, registros de manutenção e informações sobre a operação dos ativos, isso permite uma visão abrangente e atualizada do panorama de ativos da organização, proporcionando uma base sólida e confiável para a tomada de decisões.

Dentro da Embasa – Empresa Baiana de Águas e Saneamento foi realizada a implantação de uma metodologia de Gestão de Ativos, onde foi preciso definir quais as necessidades da empresa em relação a Gestão de Ativos e mapear todos os sistemas da companhia que possuíam conexão com o tema. Além disso entender a funcionalidade e os dados que cada sistema gera. Isto é crucial para determinar como os sistemas de informação poderiam ser integrados de maneira eficiente garantindo a integridade e unicidade da informação e permitindo a implantação de um Sistema de Gestão de Ativos.

Este trabalho tem como objetivo mostrar como foi todo o processo de mapeamento de softwares e identificação de lacunas que impediam a integração dos sistemas com informações de ativos na Embasa, além do processo de aquisição e/ou desenvolvimento de softwares que se integraram aos atualmente existentes permitindo a criação de um Sistema de Gestão de Ativos completo na empresa.

**Palavras-Chave:** Embasa; Gestão de Ativos; Identificador Único; Integração de Sistemas; Sistemas de Informação.

#### Abstract

An effective Asset Management system is crucial to maximizing the value of the organization's resources, ensuring regulatory compliance, reducing operational costs and improving the company's operational efficiency. Systems integration plays a fundamental role in creating an efficient Asset Management system, allowing different tools and platforms to communicate and share information transparently, creating a single asset base inside the company.

By integrating systems, it is possible to unify data from different areas related to Asset Management, such as registration of assets in the patrimonial area, cost of acquisition and replacement of assets in the accounting area, maintenance records and information about the operation of assets, this allows a comprehensive and up-to-date view of the organization's asset landscape, providing a solid basis for decision-making.

The Embasa – Empresa Baiana de Águas e Saneamento, implemented an Asset Management methodology, where it was necessary to define the company's needs in relation to Asset Management and map all the company's systems that had a connection with the topic. Furthermore, understand the functionality and data that each system generates. This is crucial to determine how information systems could be integrated efficiently, ensuring the integrity and uniqueness of information and allowing the implementation of an Asset Management System.

This work aims to show how the entire process of software mapping and identification of gaps that prevented the integration of systems with asset information at Embasa went, in addition to the process of acquiring and/or developing software that integrated with the currently existing ones, allowing the creation of a complete Asset Management System in the company.

**Keywords:** Asset Management; Embasa; Information Systems; System Integration; Unique Identifier.

## 1. Introdução

Resultado de uma das iniciativas da Embasa para estruturar os processos de gestão de ativos e apoiar sua implementação na companhia, o estudo para desenvolvimento e implementação em sistema piloto de uma metodologia de Gestão de Ativos é resultado do contrato com a empresa Arcadis Logos S.A., no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica (PCT) “Universalização e aperfeiçoamento da prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em áreas prioritárias do Estado da Bahia” – PCT BRA/IIICA/16/003, firmado entre a Embasa, o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores (ABC/ MRE). Um sistema de Gestão de Ativos, em inglês Asset Management System (AMS), é o sistema cuja função é estabelecer a política e os objetivos da gestão de ativos, assim como os processos utilizados para atingir esses objetivos. Sendo assim, fazem parte do sistema todas as ações e atividades formais, coordenadas e sistemáticas que dão suporte à gestão dos ativos.

Segundo Camurugy & Brandão (2025) a gestão de ativos consiste na adoção de metodologias, sistemas e atividades que permitam a uma organização extrair mais valor de seus ativos, atingindo assim seus objetivos, entregando serviços que os clientes esperam e atendendo aos requisitos regulatórios. Para isso, é necessário encontrar um equilíbrio entre oportunidades, riscos, custos e indicadores, baseando-se sempre nas melhores práticas e buscando a melhoria contínua.

Dentro desta perspectiva é de fundamental importância a coleta e análise dos dados dos ativos que irão embasar a tomada de decisão dos gestores sobre os ativos visando prolongar a vida útil dos mesmos minimizando custos, diminuindo despesas, ganhando eficiência operacional e melhorando a imagem da empresa ao garantir a operacionalização dos sistemas de água e esgotamento de forma mais eficaz. E para que a coleta e análise dos dados seja feita da forma mais eficiente possível a Tecnologia da Informação é fundamental.

É a tecnologia da informação que pode prover uma base robusta e integra para tomada de decisões sobre os ativos, ela oferece insights valiosos sobre a condição, manutenção e vida útil dos ativos, possibilitando a implementação de estratégias proativas de gestão. A utilização inteligente da tecnologia da informação em um Sistema de Gestão de Ativos não apenas aumenta a confiabilidade operacional, mas também contribui para a sustentabilidade, ao minimizar desperdícios e melhorar a utilização dos recursos. Dentro da Tecnologia da informação a integração de tecnologias como softwares especializados é fundamental para avaliar o desempenho dos ativos.

A integração de sistemas de informação é um processo que envolve a conexão e harmonização de diferentes sistemas, aplicativos e tecnologias para trabalharem de maneira unificada. O objetivo é otimizar a comunicação e o compartilhamento de dados entre esses componentes, eliminando redundâncias ou divergências de informações e melhorando a eficiência operacional. Ela desempenha um papel crucial na modernização e

agilização das operações de uma organização, permitindo uma visão unificada dos dados e facilitando a tomada de decisões informadas de forma mais eficiente e rápida.

## **2. Revisão da Literatura**

Um dos pilares da Gestão de Ativos é obter dados precisos sobre os ativos de uma empresa que embasem a tomada de decisão sobre os ativos. Para isto é fundamental que as informações dos ativos estejam integradas e integras e possam ser consultadas por um Sistema de Gestão Integrado.

Ainda não há uma definição clara sobre o que vem a ser Sistema Integrado de Gestão, Willborn e Dale (1999) afirmam que há diferenças na interpretação do que integração significa e como ela deva ser efetuada. Na visão desses autores para integrar sistemas precisamos interconectar dois sistemas de forma que isso resulte na perda de independência de um ou dos dois, desta forma esses sistemas estão integrados, vale ressaltar que o fato de integrar dois ou mais sistemas não implica na perda de identidade dos mesmos, ao contrário, eles continuam sendo donos da informação do seu domínio e agora passam a ter informações mais integras e consistentes entre si.

A integridade da informação é outro conceito crucial no campo da Tecnologia da Informação (TI). A Integridade refere-se à qualidade dos dados, garantindo que as informações sejam precisas, consistentes e íntegras ao longo do tempo. Isso implica a proteção contra corrupção, alteração não autorizada ou perda de dados, assegurando que as informações permaneçam confiáveis e úteis. Dados íntegros são fundamentais para preservar a confiança dos usuários e stakeholders, segundo Richard Hamming "A integridade dos dados é a base para uma tomada de decisão eficaz; sem ela, as organizações não podem confiar nas informações que utilizam para orientar suas estratégias." Um dos pontos fundamentais para garantir a integridade da informação é possuir Bases de Dados e Sistemas integrados, que garantam a unicidade da informação.

A unicidade da informação é um princípio central na gestão de dados mestre, ela refere-se ao princípio de garantir que cada dado ou elemento de informação tenha uma representação única e inequívoca dentro de um sistema ou conjunto de dados. Quando a unicidade da informação é mantida, evita-se a duplicação de dados e inconsistências que poderiam surgir caso diferentes partes do sistema utilizassem identificadores ou valores distintos para representar a mesma entidade, trazendo assim mais segurança e confiabilidade ao dado. Aiken (2013) explica que a unicidade da informação é fundamental para evitar redundâncias e inconsistências dentro de um sistema de informação. Quando múltiplas versões de dados existem, a confiança nos dados é corroída, e decisões baseadas nessas informações podem ser comprometidas. Manter a unicidade da informação garante que todos os usuários e sistemas operem com a mesma base de dados, promovendo a precisão e a integridade operacional.

Um bom sistema de gestão de ativos (AMS) deve ter, portanto, como um de seus objetivos integrar os diversos sistemas da empresa, unificar e padronizar o fluxo de informações garantindo a unicidade e evitando a divergência de informações e monitorar os ativos durante toda a sua vida útil. Sendo assim, esse sistema precisa contar com ferramentas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com diversas funcionalidades integradas para executar essa função. A integração de sistemas de gestão de ativos com sistemas de informação proporciona uma abordagem holística para a administração de recursos. Isso permite uma coordenação eficiente e a eliminação de silos de informação. A resultante visibilidade em tempo real e a análise de dados avançada ajudam as organizações a prolongar a vida útil dos ativos e otimizar o retorno sobre o investimento.

Este trabalho tem como objetivo mostrar como foi todo o processo de mapeamento de softwares e identificação de lacunas que impediavam a integração dos sistemas com informações de ativos dentro da Embasa. A abordagem utilizada para fechar essas lacunas e o processo de aquisição e/ou desenvolvimento de softwares que se integram aos atualmente existentes permitiram a criação e implantação de um Sistema de Gestão de Ativos na empresa.

### 3. Metodologia

Durante o desenvolvimento do contrato com a ARCADIS, foram desenvolvidas a política de Gestão de ativos, o plano estratégico de Gestão de ativos, em inglês Strategic Asset Management Plan (SAMP), o portfólio de ativos do Sistema de Gestão de ativos (AMS) e a hierarquia de ativos do AMS. Durante a definição do portfólio os ativos foram classificados de duas maneiras:

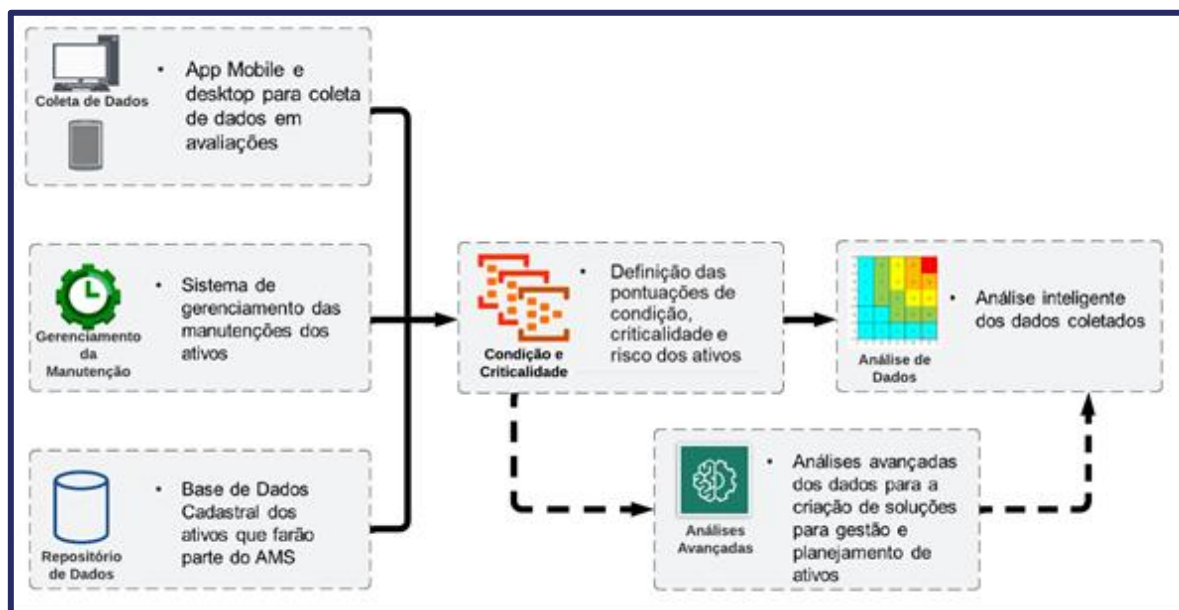
- **Ativos Horizontais** – São os ativos que abrangem uma vasta área geográfica, através de traçados lineares, podendo ser definidos por extensão (rede de distribuição, rede coletora de esgoto, adutoras de água, ...).
- **Ativos Verticais** – São os Ativos que possuem uma localização definida ou endereço e ao qual é possível atribuir coordenadas geográficas (Bombas, Motores, Paineis Elétricos, ...).

Após essas definições a atenção voltou-se para a Gestão da Informação e como a empresa iria gerir os dados dos seus ativos para a tomada de decisão. Na metodologia desenvolvida dentro da Embasa o AMS foi decomposto em 6 funcionalidades, cada uma delas devem se integrar tanto entre si, como com outros sistemas existentes na empresa. Essas funcionalidades são:

- **Repositório de Dados:** funcionalidade que viabiliza o registro e o rastreamento de ativos, em resumo a Base de Ativos da empresa.
- **Avaliação dos Ativos e Coleta de Dados:** permite a coleta de dados em campo e mantém a Base de ativos da companhia atualizada.
- **Gerenciamento das Manutenções:** funcionalidade onde os registros de manutenção corretivas, preventivas e preditivas devem ficar registrados.
- **Gestão da Criticalidade e Condição dos Ativos:** essencial para uma abordagem baseada no gerenciamento de risco, é através dela que os ativos serão classificados quanto ao grau de exposição ao risco e o seu estado atual (condição) no seu ciclo de vida.
- **Análise de Dados:** permite a visualização da informação gerada de forma direta e intuitiva. Ela poderá ser usada tanto para auxiliar os gestores na atualização da sua base de ativos, quanto para servir como base de análise para a tomada de decisão sobre intervenções em determinados ativos.
- **Análises Avançadas:** a última camada de funcionalidade, na metodologia proposta à Embasa foi a de Planejamento de Investimento de Capital, responsável por gerar cenários de investimento partindo de dados sobre: os ativos (como risco, condição e criticalidade); orçamento disponível e projetos de intervenções complementares, oriundos de decisões alheias à gestão de ativos (como decisões estratégicas). Através dessa ferramenta, é possível fazer análises preditivas de impacto no perfil de risco do portfólio de ativos ao longo dos anos, a partir de diferentes planos de investimento de capital possíveis.

Essas funcionalidades podem se configurar em arranjos diversos: todas podem estar presentes em um único software ou divididas em alguns, podendo inclusive estar totalmente desagregadas em 6 diferentes programas. Esta arquitetura dependeria da definição de como este sistema seria implantado na Embasa, considerando os sistemas já existentes e alguns outros fatores. No caso da Embasa foi realizado um mapeamento para identificar quais funcionalidades estavam presentes nos softwares da companhia e quais não estavam precisando ser desenvolvidas ou adquiridas, e como integrá-las para a construção do Sistema de Gestão de Ativos. Com essas definições foi criada a arquitetura dos sistemas de informação de Gestão de Ativos da empresa (Figura 1).

**Figura 1:** Diagrama esquemático da arquitetura das funcionalidades necessárias para a implantação do AMS na Embasa.



#### 4. Análise dos Dados

Após a construção da arquitetura do AMS foi realizado um diagnóstico das funcionalidades existentes na estrutura atual da embasa, na prática foi realizada uma avaliação para encontrar quais funcionalidades já possuíam um sistema implantado, quais estavam integradas entre si e como outros sistemas ainda precisavam de desenvolvimento para serem integradas ao AMS. Este diagnóstico foi realizado levando em consideração a classificação dos ativos em verticais e horizontais uma vez que constatou-se a necessidade de soluções diferentes para algumas funcionalidades.

- **Repositório de Dados**
  - **Ativos Verticais** - Essa funcionalidade é desempenhada pelo Submódulo de Ativo Imobilizado (AA – Asset Accountability, que é parte do módulo de Contabilidade Financeira FI – Financial Accounting) do sistema ERP/SAP da Embasa.
  - **Ativos Horizontais** - Funcionalidade desempenhada pelo Geoweb na Embasa, software de desenvolvimento interno baseado em software livre e utiliza as linguagens java, Javascript, php, frameworks específicos de GIS e Postgresql. É o software responsável pelo georreferenciamento das informações da companhia.
- **Avaliação dos Ativos e Coleta de Dados**
  - **Ativos Verticais** – Atualmente a Embasa não possui uma ferramenta mobile para coleta de dados remota para realizar inspeções e avaliações de qualquer natureza relacionada à gestão de ativos, assim como para atualização cadastral dos ativos, este software está em desenvolvimento internamente durante o processo de implantação do AMS na empresa.
  - **Ativos Horizontais** – A Coleta de dados é feita através do próprio Geoweb, sendo as avaliações tratadas em conjunto com as análises avançadas.
- **Gerenciamento das Manutenções**
  - **Ativos Verticais** – O gerenciamento das manutenções de ativos verticais, atualmente, é feito pelo módulo PM (Plant Maintenance) do ERP/SAP.
  - **Ativos Horizontais** – O gerenciamento das manutenções dos ativos horizontais atualmente é feito pelo sistema comercial da Embasa, chamado de SCIWeb, desenvolvido internamente na empresa, entretanto as manutenções não são georreferenciadas dentro do sistema, para isso foi proposto a criação de um software mobile que acompanha as manutenções de redes desde a abertura da ordem de serviço até o encerramento, sendo o georreferenciamento obrigatório.



- **Criticalidade e Condição dos Ativos**
  - A Embasa, atualmente, não faz uso de metodologia baseada em probabilidade, consequência ou risco de falha e, portanto, não possui ferramenta encarregada dessa função tanto para os Ativos Horizontais como para os Verticais.
- **Análise de Dados**
  - **Ativos Verticais** – Atualmente na empresa, a funcionalidade de análise de dados é atribuição do Qlik Sense, ferramenta largamente difundida para recursos de business intelligence, como data analytics, que utiliza dados oriundos de diversos sistemas internos, como SAP, SCIWEB, GEOWeb e COPAE.
  - **Ativos Horizontais** – Atualmente na empresa, a funcionalidade de análise de dados é atribuída ao Qlik Sense, ferramenta largamente difundida para recursos de business intelligence, como data analytics. Além disso, ainda é utilizado o Geoweb para a geração de mapas temáticos com informações que sejam do interesse da Embasa.
- **Análises Avançadas**
  - Atualmente a Embasa não possui nenhuma ferramenta com a funcionalidade de análises avançadas seja para ativos verticais ou para ativos horizontais.

## 5. Discussão

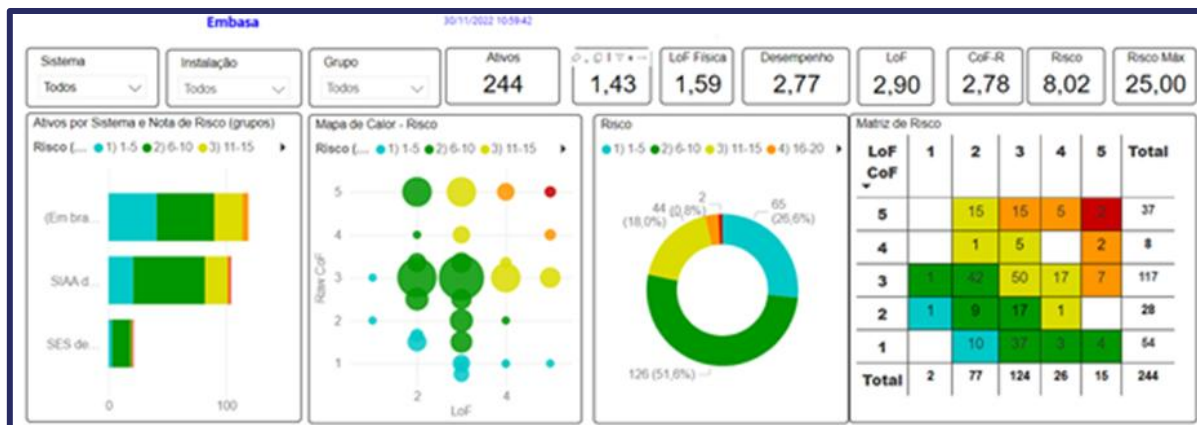
Após o desenvolvimento da metodologia e definição da arquitetura adequada para o sistema de Gestão de Ativos foi mapeada todas as soluções que precisavam ser adquiridas ou desenvolvidas internamente. A primeira implantação do AMS na Embasa foi nos Sistemas de Água e Esgotamento Sanitário de Barra do Pojuca que atende a 21 localidades do estado da BA, como forma de testar tanto a metodologia como a arquitetura definida. Neste piloto foi testado o método de levantamento de dados via mobile, as avaliações dos ativos e a análise final dos ativos que resultaram no Plano de Reposição e Reabilitação de Ativos de Barrado do Pojuca.

- **Repositório de Dados:** Inicialmente pensou-se em utilizar o SAP para os ativos verticais, porém como este software não estava integrado aos demais sistemas optou-se por uma extração da Base de dados e as avaliações rodaram em cima dessa extração. O COPAE foi utilizado como repositório das avaliações e o Geoweb como base de informações para ativos horizontais.
- **Avaliação dos Ativos e Coleta de Dados:** Após preparação de definição dos repositórios foi utilizado um aplicativo Mobile para a realização das Avaliações e coleta de dados. Ao todo foram avaliados 244 ativos verticais e cerca de 1900km de rede de água e esgoto. Estes dados foram descarregados dentro do sistema COPAE e posteriormente utilizados por um aplicativo de BI. A boa utilização do Fulcrum também consolidou a iniciativa de criação de um aplicativo Mobile da própria embasa para atender a Gestão de Ativos. Este aplicativo já está em desenvolvimento.
- **Gerenciamento das Manutenções:** Talvez a parte mais difícil do teste de toda a metodologia, pois os sistemas que controlam a manutenção não são largamente utilizados dentro de empresa ou são utilizados de forma incorreta não permitindo a utilização dos dados. Destas análises surgiram as seguintes observações:
  - Necessidade de definição de treinamento para a correta utilização dos sistemas, garantido informações mais confiáveis.
  - Necessidade de georreferenciamento dos serviços em redes, mais tarde suplantada pela utilização do Digiteam.
  - Importância da integração dos sistemas para que os dados de manutenção possam ser cruzados com os dados contábeis com o propósito de criar um plano de investimento em ativos.
- **Criticalidade e Condição dos Ativos:** como a Embasa não possuía nenhum aplicativo para esta funcionalidade esta funcionalidade foi partida em três aplicações: o COPAE, o aplicativo de BI e um software cedido pela Arcadis, empresa contratada para o desenvolvimento da metodologia junto com a Embasa.



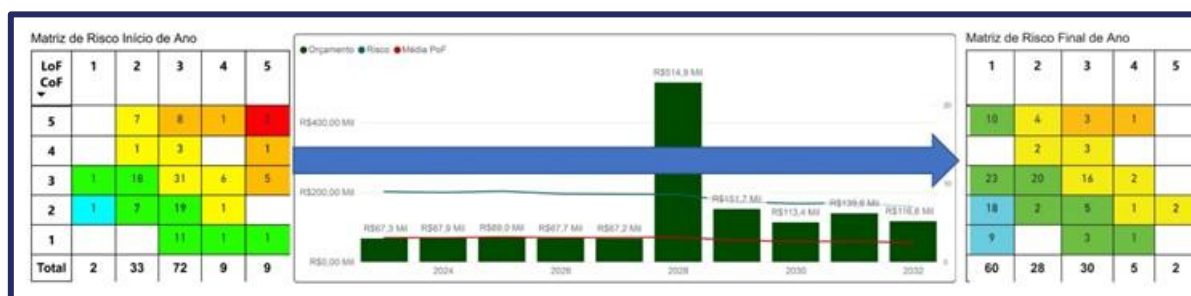
- **Análise de Dados:** Aqui foi utilizado um aplicativo de BI, onde foi estruturada a matriz de risco dos ativos a partir das avaliações realizadas. Este aplicativo é o que será utilizado no momento da expansão de Gestão de Ativos (Figura 2).

Figura 2: Tela da matriz de risco dos ativos verticais.



- **Análises Avançadas:** O software da contratada foi utilizado aqui também, ele é capaz de realizar simulações de investimento e projetar a matriz de risco de acordo com essas simulações. A aplicação prática do software foi na criação do Plano de Reposição e Reabilitação de ativos de Barra do Pojuca (Figura 3).

Figura 3: Projeção da Matriz de risco após a aplicação do Plano de R&R



## 6. Considerações Finais

O diagnóstico com consultoria especializada em gestão de ativos foi essencial para a implantação do MAS, pois dentro da Embasa inexistia integração de informações no que diz respeito aos ativos físicos operacionais, com cada sistema (COPAE, SCI Web, Geoweb e SAP) possuindo suas bases de informações segregadas, a partir desta constatação foi proposta a integração das bases de dados com os seguintes requisitos:

- O módulo AA do SAP permanece com o cadastro central dos ativos verticais, onde os ativos são incorporados com os demais sistemas e integra ao SAP AA para poder utilizar informações de ativos;
- O módulo PM do SAP permanece na gestão das manutenções da empresa;
- O geoweb é o sistema responsável por garantir a localização espacial dos ativos verticais e o sistema de cadastro principal dos ativos horizontais, qualquer outro sistema de informação que quiser utilizar informações georreferenciadas dos ativos deve consumir esses dados do Geoweb.
- Informações adicionais sobre ativos operacionais devem ter cadastro realizado no sistema COPAE, principal sistema da área operacional da empresa.

Entretanto, para que as premissas acima funcionem foi identificada a necessidade de utilização de uma hierarquia única para os ativos verticais, pois os diferentes sistemas categorizam os ativos de forma distinta, a hierarquia única desenvolvida durante a criação da metodologia de Gestão de Ativos foi incorporada ao módulo

AA do SAP, dentro dela consta, entre outras informações, a instalação onde o ativo está localizado e o próprio ativo.

Cada instalação da embasa também recebeu um identificador único que deve ser utilizado por todo sistema de informação que possuir ou consumir informações das instalações, garantindo assim a integração desses dados. Obedecendo os requisitos descritos mais acima, os sistemas de informação apenas podem conter dados de instalações referentes ao domínio de suas informações (COPAE – informações operacionais, SCI – informações comerciais, Geoweb – informações de georreferenciamento, SAP – informações patrimoniais, contábeis e de manutenção), devendo, caso precisem, consumir informações dos outros sistemas através do identificador único da instalação.

Após esta etapa partiu-se para a integração dos dados dos ativos em si, aqui duas soluções foram adotadas:

- Para ativos verticais criou-se um identificador único que servirá para integrar todos os sistemas da empresa, este identificador nasce dentro do módulo AA do SAP. Dessa forma, o módulo AA poderá desempenhar a contento a função de repositório de dados do AMS. Ele se integrará aos demais sistemas e ao módulo PM do próprio SAP, criando uma base de ativos integrada munindo o Software de Análise de dados e Análise avançada de informações para a tomada de decisão.
- Para ativos horizontais o identificador único deve ser criado dentro do Geoweb e cada parte unitizada do ativo deve ter seu próprio identificador, os demais sistemas de informação da Embasa devem se integrar ao Geoweb consumindo e complementando as informações dos ativos horizontais através desse identificador único. Para que tal solução seja implementada foi necessário primeiro definir os critérios de unitização das redes da embasa e unificar os atributos do cadastro de rede. Esta é uma solução ainda em andamento, sendo necessário integrar o SAP e suas informações contábeis ao Geoweb.

O próximo passo dentro da Embasa foi então definir quais softwares serão utilizados para fechar as lacunas de informações para as quais não há sistemas de informação.

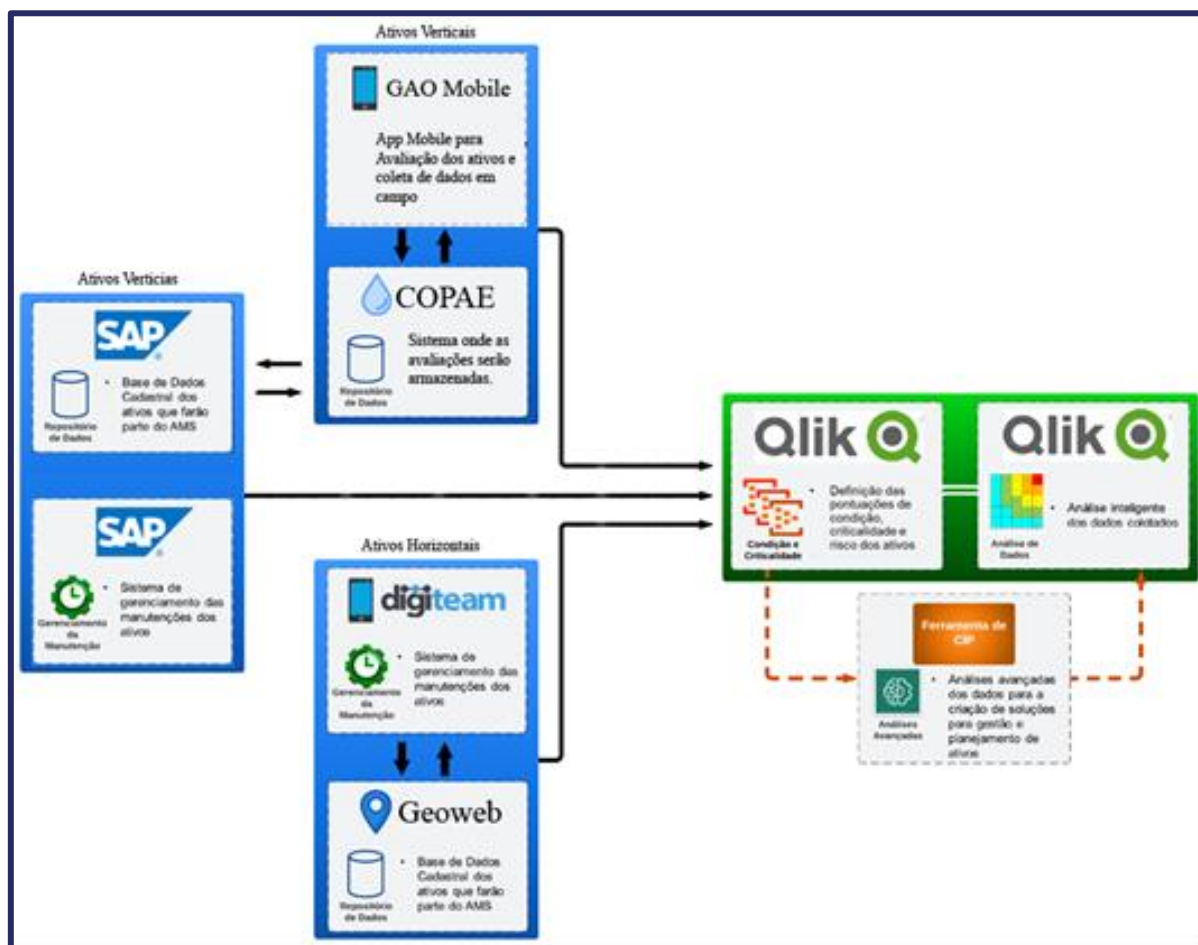
- Dentro da funcionalidade de Avaliação dos Ativos e Coleta de Dados a Embasa contratou uma empresa para desenvolver um software mobile integrado ao ERP/SAP e ao COPAE através do identificador único dos ativos e das instalações que será responsável por manter a base de ativos atualizada quanto a localização dos ativos, incorporação de ativos não refletida na base e avaliação dos ativos.
- Na funcionalidade de Gerenciamento das Manutenções a embasa adquiriu uma solução mobile para georreferenciar dos serviços em rede.
- Para as funcionalidades de Criticalidade e Condição dos Ativos e Análises Avançadas a Embasa ainda discute qual a melhor solução para ser incorporada ao AMS da empresa. Dentro da arquitetura proposta este software será o responsável por propor planos de Reposição e Reabilitação de ativos e planos de investimento de capital.

Após a decisão do melhor software para Criticalidade e Condição dos Ativos e Análises Avançadas a Embasa poderá implantar e expandir seu sistema de Gestão de ativos contando com a integração das informações patrimoniais, contábeis, operacionais, de manutenção e serviço.

Vale ressaltar que todas a integração em andamento e descrita neste artigo é requisito para que a funcionalidade de Análise de Dados possa ser implementada e uma matriz de risco baseada na avaliação física, de desempenho e de consequência da falha dos ativos possa ser implementada de forma plena.

Atualmente a arquitetura de software da Embasa está definida de acordo com a Figura 4.

Figura 4: Arquitetura atual das funcionalidades do Sistema de Gestão de Ativos



### Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os envolvidos na implantação de um sistema de Gestão de Ativos dentro da Embasa.

### Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1994). *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2014). *NBR ISO 55000: Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia*. ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2014). *NBR ISO 55001: Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos*. ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2020). *NBR ISO 55002: Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001*. ABNT.
- Aiken, P. (2013). *The case for the chief data officer: Recasting the C-suite to leverage your most valuable asset*. Morgan Kaufmann.
- Arcadis. (2022). *Produto 4.3: Implantação do sistema de gestão de ativos – Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A.*
- Arcadis. (2022). *Produto 6.1: Ferramentas para a efetividade do fluxo de informações da gestão de ativos operacionais na Embasa – Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A.*



Augusto Miranda Camurugy, R., & Meireles Brandão, A. (2025). Implantação da gestão de ativos no sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Barra de Pojuca na Embasa — Empresa Baiana de Águas e Saneamento. *RAE — Revista de Ativos de Engenharia*, 3(1), 19–30. <https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.915>

Carmichael, D. G. (2006). *Asset management: Whole-life management of physical assets*. Thomas Telford Publishing.

DAMA International. (2009). *The DAMA guide to the data management body of knowledge (DAMA-DMBOK guide)*. Technics Publications.

Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA). (2023). *Norma de reposição e reabilitação de ativos da Embasa*.

Hamming, R. W. (1997). *The art of doing science and engineering: Learning to learn*. CRC Press.

Wilkinson, G., & Dale, B. G. (1999). Integrated management systems: An examination of the concept and theory. *The TQM Magazine*, 11, 95–104.

### Declaração Ética

**Conflito de Interesse:** Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da *RAE — Revista de Ativos de Engenharia* é licenciado sob **Creative Commons**, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

**CASADOMO: Habitação inovadora e sustentável em superadobe modular para bairros informais da Cidade da Praia — Cabo Verde**  
***CASADOMO: Innovative and sustainable housing in modular superadobe for informal neighborhoods in Praia — Cape Vert***

[10.29073/rae.v3i2.975](https://doi.org/10.29073/rae.v3i2.975)

**Recebido:** 9 de fevereiro de 2025.

**Aprovado:** 24 de março de 2025.

**Publicado:** 8 de abril de 2026.

**Autor/a 1:** Felisberto Cortês , Instituto Superior Técnico, Portugal, [felisbertocortes@tecnico.ulisboa.pt](mailto:felisbertocortes@tecnico.ulisboa.pt).

**Autor/a 2:** Manuel Guedes , Instituto Superior Técnico, Portugal, [manuel.guedes@tecnico.ulisboa.pt](mailto:manuel.guedes@tecnico.ulisboa.pt).

**Autor/a 3:** Nuno de Almeida , Instituto Superior Técnico, Portugal, [nunomarquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt](mailto:nunomarquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt).

**Autor/a 4:** Elvis Chantre , Universidade de Cabo Verde, Cabo Verde, [elvis.chantre@docente.unicv.edu.cv](mailto:elvis.chantre@docente.unicv.edu.cv).

### Resumo

A cidade da Praia, à semelhança de outras cidades dos países em desenvolvimento, carece de habitações adequadas que permitam às famílias desenvolverem-se com dignidade. O aumento da população residente, as desigualdades sociais, a pobreza, a proliferação de bairros informais, as dificuldades urbanas e habitacionais, exigem da cidade da Praia, uma melhor resposta em matéria de habitação social. CASADOMO é uma solução criada a partir de uma tese de doutoramento realizada no IST (Universidade de Lisboa), que reforça a ideia de habitação social para os bairros informais da cidade da Praia. CASADOMO adota um conceito inovador que conjuga o habitat tradicional cabo-verdiano associado à técnica de construção em terra, nomeadamente o superadobe, com a ideia da cubata africana e do “funku” cabo-verdiano e a tecnologia de construção modular. Este artigo inclui, ainda, a análise da construção de um protótipo do modelo CASADOMO que demonstra a sua viabilidade.

**Palavras-Chave:** Bairros Informais; Cidade da Praia; Construção Modular; Habitação Inovadora e Sustentável; Superadobe.

### Abstract

The city of Praia, like other cities in developing countries, lacks adequate housing that allows families to develop with dignity. The increase in the resident population, social inequalities, poverty, the proliferation of informal neighborhoods, urban and housing difficulties, demand a better response from the city of Praia in terms of social housing. CASADOMO is a solution created from a doctoral thesis carried out at IST (University of Lisbon), which reinforces the idea of social housing for informal neighborhoods in the city of Praia. CASADOMO adopts an innovative concept that combines the traditional Cape Verdean habitat associated with the earth construction technique, namely superadobe, with the idea of the African “cubata” and Cape Verdean “funku” and modular construction technology. This article also includes the construction of a CASADOMO model that proves its viability.

**Keywords:** City of Praia; Informal Neighborhoods; Innovative and Sustainable Housing; Modular Construction; Superadobe.

## 1. Enquadramento do Tema

Segundo o Perfil Urbano da cidade da Praia, realizado pelo governo cabo-verdiano em conjunto com a UN-HABIT, na cidade da Praia, e apresentado ao público em setembro de 2013, os dados do INE de 2010 indicavam que a cidade da Praia tinha 129.756 residentes fixos e 37.127 fogos. Destes, 36.030 fogos estavam em zonas urbanas e 1.097 em zonas rurais ou periurbanas. Dos 36.030 fogos em zonas urbanas, apenas 20% estão em aglomerados urbanos formais, ou seja, planeados, e 80% estão em assentamentos urbanos informais, metade dos quais em bairros espontâneos. Em 2019, a Câmara Municipal da Praia, numa operação de resgate de terrenos ocupados ilegalmente na periferia da cidade da Praia, detetou 177 pessoas a viver em barracas, 14 em contentores e 10 em espaços improvisados, com um nível de vida abaixo do limiar da pobreza. Estes números tendem a aumentar, uma vez que o défice de habitação, sobretudo para as classes sociais mais desfavorecidas, continua presente, sem solução a curto prazo. Para além destes números, existem ainda famílias que vivem em habitações degradadas e inabitáveis que necessitam de ser reabilitadas.

O setor da construção civil exerce uma forte influência estrangeira na paisagem urbana da Cidade da Praia, em Cabo Verde, acentuando a segregação urbana, a desigualdade social e a estigmatização dos bairros informais. Sucede que, para acompanhar esta realidade, as famílias endividam-se ou constroem as suas casas com as mesmas técnicas de construção convencionais, mas sem conseguirem terminá-las. Tal gera um problema grave de carência de habitações adequadas que permitam às famílias desenvolverem-se com dignidade. Neste âmbito, a CASADOMO pretende, a curto prazo, ultrapassar as dificuldades sentidas dos moradores dos bairros informais.

Munida de terrenos disponíveis, preferencialmente nestas zonas residenciais mais desfavorecidas, materiais básicos e ferramentas, a CASADOMO propõe soluções para enfrentar este desafio, defendendo estratégias para reduzir as perdas económicas associadas à construção de habitação social desajustada à realidade do país e das famílias. Do mesmo modo, aposta na requalificação tanto da habitação como dos parques urbanos dos bairros informais. CASADOMO incorpora uma mistura de ciência da construção com terra, tecnologia modular e visão de futuro, preparando o terreno para uma exploração mais profunda das suas capacidades e na resolução de problemas ligados à habitação social condigna.

É com este intuito que este artigo apresenta os resultados de um estudo realizado no âmbito da tese de doutoramento do primeiro autor, que se encontra em desenvolvimento no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Os resultados deste estudo consubstanciam uma proposta inovadora de construção modular com sacos de terra, em particular o superadobe, cujo objetivo é melhorar a compreensão e responder aos problemas habitacionais destes bairros informais, regenerando e otimizando as suas condições de sustentabilidade e habitabilidade através da simulação de um caso de estudo em *Rhino 3D + Grasshopper*, recuperar e restaurar as ideias de arquitetura bioclimática, sustentável, tradicional e económica em Cabo Verde e também encontrar novas soluções arquitetónicas para a regeneração e requalificação urbana destes bairros e não só. Esta proposta de habitação centra-se na combinação da nova tecnologia de construção modular em superadobe, do arquiteto Nadir Kalili, com os conceitos da arquitetura tradicional cabo-verdiana, a cubata africana evoluindo para funkku cabo-verdiano, como solução de habitação sustentável para estas camadas sociais desprivilegiadas.

## 2. Metodologia

Para propor a solução teórica subjacente à proposta CASADOMO, os autores utilizaram, primeiramente, o método de investigação de fontes primárias e secundárias que fornecem respostas convincentes ao problema identificado. As fontes primárias, como experiências, entrevistas e documentos originais, forneceram conhecimentos cruciais e dados autênticos, enquanto as fontes secundárias, como análises e revisões de literatura, contextualizam e validam os resultados (Rosa, 2024).

A proposta CASADOMO utiliza ainda como base trabalhos escritos e construções existentes em superadobe. Introduzem-se alterações a esta base para chegar a uma solução teórico-prática mais ajustada à realidade socioeconómica, ambiental e cultural dos moradores dos bairros informais da Praia. A proposta descrita neste

artigo adota assim uma abordagem metodológica que consiste, em primeiro lugar, na identificação do problema, na aplicação do método de observação direta e na análise dos problemas habitacionais dos bairros informais da cidade da Praia. Este método é também conhecido como um estudo naturalista ou etnográfico, no qual o investigador recolhe informações no local, que não consiste apenas em ver ou ouvir, mas em examinar os factos ou fenómenos que se pretende estudar, elemento básico da investigação científica, utilizado na pesquisa de campo como abordagem qualitativa, podendo ser utilizado na investigação em conjunto com outras técnicas (Fiorentini et al., 2006; Lakatos et al. 1992).

Adicionalmente, a proposta surgiu como resultado da aplicação de métodos de avaliação do seu desempenho funcional, técnico e económico pelo seu utilizador, aplicados ao ciclo de vida de soluções de habitação sustentável e à regeneração urbana de bairros informais na cidade da Praia (Cortês, 2025).

Como forma de demonstrar na prática a viabilidade da solução teórica proposta para o problema, é utilizado o método experimental, que consiste em validar a solução teórica proposta e as potenciais otimizações através da construção de um protótipo. Este método envolve a observação, a hipótese, a experimentação real, a generalização (lei) e a teoria (Bernard, 1881). De acordo com Cinegaglia (2021) para Fachin (2017), o método experimental é aquele em que as variáveis são manipuladas de forma pré-estabelecida e seus efeitos são suficientemente controlados e conhecidos pelo pesquisador para a observação do estudo (Fachin, 2017). A validação deste método é um processo contínuo que se inicia com o planeamento da estratégia e continua ao longo do seu desenvolvimento (Perez, 2010).

Este artigo foca-se na apresentação do enquadramento da solução CASADOMO para o contexto da Cidade da Praia, bem como validação da solução proposta. A validação da proposta CASADOMO foi executada pelo primeiro autor.

### **3. Revisão Literária**

A cidade da Praia, tal como outras cidades cabo-verdianas, desempenha um papel importante na vida da sua população. Nela concentram-se os principais serviços que geram riqueza e oportunidades e atraem pessoas de todo o país. Este facto contribui para uma procura crescente da cidade da Praia, resultando na sobrecarga do seu solo urbano e periurbano com novas construções, colocando desafios acrescidos à cidade da Praia. Estes desafios dependem de um conjunto de ativos essenciais que garantem o seu funcionamento contínuo e a sua sustentabilidade, incluindo componentes críticas como as infraestruturas hídricas, que asseguram a disponibilidade e distribuição de água potável e a gestão das águas residuais; as redes de transportes, que suportam a circulação de pessoas e bens, permitindo as deslocações pendulares e o comércio; os sistemas energéticos, que a alimentam e ditam a sua capacidade de funcionamento dia e noite; e as instituições de saúde, centros de bem-estar e inovação médica que garantem o bem-estar da população urbana (S. M. H. S. Rezvani, Almeida, Silva et al., 2023).

Estes desafios estão na base da resiliência urbana e habitacional da cidade da Praia — a sua capacidade de resistir, adaptar, transformar ou recuperar das adversidades está a ser cada vez mais posta à prova. Estes desafios exigem da cidade da Praia maior resiliência, rapidez de resposta e dinamismo, quer ao nível do emprego, quer ao nível do desenvolvimento urbano e habitacional. A população cabo-verdiana, sobretudo no interior do país, que sofre os efeitos dos maus anos agrícolas e da falta de oportunidades, continua a procurar cada vez mais na cidade da Praia e noutros grandes centros urbanos cabo-verdianos um lugar para se fixar. Na esperança de que estes lugares lhes possam garantir melhores condições de vida. Isso exige destes lugares e dos seus decisores um comportamento sério, responsável e solidário para com os novos residentes, sobretudo os mais carenciados que precisam de mais ajuda e atenção. Exige também que a cidade da Praia seja mais resiliente para se adaptar às novas realidades socioeconómicas e habitacionais destes residentes, permitindo-lhes uma integração mais justa na cidade. Isto sublinha a importância de um habitat confortável e de bens e serviços de qualidade para todos. Serviços que acompanhem o dinamismo da cidade da Praia, para que todos possam beneficiar de forma equitativa.

De acordo com (S. M. H. S. Rezvani, Falcão, et al., 2023), o crescimento das cidades e o aumento das densidades populacionais exigem um planeamento estratégico consistente, uma manutenção vigilante e uma proteção fortificada dos bens urbanos. Garantir que estes ativos estão alinhados com quadros regulamentares dinâmicos e em evolução e com considerações ambientais torna-se uma preocupação primordial. Assim como uma maior adequação das soluções habitacionais que proporcionem melhores condições de vida às pessoas, em particular às classes sociais mais desfavorecidas, o que visa integrar todos na vida pública, social e económica da cidade de uma forma segura.

O setor da construção, enquanto elemento-chave da economia mundial, gerou um valor de 8,2 triliões de dólares em 2022. Este valor tende a aumentar (S. M. H. S. Rezvani, Falcão, et al., 2023). No entanto, no meio deste desenvolvimento, há uma série de desafios, como o abastecimento urbano, a habitação, a água potável e a eletricidade. Estes constrangimentos continuam a preocupar a população praiense e constituem um grande desafio para a cidade da Praia, sobretudo para os bairros informais. A cidade da Praia alberga uma grande percentagem da população cabo-verdiana, que vive, maioritariamente, na periferia. Os bens e serviços são limitados e caros. Este facto dificulta o desenvolvimento normal da cidade da Praia. A cidade da Praia precisa, portanto, de ser mais ágil e coerente nas suas respostas, apresentando soluções que cheguem a todos os cidadãos por igual. É neste sentido que o investimento na reabilitação do habitat, em novos edifícios mais adequados e sustentáveis, na melhoria e aumento das redes de água e eletricidade é importante para a cidade da Praia. Este investimento permitirá à cidade da Praia aumentar a sua capacidade de resposta e minorar as carências.

Dadas as dificuldades e o número de beneficiários envolvidos, este investimento tende a ser elevado. Para minimizar o investimento, são necessárias ideias novas e adequadas que integrem as necessidades das famílias, quer na construção de novas habitações sociais, infraestruturas e equipamentos, quer na distribuição de mais redes de água e eletricidade, tornando o investimento menos dispendioso. Estas ideias devem envolver autores multidisciplinares experientes que conheçam a realidade socioeconómica e ambiental de Cabo Verde, particularmente dos bairros informais, onde as necessidades são maiores e requerem maior investimento.

É de notar que nem todas as habitações dos bairros informais, sobretudo as das famílias mais carenciadas, estão preparadas para a instalação de eletricidade e de canalizações de água potável. Elas precisam de ser restauradas para que estes serviços possam ser prestados. Daí a importância e a oportunidade de os profissionais de arquitetura e os construtores apresentarem ideias para restaurar, reabilitar e construir novas habitações sustentáveis, confortáveis e económicas para estas famílias, de modo que as suas habitações possam receber estes serviços de forma segura.

É importante também abrir uma discussão mais ampla sobre a problemática urbana e habitacional dos bairros informais e das infraestruturas da cidade da Praia, envolvendo a sociedade civil, académicos e profissionais da área da arquitetura, da construção civil e não só, com a pergunta de fundo — que habitação para os bairros informais e infraestruturas na cidade da Praia, no sentido de melhor servir a população praiense? Esta discussão levaria, certamente, a múltiplas reflexões com respostas variadas que depois de analisadas em detalhe permitiriam chegar a uma conclusão que melhor servisse a cidade da Praia e os próprios bairros informais, com melhores infraestruturas e habitações mais adequadas, sustentáveis e de baixo custo, integrando soluções económicas também elas, sustentáveis e duradouras. Uma solução que reduzisse a possibilidade de erros ou falhas de construção e que as famílias não tivessem de desperdiçar as suas poupanças em construções defeituosas que nunca são terminadas e que não as beneficiam nem à cidade que as acolhe.

#### **4. Solução Proposta**

A ideia de CASADOMO baseia-se em trabalhos escritos e em construções em superadobe do arquiteto Nardir Kalili e outros citados no livro de Kaki Hunter e Donald Kiffmeyer, intitulado *Earthbag Building*, publicado em 2004 pela *new society publishers*, no Canadá. Esta base foi ampliada, ajustada e adaptada à realidade socioeconómica, ambiental e cultural dos moradores dos bairros informais da Praia. Desta forma, a CASADOMO

ganhou uma certa originalidade por ser o primeiro projeto concebido e construído em Cabo Verde para os moradores dos bairros informais da cidade da Praia.

Autores como Kaki Hunter e Donald Kiffmeyer, no livro *Earthbag Building*, publicado em 2004 pela *new society publishers* no Canadá; *Building with earth: Technology of a Sustainable Architecture* de Gernot Minke publicado em 2006 pela *Birkhäuser — Publishers for Architecture Basel, Berlin and Boston*, para além de fornecerem à CASADOMO elementos históricos, técnicos e de aprofundamento sobre a construção com terra, serviram também de base para que a CASADOMO ganhasse uma certa consistência concetual e construtiva.

O manual de superadobe de Miguel Ciudad, publicado em 2011, e o trabalho de Ramon Llimós Montagut, em 2013, sobre *“Anàlisi de la construcció amb earthbag i superadobe”*, também deram um grande contributo para a ideia de CASADOMO, especialmente no que diz respeito ao ensino da construção do domo em superadobe. A contribuição dos autores para a formação e realização da ideia CASADOMO não se limita aos autores acima mencionados, mas estes servem para ilustrar o conhecimento de base sobre o tema.

Em resposta aos desafios concretos da cidade da Praia, relativamente à necessidade de habitação sustentável de baixo custo, a CASADOMO apresenta-se como uma solução resiliente que melhor se adequa a estes desafios, particularmente nos bairros informais da cidade da Praia.

A CASADOMO surgiu do raciocínio lógico de um grupo misto de professores, investigadores e profissionais ativos, ligados ao setor da arquitetura, engenharia e construção, tendo em vista superar dificuldades habitacionais e infraestruturais dos bairros informais da cidade da Praia. A CASADOMO assenta em dois aspetos fundamentais que sustentam o seu conceito de sustentabilidade a baixo custo — o rigor do pensamento na simplicidade arquitetónica e construtiva, aliado à prática tradicional e à nova tecnologia de construção modular com sacos de terra. Nesta conjugação, são tidas em conta as questões culturais e socioeconómicas das famílias, particularmente nos bairros informais, bem como as exigências ambientais do local onde estas famílias vivem. Estas condições permitiram à CASADOMO integrar-se passivamente no lugar, na vida pública, social, económica e ambiental das famílias.

A ideia do projeto CASADOMO surgiu na sequência de uma tentativa de resolver o problema fictício da habitação da “família do Sr. Zé na cidade da Praia”, a partir da seguinte passagem: O Sr. Zé, que tinha vivido durante dois anos no interior de Santiago com a sua esposa e filha de 4 anos de idade, mudou-se sozinho para a cidade da Praia devido à falta de trabalho causada pelos anos de seca. Uma vez na Praia, o Sr. Zé encontrou um emprego como pedreiro e alugou um quarto com casa de banho privativa.

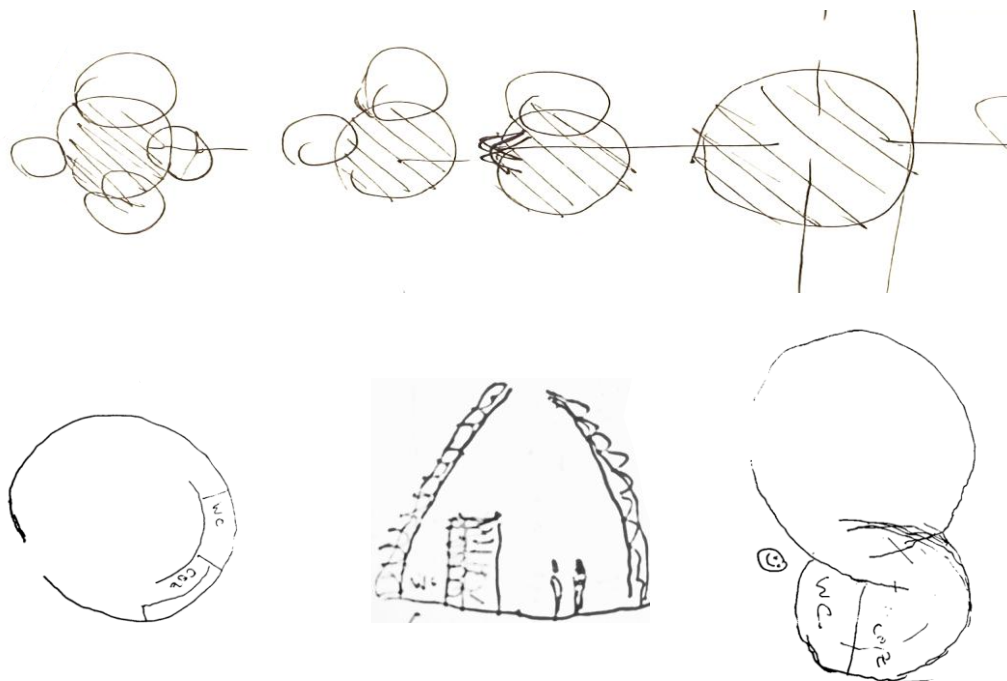
partilhando a cozinha e a sala de estar com os outros residentes da casa. Com este trabalho, o Sr. Zé podia pagar a renda do seu quarto e sustentar a sua família no campo. Após um ano, o Sr. Zé decidiu reunir a família. Ele alugou uma casa maior que encontrou em Achada Mato, perto do bairro Jamaica, e trouxe a sua mulher e filha do campo. O Sr. Zé continuou a trabalhar na construção, enquanto a sua esposa fazia trabalhos domésticos temporários nas proximidades.

Após quase um ano, devido às crises, o trabalho na construção civil começou a diminuir, até que um dia já não havia mais trabalho para o Sr. Zé. Enquanto isso a sua mulher continuava a fazer o seu pequeno trabalho, que mal chegava para alimentar a família. Após meses, o Sr. Zé não conseguiu encontrar um emprego, enquanto a renda da casa se acumulava. Após cinco meses de renda em atraso, o senhorio pediu ao Senhor Zé para deixar a casa, pois ele já não podia pagar a renda. Não tendo outra alternativa, o Senhor Zé entregou a casa e foi viver para o bairro Jamaica com outros vizinhos que também vieram do campo e, por razões semelhantes, também foram viver para lá.

Tendo em conta esta necessidade urgente de habitação, este artigo apresenta na Figura 1 um esboço simples do raciocínio lógico que deu origem à ideia do projeto CASADOMO. Esta ideia de projeto visa responder a curto prazo, de forma segura, eficaz e sustentável, às dificuldades de habitação da família do Sr. Zé e de outras famílias na mesma situação que a família do Sr. Zé.

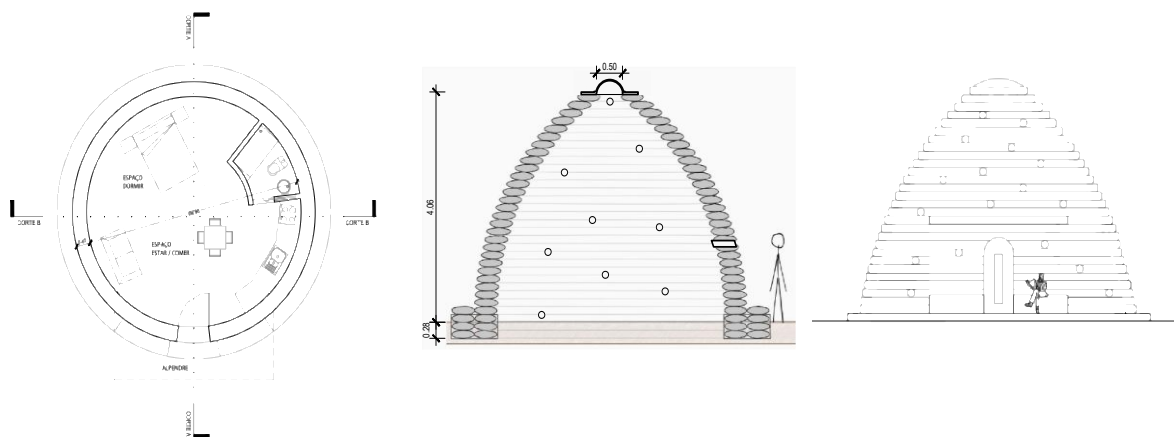
A CASADOMO integra a ideia de que todos os membros da família podem participar na sua construção, o que comprova a sua facilidade de utilização. Promete proteger as famílias do vento, da chuva e do frio e, sobretudo, proporcionar um ambiente confortável num único espaço que integra num só elemento a simplicidade, a funcionalidade, a materialidade, a qualidade do espaço, a luz e a ventilação natural.

**Figura 1:** Esboço da Ideia do projeto CASADOMO.



**Fonte:** Autor e Manuel Guedes.

**Figura 2:** Planta, corte e alçada de CASADOMO.



**Fonte:** Autor.

Figura 3: CASADOMO.



Fonte: Autor.

A CASADOMO é um espaço evolutivo. Uma casa que contraria e promove melhores condições de vida do que as habitações convencionais e as construções feitas de chapa, papelão e restos de lixo. A CASADOMO é uma proposta de habitação bioclimática que evoca a ideia de minimalismo do arquiteto alemão Ludwig Mies van der Rohe (1886–1969). Este tipo de arquitetura foi desenvolvido desde o início do século XX, invocando a utilização de poucos elementos fundamentais como base da expressão arquitetônica “menos é mais” (Malan et al., 2002). Com este estilo arquitetônico “*Less is more*”, o arquiteto Ludwig Mies van der Rohe criou espaços únicos que albergam subespaços abertos, fechados ou semiabertos.

## 5. Execução da Proposta CASADOMO

### 5.1. Preparação da Construção

Utiliza-se o software online *Domos 2.0 da Curvatectures* para preparar a construção. Basta introduzir o diâmetro do domo e o programa desenhará o domo, calculando a sua altura, a espessura da parede e as fiadas, bem como estimando o comprimento total do saco de superadobe e do arame farpado necessários para o construir e quantas fiadas de arame farpado devem ser colocadas nas fiadas de superadobe. Também calcula a quantidade de terra e a percentagem de elementos de terra necessários dando, ainda, recomendações sobre como construir o domo em segurança.

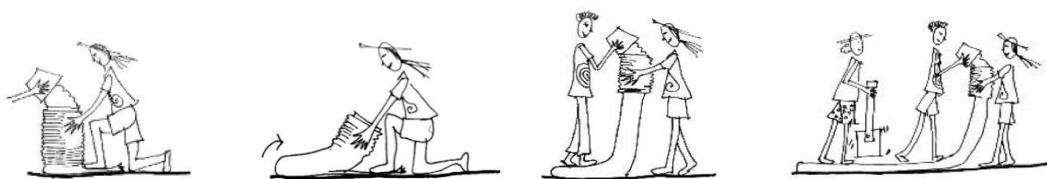
### 5.2. Materiais

Nesta construção foram necessários os seguintes materiais: Saco de superadobe, arame farpado, balde sem fundo, balde comum, pás, enxada, cortador, picareta, regador de plantas, carrinho de mão, alicate, luvas de proteção, entre outros.

### 5.3. Procedimento de Construção

Começa-se por desenrolar um pedaço de saco de superadobe da bobina, com o mesmo comprimento que o círculo, deixando 50 cm de cada lado, o que permite dobrar o saco com segurança, tanto no início como no fim do enchimento. De seguida, o saco é colocado num balde sem fundo, deixando cerca de 50 cm de cada lado para dobrar. São retirados mais sacos da bobina e colocados de lado para serem cheios mais tarde. Duas pessoas podem encher o saco sem grande esforço, ou seja, uma pessoa segura o balde sem fundo com o saco e a outra pessoa deita a terra no balde. Quando o balde estiver cheio, é levantado lentamente e inclinado um pouco na direção da pessoa que o segura, para permitir que o saco cheio de terra se deite seguindo o desenho do círculo. Uma pessoa segue-o, compactando o saco. Uma vez feito isto, as duas pessoas podem ficar de pé e continuar a segurar e a encher o saco de superadobe, Figura 2. Uma vez terminado o círculo, colocam-se duas filas de arame farpado. O que permite a aderência entre as fiadas. A mesma operação é repetida, até ao final da construção (Geiger, 2018).

Figura 4: Procedimento de construção em superadobe.



Fonte: Dina (2013)

#### 5.4. Execução da Proposta

CASADOMO foi implementado pela primeira vez em Cabo Verde na zona “*Figuera Sintchu*” — no município de Tarrafal de Santiago, numa encosta semelhante aos bairros informais da cidade da Praia. Está virada para sul e protegida do vento predominante de leste, Figura 3.

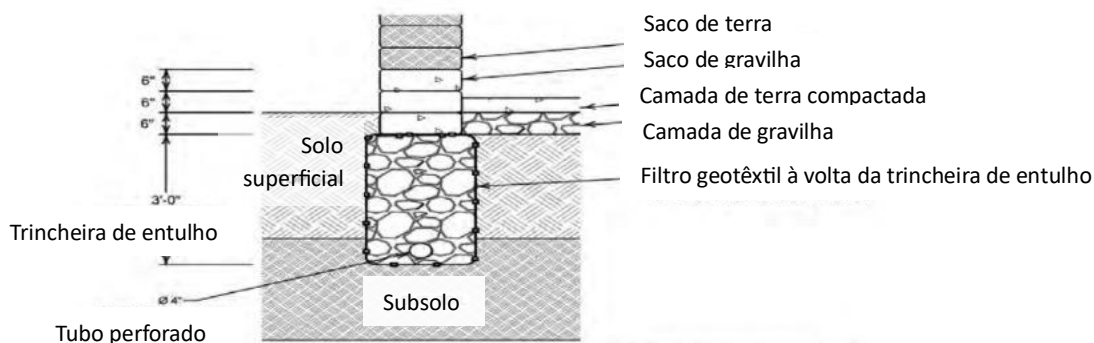
##### Fase 1 — Preparação do terreno

Preparação do terreno, com limpeza e regularização do solo para a implantação de CASADOMO. Uma vez preparado o terreno, o círculo é marcado no solo com um compasso metálico feito in situ. Para verificar o tipo de solo e a capacidade de compactação, é realizado um ensaio rápido de sedimentação e compactação in situ, como mostra a Figura 4.

##### Fase 2 — Fundação

Para este tipo de construção, é geralmente utilizada uma fundação de trincheira de entulho, Figura 5, embora também possa ser utilizado outro tipo, mais tradicional, de fundação de alvenaria de pedra seca.

Figura 1: Fundação de trincheira.



Fonte: Geiger (2013).

As fundações em trincheiras de entulho só são adequadas para solos médios ou duros (Hunter et al., 2004). Neste caso CASADOMO, é criada uma vala com 50 cm a 80 cm de profundidade e 60 cm de largura, preenchida com entulho até 60 cm abaixo do nível do solo. Três sacos de brita são colocados sobre o entulho. A primeira camada é colocada 18 cm abaixo do nível do solo. Estes sacos são duplos para garantir uma maior resistência. Os sacos de gravilha são colocados abaixo do nível do solo e estendem-se acima do nível do solo nas zonas inundáveis, reduzindo assim o risco de danos causados pela água (Geiger, 2018). O solo utilizado para encher o saco deve estar em boas condições, ou seja, isento de matérias inorgânicas que possam germinar ou brotar na presença de água e degradar, assim, a estrutura do superadobe. O solo utilizado para o enchimento do saco deve estar em boas condições, ou seja, isento de matérias inorgânicas suscetíveis de germinar ou brotar na presença de água e de degradar, assim, a estrutura do superadobe.

**Figura 6:** Implantação do modelo.



**Fonte:** Autor.

**Figura 7:** Desbravamento, limpeza, terraplanagem, marcação ao solo e teste rápido.



**Fonte:** Autor.

### **Fase 3 — Construção de estrutura de superadobe — alvenaria**

Nesta construção são utilizados sacos de superadobe reenchido com terra assim como sucedeu na da fundação. Nesta fase os trabalhadores são organizados da seguinte forma: dois preparam a terra (peneiram, melhoram e hidratam a terra); outro transporta-a para encher o saco; depois, um assegura enquanto outro enche o saco; por fim, um trabalhador compacta e nivela o saco. Enquanto outro coloca e fixa o arame farpado. Estas operações repetem-se até que o domo esteja completo (Figura 5). O saco de superadobe é desenrolado da bobina, como para a fundação. Este saco é esticado sobre a fundação, deixando uma margem de 50 cm em cada extremidade, e depois dobrado por debaixo da fiada.

### **5.5. Custo de Construção**

Para a construção da CASADOMO utilizou-se o solo local. A matéria orgânica, como caules, raízes, folhas e sementes, foi retirada do solo. Em termos de custos, o solo utilizado nesta construção tem um custo zero. A única coisa que foi paga foi o salário dos trabalhadores envolvidos na sua preparação e no seu transporte para encher o saco. Foram necessários 518,45 metros de sacos de superadobe, 894,17 metros de arame farpado, alicates, um balde sem fundo, 4 baldes normais, duas pás, uma enxada, um cortador, uma picareta, um regador de plantas, um carrinho de mão, luvas de proteção, entre outros materiais.

**Figura 2:** Construção do domo.

**Fonte:** Autor.

Foram pagos 200 euros por um saco de 500 metros de superadobe, 20 euros por 20 sacos individuais de 90 cm de comprimento e 100 euros pelo transporte desses sacos. Para a ventilação do protótipo, foram pagos 20 euros por 20 grelhas de ventilação e 3 tubos de 110 mm de diâmetro. O trabalho de estruturação do domo demorou três semanas e foi efetuado por quatro trabalhadores permanentes e alguns trabalhadores ocasionais. O custo do domo foi de cerca de 25.000 escudos cabo-verdianos, ou seja, aproximadamente 2.500 euros, financiados pelo autor. O baixo custo de construção deste protótipo deve-se ao facto de o solo utilizado na sua construção não ter sido pago e de não ter sido necessário contratar profissionais para o construir. Qualquer trabalhador podia contribuir e o preço pago pelos seus serviços foi o mínimo de mercado de 12 euros por dia, ou 1.200 escudos cabo-verdianos.

### 5.6. Durabilidade e Custo de Manutenção

A vida útil da construção em superadobe é tão longa como a de qualquer outro edifício bem conservado. Lembre-se que a construção em terra existe há milhares de anos e pode durar muitos anos. Um domo de superadobe bem conservado pode durar muitos anos. A manutenção consiste em manter o reboco e a pintura em bom estado. É aconselhável verificar regularmente a estrutura de superadobe, especialmente durante a estação das chuvas. Nesta altura, existe o risco de aparecerem rebentos no corpo do domo. Se isso acontecer, é importante removê-los enquanto ainda estão tenros e reparar o reboco e a pintura na estação seca. Isto permite que o reboco se consolide e seque corretamente, protegendo a estrutura de superadobe e evitando que fique exposta às intempéries, se degrade ou se deteriore, lentamente. A reparação de uma estrutura de superadobe é rápida e pouco dispendiosa (Hunter et al., 2004).

### Conclusão

A construção da proposta — CASADOMO permitiu-nos concluir que se trata de um projeto habitacional inovador com potencial para harmonizar paradigmas tecnológicos e construtivos avançados com os imperativos da resiliência urbana e habitacional. Pode ser construído de forma segura e alargada em todos os bairros informais. Poderá ser uma solução habitacional plausível para estes bairros. A CASADOMO pode também ser uma ideia de negócio para um empreendimento turístico de baixo custo.

Em suma, a ideia arquitetónica e construtiva da CASADOMO é incontornável no mundo em que vivemos, onde há cada vez mais pessoas, famílias fragilizadas, que não conseguem ter uma habitação condigna a baixo custo. O enquadramento holístico adotado pela CASADOMO, acentuado pela profunda experiência da sua equipa, não só atesta a sua mais-valia intrínseca, como também sublinha o seu perfeito alinhamento com as necessidades atuais de habitação destas comunidades. Neste contexto, a CASADOMO partilha aspirações e competências tecnológicas e construtivas, válidas como solução para estes problemas e, ao mesmo tempo, como negócio no

novo quadro social e económico de Cabo Verde e não só. As revisões de literatura efetuadas neste artigo forneceram-nos conhecimentos avançados para a implementação bem-sucedida da CASADOMO em Cabo Verde. Os elogios e o reconhecimento permitem que a CASADOMO ultrapasse a ideia de um projeto social para triunfar no mundo dos negócios. A sua conceção meticulosa revela um potencial profundo que, quando visto com atenção, desperta o interesse e a curiosidade de experimentar. Destina-se ao público cabo-verdiano, particularmente nos bairros informais, servindo de farol e ajudando-o a ultrapassar os seus problemas de habitação, mas também a aventurar-se no mundo dos negócios. De um modo geral, a construção da CASADOMO em Cabo Verde permitiu-nos validar o método aplicado neste artigo e assumir que a CASADOMO é o início de um grande laboratório experimental de construção em terra, em Cabo Verde.

### Referências

Bernard, C. (1881). *L'oeuvre de Claude Bernard: Bibliographie des travaux scientifiques*. Librairie J.-B.-Baillière et Fils.

Cinegaglia, M. N. (2021). *Metodologia científica: Método experimental*. Retrieved December 24, 2024, from <https://www.metodologiacientifica.org/metodos-de-procedimentos/metodo-experimental/>

Cortês, F., Guedes, M., de Almeida, N., & Chantre, E. (2025). Solução conjugada de construção tradicional e tecnologia modular para bairros informais sustentáveis em Cabo Verde. *RAE — Revista De Ativos De Engenharia*, 3(1), 004–018. <https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.900>

Fachin, O. (2017). *Fundamento da metodologia científica: Noções básicas em pesquisa científica* (6<sup>th</sup> ed.). Saraiva.

Florentini, D., & Lorenzato, S. (2006). *Investigação em educação matemático: Percursos teóricos e metodológicos*. Autores Associados. Retrieved December 23, 2024, from [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/25237/1/Livro\\_Metodologia\\_da\\_Pesquisa.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/25237/1/Livro_Metodologia_da_Pesquisa.pdf)

Geiger, O. (2018). *Earthbag building: Guide*.

Guedes, M. C. (2011). *Arquitetura sustentável em Cabo Verde: Manual de boas práticas*. CPLP.

Hunter, K., & Kiffmeyer, D. (2004). *Earthbag building: The tools, tricks and techniques*. New Society Publishers.

Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (1992). *Metodologia do trabalho científico* (4<sup>th</sup> ed.). Atlas.

Malan, R., & Bredemeyer, D. (2002). Less is more with minimalist architecture. *IT Professional*, 4(5).

Neves, C. M. M., Faria, B. O., Rotondaro, R., Cevallos, P. S., & Hoffmann, V. M. (2009). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra: Práticas de campo*. Rede Ibero-americana Proterra. Retrieved March 10, 2021, from <http://www.redproterra.org>

Perez, M., & Fávoro, A. (2010). Validação de métodos analíticos: Como fazer? Por que ela é importante? *Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens*, 22(3). Instituto de Tecnologia de Alimentos.

Rezvani, S. M. H. S., Almeida, N., & Silva, M. J. F. (2023). Multi-disciplinary and dynamic urban resilience assessment through stochastic analysis of a virtual city. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25448-2\\_62](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25448-2_62)

Rosa, N. (2024). *Fontes primárias e secundárias: O que são e qual é sua importância?* Retrieved December 24, 2024, from <https://blog.mettzer.com/fontes-primarias-e-secundarias/>

UN-Habitat & Housing Unit. (2016). *Housing at the centre of the new urban agenda brochure* (p. 20).

### Declaração Ética

**Conflito de Interesse:** Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla-cega.



Todo o conteúdo da *RAE — Revista de Ativos de Engenharia* é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.



# Revista de Ativos de Engenharia