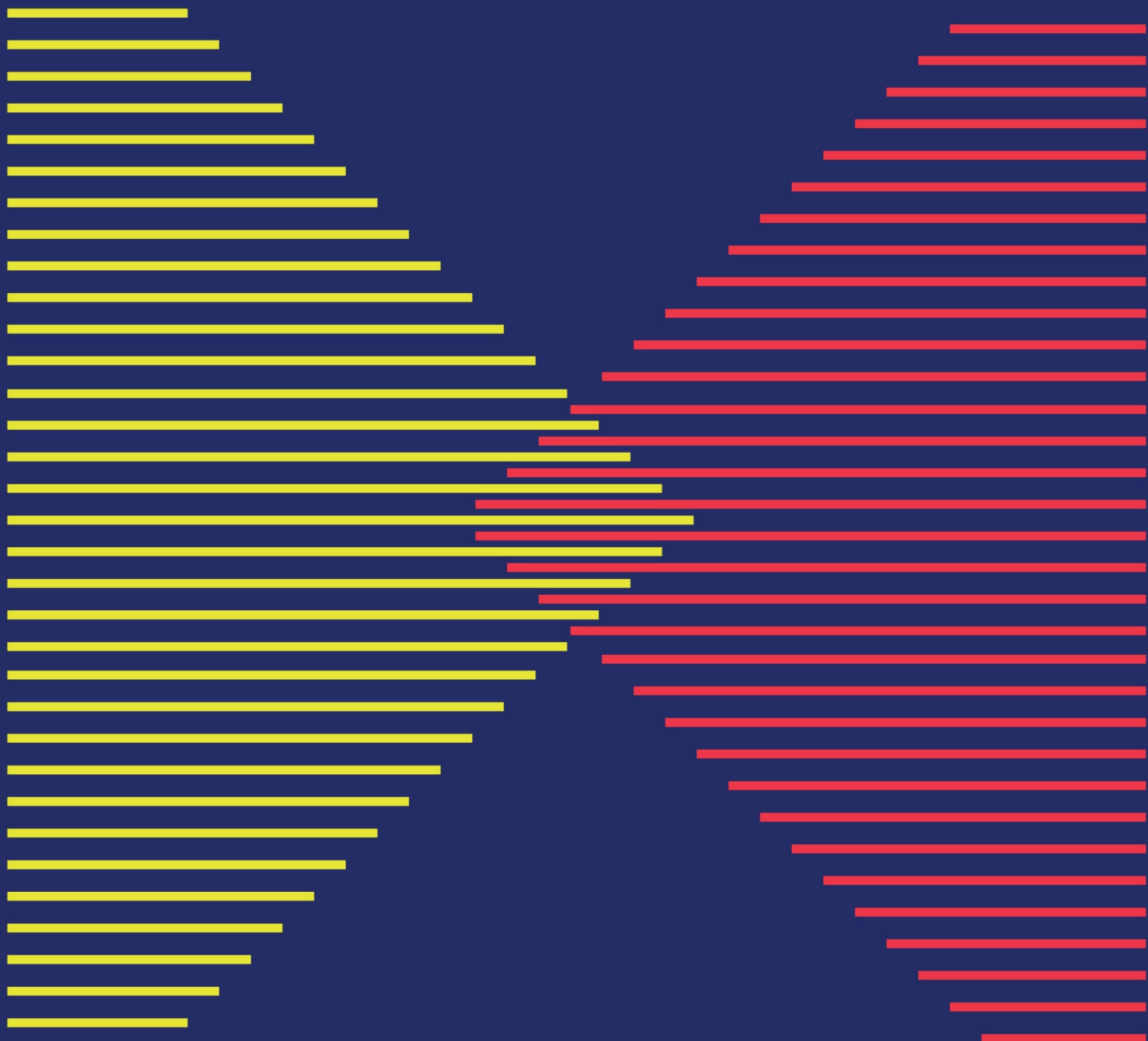


Revista de Ativos de Engenharia

2025

Volume 3, Número 1
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
- **Contacto de apoio:**
 - Ponteditora
 - +351 291 723 010
 - 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 Diaz  — 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


Página	Título	Autor(es)
01	Editorial — New technology in industrial maintenance and asset management	Daniel Gaspar
04	Solução conjugada de construção tradicional e tecnologia modular para bairros informais sustentáveis em Cabo Verde	Felisberto Cortês et al.
19	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	Rinaldo Camurugy Alisson Brandão
31	Análisis de los costes de inversión y operativos en el ciclo de vida del material rodante ferroviario: Implicaciones para los actores clave y estrategias de gestión	Juan Bueno
50	Gestão de ativos aplicada a empresas de saneamento: implantação de modelo na Empresa Baiana de Águas e Saneamento — Embasa	Alisson Brandão Rinaldo Camurugy
68	Indicadores de desempenho de pavimentos em sistemas de gestão de ativos para os países em vias de desenvolvimento	José Vaz et al.
81	Aplicación del Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) alineado a un proceso integral de Gestión de Activos. Caso de estudio: SINEA Perú	Carlos Parra et al.



Editorial — New technology in industrial maintenance and asset management

Editorial — As novas tecnologias na manutenção industrial e na gestão de ativos

[10.29073/rae.v3i1.974](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.974)

Autor: Daniel Gaspar , IPV/CISED, Portugal danigaspar@estgv.ipv.pt.

This edition of RAE is entirely composed of full-length manuscripts selected amongst works presented at Congrega'24, the 1st Ibero-American Congress on Engineering Asset Management & 2nd Portuguese Congress on Engineering Asset Management, which took place from 3-5 July 2024 in Lisbon with the theme "Sustainable and Digital Innovation in Engineering Asset Management". One of the recurrent debates in Congrega'24 was about digitalization and the use of new technologies in industrial maintenance and asset management. This topic has been attracting much attention globally (GFMAM, 2024; Crespo, 2024), and this editorial provides a commentary of this specific issue.

The adoption of new technologies in industrial environments not only raises operational performance to higher levels but also generates a significant impact on business sustainability. With advanced capabilities that enable more accurate, predictive and efficient maintenance, companies are able to reduce material waste, minimize energy consumption and extend the life of assets (de Almeida Pais et al., 2021). This positive impact translates into lower operating costs and a significant reduction in environmental impact, aligning operations with more responsible and sustainable standards.

The impact of technological innovation in business practices of major industry players goes beyond operational efficiency: it redefines the strategy of organizations in the contemporary market. Companies that adopt these technologies not only achieve greater profitability but can also use these technologies to demonstrate more clearly a commitment to social and environmental responsibility, reinforcing their image before consumers, investors and regulators (Kok et al., 2024; Zhang et al., 2019). This reputational impact is crucial in a scenario where sustainability is increasingly valued as a competitive advantage.

New technologies applied to maintenance and physical asset management are profoundly transforming the impact of business operations. The incorporation of artificial intelligence, Internet of Things (IoT) and real-time data analytics creates a virtuous cycle of positive impact: improved efficiency, reduced costs and increased reliability (Gbadamosi et al., 2021). Furthermore, by reducing the environmental and social impact of their activities, companies position themselves as innovative leaders in a competitive and constantly evolving market.

By adopting these innovations, organizations not only ensure an immediate impact on the performance of their assets but also a lasting impact on their competitiveness and sustainability. This is a strategic investment that combines profitability, innovation and responsibility, preparing companies for a future with a positive impact on a global scale.

With the advancement of digitalization, tools such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), big data and predictive analytics have gained increasing relevance, allowing organizations to adopt more efficient, proactive and strategic approaches in managing their assets (Teoh et al., 2023).

The ISO/IEC 23053:2022 provides a framework for Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) that defines a generic AI system utilizing ML technologies. It outlines the system's components and their roles within the AI ecosystem. The framework is designed to be applicable to organizations of all types and sizes, including private and public companies, government agencies, and non-profit organizations that develop or deploy AI systems.



Maintenance, previously characterized by preventive and corrective approaches, now benefits from a predictive model, which uses real-time data to anticipate failures and optimize processes. IoT sensors, installed in equipment, collect constant information about its performance, such as temperature, vibration, pressure and wear (M. Liu et al., 2024). This data is then analyzed by AI algorithms, which are able to identify patterns and predict when a failure might occur. This allows intervention only when really necessary, avoiding unexpected shutdowns and increasing the useful life of assets (Resende et al., 2021).

Furthermore, IoT is not just limited to maintenance but plays a crucial role in other asset management functions. By connecting devices and machines to centralized monitoring systems, companies can gain a more holistic and real-time view of the status of their assets, making it easier to continuously monitor their performance. With this connectivity, it is also possible to make adjustments and optimizations during operation, ensuring that assets are being used efficiently and effectively (Gbadamosi et al., 2021; Syfar et al., 2018).

Another major advance has been the use of big data. With the gigantic volume of data generated by sensors, maintenance histories and other collection points, big data allows companies to carry out in-depth analyses, identifying trends and patterns that, at first glance, could go unnoticed. This analysis process not only improves maintenance planning, but also provides valuable insights for resource allocation, cost management and better asset utilization. The combination of historical data and real-time information helps to create a continuous cycle of improvement and optimization in the operation (Mitra & Munir, 2019).

The use of increasingly sophisticated integrated enterprise resource planning (ERP) systems has also facilitated asset and maintenance management. By integrating ERP with technologies such as IoT and AI, companies can centralize all information about their assets in a single system, making the decision-making process more agile and accurate. This allows maintenance teams to access detailed data on the performance of each asset, perform quick diagnostics and plan actions efficiently (Wijesinghe et al., 2024).

But using connectivity and new technologies also exposes assets and asset systems to cybercrime, with the constant evolution of new threats, making it increasingly important to manage cyber risks, becoming more risk-aware and proactively identifying and addressing vulnerabilities.

There is a global trend in the commitment towards digitalization. To this end, there is a need to introduce new models and frameworks to implement good practices in the digitalization of assets, their business and asset management. In this way, we will have an industry with more sustainable operations and that takes advantage of value-based and digitalized asset management. This is expected to boost the integration of asset data applications for visual inspection, remote asset monitoring and predictive maintenance towards optimum physical asset management. Tools such as robotics, artificial intelligence (AI) and machine learning are expected to provide insights into how assets are performing, and how more value can be created, including more efficient operations and meeting business and overall societal goals.

References

Crespo Marquez, A. (2024). Digital transformation in maintenance and asset management [Conference presentation]. In *OMAINTEC—The 21 International Operations & Maintenance Conference in the Arab Countries, Cairo*. <https://omaintec.com/sitecontent/uploads/editor/Omaintec23cairo/Presentations/Day-01/Session-01/3-Adolfo%20Crespo%20Marquez.pdf>

de Almeida Pais, J. E., Raposo, H. D. N., Farinha, J. T., Cardoso, A. J. M., & Marques, P. A. (2021). Optimizing the life cycle of physical assets through an integrated life cycle assessment method. *Energies*, 14(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/en14196128>

Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>



Gbadamosi, A.-Q., Oyedele, L. O., Delgado, J. M. D., Kusimo, H., Akanbi, L., Olawale, O., & Muhammed-Yakubu, N. (2021). IoT for predictive assets monitoring and maintenance: An implementation strategy for the UK rail industry. *Automation in Construction*, 122, 103486. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103486>

GFMAM. (2024). Digital transformation in maintenance and asset management (English version, 1st ed.) [Book]. GFMAM—Global Forum on Maintenance and Asset Management. <https://gfmam.org/publications/digital-transformation-maintenance-and-asset-management>

Kok, A., Martinetti, A., & Braaksma, J. (2024). The impact of integrating information technology with operational technology in physical assets: A literature review. *IEEE Access*, 12, 111832–111845. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3442443>

Liu, M., Liu, H.-F., & Lee, C.-C. (2024). An empirical study on the response of the energy market to the shock from the artificial intelligence industry. *Energy*, 288, 129655. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129655>

Liu, X.-W., Li, C.-Y., Dang, S., Wang, W., Qu, J., Chen, T., & Wang, Q.-L. (2022). Research on training effectiveness of professional maintenance personnel based on virtual reality and augmented reality technology. *Sustainability*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/su142114351>

Mitra, A., & Munir, K. (2019). Influence of big data in managing cyber assets. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(4), 503–514. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-07-2018-0098>

Resende, C., Folgado, D., Oliveira, J., Franco, B., Moreira, W., Oliveira-Jr, A., Cavaleiro, A., & Carvalho, R. (2021). TIP4.0: Industrial internet of things platform for predictive maintenance. *Sensors*, 21(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/s21144676>

Syafar, F., Koronios, A., & Gao, J. (2018). Mobile technologies in asset maintenance. In M. J. Zuo, L. Ma, J. Mathew, & H.-Z. Huang (Eds.), *Engineering asset management 2016* (pp. 245–253). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62274-3_22

Teoh, Y. K., Gill, S. S., & Parlikad, A. K. (2023). IoT and fog-computing-based predictive maintenance model for effective asset management in Industry 4.0 using machine learning. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(3), 2087–2094. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3050441>

Wijesinghe, S., Nanayakkara, I., Pathirana, R., Wickramarachchi, R., & Fernando, I. (2024). Impact of IoT integration on enterprise resource planning (ERP) systems: A comprehensive literature analysis. In *2024 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)* (Vol. 7, pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/SCSE61872.2024.10550684>

Zhang, Y., Khan, U., Lee, S., & Salik, M. (2019). The influence of management innovation and technological innovation on organization performance: A mediating role of sustainability. *Sustainability*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/su11020495>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar.



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.

Solução conjugada de construção tradicional e tecnologia modular para bairros informais sustentáveis em Cabo Verde

A combined solution of traditional construction and modular technology for sustainable informal settlements in Cape Verde

[10.29073/rae.v3i1.900](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.900)

Recebido: 6 de março de 2024.

Aprovado: 21 de outubro de 2024.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a 1: Felisberto Cortês, Mario Teixeira Cortês e Eugenia Lopes da Veiga, Portugal, felisbertocortes@me.com.

Autor/a 2: Manuel Guedes , Instituto Superior Técnico, Portugal, manuel.guedes@tecnico.ulisboa.pt.

Autor/a 3: Nuno de Almeida , Instituto Superior Técnico, Portugal, nunomarquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt.

Autor/a 4: Elvis Chantre , Universidade de Cabo Verde, Cabo Verde, elvis.chantre@docente.unicv.edu.cv.

Resumo

Segundo o UN-Habitat 2017, mais de mil milhões de pessoas nos países em desenvolvimento carecem de abrigo adequado para se desenvolverem com dignidade. Destes, aproximadamente cem milhões não têm abrigo ou vivem em más condições de habitabilidade. Infelizmente, a cidade da Praia, em Cabo Verde, não é exceção. Na cidade da Praia, embora tenha havido avanços e recuos neste contexto, a verdade é que, nos últimos 20 anos, a percentagem da população que vive em más condições habitacionais aumentou significativamente. As dificuldades habitacionais e a proliferação de bairros informais estão cada vez mais presentes. As famílias constroem abrigos que não as beneficiam. Nem elas, nem a cidade que as acolheu.

Este artigo apresenta um estudo sobre uma solução de habitação sustentável, com terra, para os bairros informais da cidade da Praia, que se constitui como uma abordagem inovadora para a problemática mencionada, centrada na combinação da nova tecnologia modular com soluções de construção tradicional. Apresenta-se o conceito, simula-se e demonstra-se a aplicabilidade desta nova abordagem na melhoria das condições de habitabilidade dos bairros informais da cidade da Praia. O estudo inclui uma simulação em Rhino 3D + Grasshopper e a reinterpretação do conceito de habitação tradicional cabo-verdiana associada à técnica de construção em superadobe.

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

Abstract

According to UN-Habitat 2017, more than one billion people in developing countries do not have adequate shelter to develop with dignity. Almost a hundred million of these people are homeless or live in precarious housing conditions. Unfortunately, the city of Praia in Cape Verde is no exception. In the city of Praia, although there have been advances and setbacks in this context, the truth is that, over the last 20 years, the percentage of the population living in poor housing conditions has increased significantly. Housing problems and the proliferation of informal neighborhoods are increasingly present. Families build shelters that don't benefit them. Not them, and not the city that received them.

This article summarizes a study for developing a sustainable housing solution with soil for informal neighborhoods in the city of Praia. It presents an innovative approach to this problem, centered on combining new modular technologies with traditional construction solutions. The concept is presented, simulated and the applicability of this new approach to improving the living conditions of informal neighborhoods in the city of Praia is demonstrated. The study includes a Rhino 3D + Grasshopper simulation and the reinterpretation of the concept of traditional Cape Verdean housing associated with the superadobe construction technique.

Keywords: Informal Settlements; Modular Construction; Praia City; Superadobe; Sustainable Housing.

1. Introdução

Segundo o UN-Habitat 2017, mais de mil milhões de pessoas nos países em desenvolvimento não têm habitação adequada para se desenvolverem confortavelmente. Estas pessoas vivem maioritariamente nos arredores de grandes cidades. Destas pessoas, aproximadamente cem milhões são desalojados ou vivem em más condições de habitabilidade. Infelizmente, a cidade da Praia em Cabo Verde não é exceção. Após a independência de Cabo Verde, a cidade da Praia tornou-se mais centralizada. Gerou serviços e riquezas que atraíram pessoas de diversos cantos do país. Segundo a UN DESA (2017), “estima-se que 68% das pessoas vivam em zonas urbanas em Cabo Verde, e que este valor atinja os 73% em 2030”. Só, a cidade da Praia, alberga 159.050 pessoas, ou seja, quase 30% da população residente cabo-verdiana, ultrapassando Mindelo com cerca de 15%, embora se tenha verificado um crescimento acentuado e generalizado em quase todos os principais centros urbanos de Cabo Verde nos últimos trinta anos, nomeadamente nas ilhas mais turísticas, como a Boa Vista e Sal (INE, 2010; INE, 2017).

A cidade da Praia, à semelhança de outras metrópoles de países em desenvolvimento, nos últimos 20 anos, nunca experimentou um tal crescimento na população a viver em más condições habitacionais. O crescimento da população residente, as desigualdades sociais, a pobreza, a proliferação de bairros informais, as dificuldades urbanas e habitacionais, estão cada vez mais presentes e visíveis na forma como as famílias ocupam e se distribuem pela cidade, construindo abrigos que não as beneficiam, impedindo um desenvolvimento digno e seguro.

A cidade da Praia situa-se a norte da ilha de Santiago. Foi descoberta no início do século XVI por marinheiros que atravessavam o Oceano Atlântico a caminho da costa ocidental africana e de outros destinos, em busca de mercadorias para comercializar noutras partes do mundo. Estes marinheiros, faziam escala em Cabo Verde, particularmente na cidade da Praia, para se abastecerem de comida e água. A presença de marinheiros no porto da Praia Grande em busca de água e alimentos para continuar as suas viagens reforçou a atividade comercial do porto da Praia Grande, trazendo pessoas de diferentes partes da ilha de Santiago e de outras ilhas de Cabo Verde para comercializar os seus produtos neste porto. Isto permitiu à cidade da Praia ter o seu primeiro assentamento urbano na boca do porto da Praia Grande, e depois, em 1526, instalar-se no planalto do Platô, num promontório a 30 metros acima do nível do mar, sobranceiro ao porto da Praia Grande. O primeiro assentamento urbano do Platô começou com a construção da primeira igreja de Nossa Senhora da Graça em 1526, na parte sul do Platô, sobranceiro ao porto da Praia Grande. Ligado a esta igreja, surgiram outras construções, especialmente dos habitantes influentes provenientes da boca do porto da Praia Grande e da moribunda cidade da Ribeira Grande e da vila de Alcatraz. Estes habitantes, procuravam um lugar seguro onde pudessem desenvolver as suas atividades comerciais (Albuquerque et al., 1991; Pires, 1999; Coelho et al., 2013).

Durante quatro séculos e meio, a cidade da Praia foi confrontada simultaneamente com duas frentes de crescimento urbano. Por um lado, o Planalto do Platô, o seu principal centro urbano, pertencente à elite desta cidade, com um desenvolvimento urbano ordenado, mais tarde planeado e orientado pelo Estado, por outro, os bairros periféricos do Platô, com um desenvolvimento urbano espontâneo e desordenado, pertencentes às famílias carenciadas provenientes do interior da ilha de Santiago e de outras ilhas de Cabo Verde (Silva, 1998).

Atualmente, a situação habitacional dos bairros informais é preocupante, como mostra a Figura 1. Esses bairros são exemplos de pobreza em um país de rendimento médio, onde a desigualdade social entre as classes privilegiadas e menos privilegiadas é cada vez mais acentuada. Esta situação é incómoda para quem se preocupa com a dignidade humana e o bem-estar de todos.

É com esta preocupação e um sentimento de dever cumprido 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.

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 evoluída para funkku cabo-verdiano, como solução de habitação sustentáveis para estas camadas sociais desprivilegiadas.

Figura 1: Bairro informal de Jamaica.



Fonte: Infopress — 2023.

2. Revisão da Literatura

De modo a colmatar as lacunas habitacionais identificadas anteriormente, consideraram-se dois elementos-chave que se articulam entre si: a técnica de construção em superadobe e a natureza da habitação tradicional cabo-verdiana. Este capítulo apresenta uma revisão da literatura existente sobre estes dois temas e uma discussão sobre as especificidades e potencialidades de uma abordagem que combine os dois elementos no contexto dos bairros informais da cidade da Praia.

2.2. Sacos de Polipropileno — Superadobe

Os sacos de polipropileno (PP) surgiram nos anos 50, na sequência de uma nova tecnologia de catálise, inicialmente desenvolvida para o polietileno (PE) e aplicada ao gás propileno. Estes sacos são fabricados a partir de materiais sintéticos recicláveis com elevada capacidade de elasticidade, resistência à tração e fadiga. Estes sacos substituíram os antigos sacos de sisal, que já não eram adequados para a produção industrial, que passou a exigir cada vez mais embalagens seguras, eficientes e, sobretudo, económicas. A baixa densidade do polipropileno e as suas características de resistência mecânica, elétrica, e química, permitiram a sua utilização em vários processos de produção de produtos de embalagem, na construção e noutros domínios. No entanto, o polipropileno é relativamente frágil na presença de ácidos oxidantes e de raios ultravioleta (UV). Porém, algumas indústrias, já estão a começar a tratar os materiais de polipropileno contra os raios UV, melhorando assim as suas características físicas e mecânicas, tornando-os mais seguros, mais eficientes e mais resistentes (Soares, 2020).

Trinta anos após a sua descoberta e evolução, na década de 1980, o arquiteto iraniano Nader Khalili participou no simpósio "Bases Lunares e Atividades Espaciais do Século XXI", organizado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), juntamente com outros arquitetos e engenheiros civis, cujo objetivo era discutir e apresentar a viabilidade de construir um pequeno abrigo temporário na Lua para investigadores, sem ter que transportar materiais pesados da Terra para a Lua.

Neste âmbito, observando as vantagens e possibilidades de construção com sacos de polipropileno, propôs uma solução inovadora de construção modular com este material para a construção de um pequeno abrigo na Lua para estes investigadores de passagem temporária pelo espaço lunar (Minke, 2001).

Nesta invenção, o arquiteto Nadir Khalili reinterpretou a ideia de bunkers militares e diques temporários para apresentar um abrigo a ser construído no território lunar, utilizando a nova tecnologia de armazenamento de produtos feito de tecido sintético reciclável, preenchido com terra ou areia, denominada de superadobe, na

planta circular da arquitetura doméstica. Mais tarde, o arquiteto Khalili, preocupado com os problemas habitacionais dos sem-abrigo, dos repatriados de guerra e das vítimas de catástrofes naturais no seu país, realizou um longo estudo que lhe permitiu encontrar uma solução para este problema (Minke, 2001). Para isso, inspirou-se nos costumes e na cultura arquitetónica destas populações, bem como nas possibilidades de construção com sacos de polipropileno (superadobe), para apresentar um modelo de habitação, mais segura e digna, semelhante ao que tinha apresentado à NASA, mas numa fase mais avançada e elaborada.

Atualmente, a ideia de construção modular com sacos de terra está constantemente a ser inovada, diversificada e em várias configurações. Reinterpretada, repensada, modificada, alargada e readaptada às realidades de cada lugar (Cal earth, 2023). Em 2011, um estudo realizado na Universidade Federal Fluminense, pelo departamento de arquitetura e urbanismo sobre "Superadobe — construindo com terra" fez uma abordagem ampla e ensina como construir com superadobe (Cesar et al. 2011). Desde 2012, que um grupo de arquitetos e engenheiros experientes do escritório de arquitetura e engenharia Ecoeficientes, sediado em São Paulo, vem reunindo e divulgando informações sobre construção sustentável no Brasil. O objetivo do trabalho consiste em ajudar a expansão do uso de soluções ecoeficientes no Brasil e no mundo (Ecoeficientes, 2014).

Na obra Curso de construção de Domos em Superadobe: um ebook prático, de 2023, Amma Natureza faz uma breve apresentação de como construir um domo de superadobe de forma simples. Estes domos podem servir como espaço de dormir, espaço de descanso isolado, anexo a uma casa e muito mais.

As experiências de construção com superadobe em alguns países mostram que o estudo do arquiteto Nader Khalili sobre este tema foi importante não só para o seu povo, mas também para outros povos que enfrentam as mesmas dificuldades de habitação que o Irão, além de ter influenciado gerações de arquitetos, engenheiros e outros, empenhados na construção bioclimática. Uma construção que integra as exigências climáticas, sociais, económicas e ambientais do lugar. Um exemplo, são as experiências de construção com sacos de terra individuais, utilizados em 2007 pelo estúdio 2Design Indaba do MMA Architects, em colaboração com designers internacionais, apresentados na Conferência e Feira de Design da Cidade do Cabo, na África do Sul, para construir novas habitações de baixo custo para antigos residentes nos arredores desta cidade. Do mesmo modo, em 2017, a C-re-a.i.d. Architecture apresentou uma solução de habitação de baixo custo, utilizando sacos de terra para a comunidade Maasai no norte da Tanzânia. Para além dos sacos de terra, foram utilizadas garrafas de vidro nas janelas, permitindo a entrada da luz do sol.

Estas experiências de construção são importantes no contexto da nova solução de habitação modular e sustentável com sacos de terra para os bairros informais da cidade da Praia.

2.2. Habitação Tradicional Cabo-Verdiana

O segundo elemento estudado para fundamentar a proposta pretendida é a essência de formação arquitetónica ancorada nos valores históricos e filosóficos da habitação tradicional cabo-verdiana, da cubata africana e do funkú cabo-verdiano.

Ao contrário de outros países, Cabo Verde foi descoberto em 1460 pelos portugueses, sem qualquer presença humana. A sua condição estratégica no meio do Oceano Atlântico, a meio caminho entre a África e a América do Sul, no século XV, mostrou-se favorável aos portugueses para desenvolver o comércio triangular de escravos entre África, América e Europa. Este facto, motivou o Príncipe Infante Dom Henrique de Portugal, em 1462, a ordenar a colonização de Cabo Verde através dos capitães Donatários António de Noli e Diogo Gomes, a que se juntaram pessoas do Norte e do Sul de Portugal. Estes povos fundaram as duas capitânias na ilha de Santiago. Um, baseado na Ribeira Grande, chamado Capitania do Sul, pertencente ao Capitão-Donatário António de Noli e o outro baseado em Alcatraz, chamado Capitania do Norte, pertencente ao Capitão-Donatário Diogo Gomes (Carreira, 1972). Os colonos levaram para Cabo Verde homens e mulheres africanos, desde o Senegal até à Serra Leoa. Estes africanos eram escravos e trabalhavam nas casas e propriedades agrícolas dos seus senhores (Albuquerque et al., 1991; Silva, 1998, p. 189–201).

Na cidade da Ribeira Grande, os colonos construíram as suas próprias casas com materiais locais. Estas casas são retangulares, simples e constituídas por um único espaço. Ainda hoje podem ser encontradas dispersas por várias localidades, nomeadamente na comunidade de Rebelados de Espinho Branco, no concelho da Calheta de São Miguel Arcanjo.

A comunidade dos Rebelados foi formada na década de 1940 em oposição ao regime político do Estado Novo e à Igreja Católica. Os Rebelados rejeitaram as regras sociais e a Igreja Católica para estabelecerem as suas próprias regras numa comunidade isolada. Durante o Estado Novo e após a independência de Cabo Verde, sob o regime do PAIGC, os Rebelados foram perseguidos, presos, castigados e alguns dos seus líderes foram mesmo deportados para outras ilhas de Cabo Verde, com o objetivo de enfraquecer as suas comunidades. No entanto, os Rebelados resistiram, tornando-se um povo desconfiado de intrusos nas suas comunidades. Eles construíram as suas casas com palha de cana-de-açúcar atada com corda de sisal, alicerces de pedra e pavimento de terra compactada. Trata-se de uma habitação simples, de planta retangular, com uma porta na empena virada a sul. A casa é constituída por um único espaço dividido por esteiras de bananeira ou de cariço. Estas casas podiam ser desmontadas e remontadas num local mais seguro, se necessário. Os Rebelados são os verdadeiros preservadores da cultura cabo-verdiana e as suas casas são consideradas tradicionais. Elas adaptam-se ao clima quente e seco de Cabo Verde, bem como às condições socioeconómicas e religiosas dos Rebelados.

3. Metodologia

Este capítulo resume a metodologia para desenvolver a proposta de uma habitação sustentável utilizando a terra como componente central da construção.

Durante a primeira fase, foram recolhidas informações sobre a situação habitacional do bairro da Jamaica, na cidade da Praia e não só. O bairro da Jamaica é fortemente afetado por problemas sociais, urbanos e habitacionais, o que o torna um dos bairros mais críticos da cidade da Praia. O bairro da Jamaica é, portanto, uma síntese de tudo o que se pode observar nos bairros informais da cidade da Praia. Ele enquadra-se nos objetivos específicos deste trabalho e constitui o objeto de estudo deste artigo, cujo objetivo é propor um modelo de habitação modular em sacos de terra, otimizá-lo e reproduzi-lo noutros bairros informais e não só, minimizando o défice habitacional nestes bairros.

Durante a recolha de informações, foram observadas nestes bairros construções defeituosas, feitas com chapas de tambor, papelão, pedaços de madeira, lonas e sacos, entre outros. Construções inacabadas feitas de blocos de cimento, entre outras. Construções que não cumprem as condições mínimas de habitabilidade, não dignificam os seus moradores nem a cidade que os acolheu.

Na segunda fase, foi efetuado um estudo teórico e prático sobre a história, conceção e técnicas construtivas das habitações tradicionais cabo-verdianas, a cubata africana e o funku cabo-verdiano, bem como a técnica construtiva do superadobe. Simultaneamente, explorou-se o potencial destas construções e simulou-se um modelo 3D de uma habitação em Rhino 3D + grasshopper, permitindo uma avaliação qualitativa das condições de habitabilidade e durabilidade deste modelo, otimizando a sua arquitetura e a sua viabilidade construtiva.

Consideramos que este método foi importante porque nos permitiu conhecer a história da habitação cabo-verdiana, que teve o maior impacto no parque habitacional cabo-verdiano, em termos de sustentabilidade e adequação com o lugar, e que ainda hoje é tomada como referência quando se quer evocar o conceito de sustentabilidade do habitat em Cabo Verde. Permitiu também uma resposta mais inclusiva e assertiva de uma habitação sustentável para os moradores dos bairros informais da cidade da Praia e não só. Habitação que responde às exigências climáticas e ambientais do lugar e, ao mesmo tempo, reflete a realidade histórica, cultural e socioeconómica do seu morador.

4. Análise de Resultados

As casas do século XVI da Rua Banana, na Cidade Velha (Figura 2), e as casas do século XX dos Rebelados de Espinho Branco (Figura 3), tomadas como referência de estudo neste artigo, mostram características

arquitetónicas e construtivas tradicionais das habitações do sul de Portugal e da África subsariana. Assim, o estudo das experiências urbanas, arquitetónicas e construtivas destas populações é importante para a compreensão da arquitetura e dos métodos construtivos das suas habitações. Tanto as casas da Rua Banana, do século XVI, como as casas dos Rebelados de Espinho Branco, do século XX, constituem a base da arquitetura cabo-verdiana, a partir da qual se desenvolveu o parque habitacional cabo-verdiano e a sua cultura arquitetónica e construtiva. São construídas com materiais regionais, segundo um plano de construção simples e económico. Isto justifica o potencial e a linguagem arquitetónica simples destas casas e o seu método de construção.

Figura 2: Casas da rua Banana.



Fonte: IPC. <https://ipc.cv/monumento-e-sitio/rua-banana/>

Figura 3: Comunidade dos Rebelados de Espinho Branco, Calheta S. Miguel.



Fonte: Comunidade Dos Rebelados De Espinho Branco. <https://www.facebook.com/p/Comunidade-Dos-Rabelados-De-Espinho-Branco-100079631177774/>

Estas casas adaptam-se à realidade socioeconómica das famílias com poucos recursos e ao ambiente e clima dos locais onde se situam. São fáceis de construir e de restaurar

O potencial destas casas deve ser reconhecido, revisto, repensado e reutilizado num plano de habitação igualmente simples, reestruturado e adaptado às necessidades atuais e futuras das famílias, nomeadamente as mais desfavorecidas, cujas condições económicas não lhes permitem suportar o custo da construção corrente.

Como já referimos, a experiência mundial da construção em superadobe é uma nova tecnologia de construção modular com recurso a sacos de terra que surgiu nos anos 80 e que veio revolucionar particularmente a cultura arquitetónica dos mais desfavorecidos, bem como de todos aqueles que aspiram a viver em harmonia com a natureza.

O superadobe, tal como outras técnicas de construção em terra, tem sofrido profundas alterações, impulsionadas pelas alterações climáticas das últimas décadas causadas, nomeadamente, pela emissão de gases com efeito de estufa na atmosfera, pelo aumento da população mundial, em particular nos países em desenvolvimento e nas grandes cidades, pela elevada densidade populacional e pela sobre-exploração dos recursos. Tudo isto conduziu a alterações climáticas locais e globais, acompanhadas de frequentes catástrofes naturais, guerras, lutas pelo poder e pelos poucos recursos existentes, secas severas que devastam comunidades inteiras e deslocam milhões de pessoas do campo para as cidades e grandes centros urbanos. Historicamente, o povo cabo-verdiano, perante estas situações, tem o hábito de se deslocar do interior da ilha de Santiago e das

ilhas de Cabo Verde para a cidade da Praia e outros grandes centros urbanos do país que oferecem melhores condições de vida, nomeadamente de trabalho.

Do mesmo modo, as modificações e reinvenções arquitetónicas de pequenos abrigos temporários feitos em superadobe, realizadas por Nadir Khalili como abrigo para refugiados de guerra e de catástrofes no seu país, permitiram às cidades afetadas por estes fenómenos refletir sobre as necessidades de alojamento das suas populações deslocadas e, assim, responder de forma mais segura e concertada a estas dificuldades.

É importante sublinhar que o domo do arquiteto Nadir Khalili segue um conjunto de princípios geométricos e conceitos simples que permitem a sua construção de forma segura e eficiente, o que incentiva a sua construção.

Estudos recentes e experiências de construção, mostraram que a conceção do domo é mais adequada para a construção em superadobe. No entanto, existem outras configurações de construção com esta técnica, no entanto a conceção em domo é a mais utilizada e a mais económica. A sua estrutura é suficientemente sólida e consistente para suportar o seu peso de construção e suportar as forças solicitadas. Ela utiliza um único elemento composto de sacos de terra aderidos com arame farpado, para formar estrutura, ou seja, alvenaria de superadobe. Com está estrutura é possível formar um habitat seguro, num curto espaço de tempo, sem recorrer a estruturas especiais para garantir a sua estabilidade. Desde que seja respeitada a sua técnica de construção. A construção em superadobe permite criar uma variedade de módulos que podem ser utilizados de acordo com as necessidades da família.

Segundo Kaki et al. (2004), os cuidados a serem tomados na produção da alvenaria de superadobe estão relacionados principalmente com a escolha correta do solo e a ausência de matéria orgânica (Figura 4). O solo deve ter no mínimo 70% de areia e o teor de argila deve variar entre 5% e 30%, sem prejuízo de proporções maiores, juntamente com pedregulhos de diâmetro não superior a 2,5 cm. Nesta composição, a argila ajuda a preencher os espaços vazios e a cimentar a estrutura do superadobe, conferindo-lhe maior estabilidade e resistência. É também importante proteger os sacos dos raios ultravioleta, que podem danificar os sacos se estiverem expostos ao sol durante muito tempo. Estes sacos devem ser protegidos, de preferência, com uma camada de reboco e pintado.

É importante salientar que a construção em superadobe, à semelhança de outras técnicas construtivas com terra, deve ter cuidados na instalação da rede elétrica, água e esgotos, de modo a antecipar situações de avaria ou mau funcionamento e a consequente recuperação destes sistemas e da parede. O mau funcionamento destas instalações pode provocar fugas ou perdas de água no interior da estrutura, contribuindo para a sua desagregação, enfraquecimento e mesmo colapso. Por isso, é aconselhável que sejam instalados no exterior da parede e fixados a um suporte mural.

Se forem instalados no interior da parede, deve estar devidamente protegido e consciente dos riscos envolvidos. Sempre que possível, é preferível instalá-los no chão e fixá-los a um suporte mural. É também muito aconselhável que instale uma rede de polipropileno, fixada à parede, que permitirá uma boa aderência do reboco e evitará fissuras (Kaki et al., 2004).

Figura 4: Construção em superadobe do arquiteto Nadir Kalili.



Fonte: 2 — Cal-Earth Inc./Geltaftan Foundation. © 1999–2023.



A simulação do modelo 3D Rhino 3D + Grasshopper de uma habitação efetuada neste trabalho forneceu informações e respostas importantes para uma habitação sustentável e modular com sacos de terra para os bairros informais da cidade da Praia. Esta simulação utiliza os registos meteorológicos da cidade da Praia, disponíveis em <https://www.ladybug.tools/epwmap/> e válidos na plataforma Rhino 3D + Grasshopper, para simular as condições climáticas, condições de conforto, conforto térmico e iluminação do habitat na cidade da Praia.

Nesta simulação, a Figura 5 regista a temperatura média, mínima e máxima na cidade da Praia. Regista a temperatura mais baixa na cidade da Praia de dezembro a fevereiro, com 17,90 graus Celsius. Ao longo do dia, esta temperatura dificilmente ultrapassa os 24,95 graus Celsius. No entanto, há picos ocasionais de temperatura a meio do mês, que podem atingir 32,00 graus Celsius ou mais.

De junho a novembro, a temperatura mais baixa é de 24,95 graus Celsius e a mais alta é de 32,00 graus Celsius ou mais.

A temperatura média é moderada entre março e maio, com uma máxima de 24,95 graus Celsius. As temperaturas mais elevadas são registadas no verão, que começa no final de maio e se prolonga até ao final de novembro, ultrapassando por vezes os 32,00 graus Celsius.

No solstício de verão, a sul, os raios solares podem atingir uma inclinação de 85 graus, o que explica a temperatura elevada nesta altura do ano. No entanto, no solstício de inverno, a norte, os raios solares podem atingir uma inclinação de 50 graus, resultando numa temperatura amena.

Na cidade da Praia, o calor mais intenso ocorre por volta do meio-dia e é mais intenso no verão, de finais de maio a finais de novembro, provocando por vezes condições desconfortáveis na cidade da Praia. Na cidade da Praia, o ambiente exterior é mais confortável de novembro a abril, quando a temperatura é amena. Mesmo assim, ocorrem ocasionalmente picos de temperaturas muito elevadas e ondas de calor anormais por volta do meio-dia. Por vezes, prolongam-se até ao fim do dia e pela noite dentro, conforme se observa na Figura 6.

A Figura 7 mostra as condições climatéricas confortáveis e desconfortáveis na cidade da Praia ao longo do ano. As condições de desconforto ocorrem ao longo de todo o ano, sobretudo nos dias em que o sol brilha com mais intensidade. Os meses mais quentes são afetados por ondas de calor excessivo ao longo do dia, tanto de dia como de noite, nas estações normais e mais quentes, provocando a transpiração e a saturação do ar, tornando-o mais quente, seco e volátil. O ambiente torna-se abafado e desconfortável.

No período mais quente, de junho a novembro, o tempo é mais fresco de manhã, antes do nascer do sol, e ao fim do dia, quando o sol se põe.

Figura 5: Resultados de temperaturas anuais para cidade da Praia.

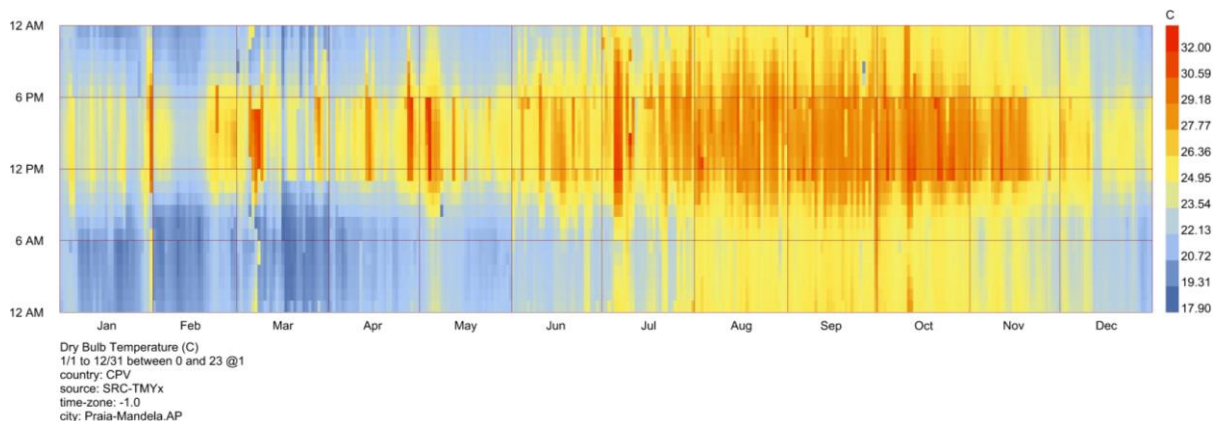




Figura 6: Resultados de condições de temperatura para cidade da Praia.

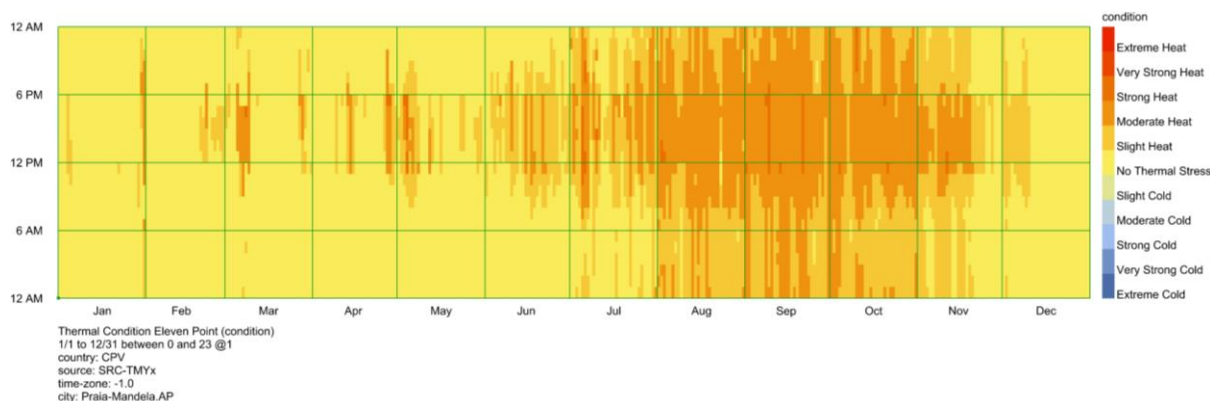
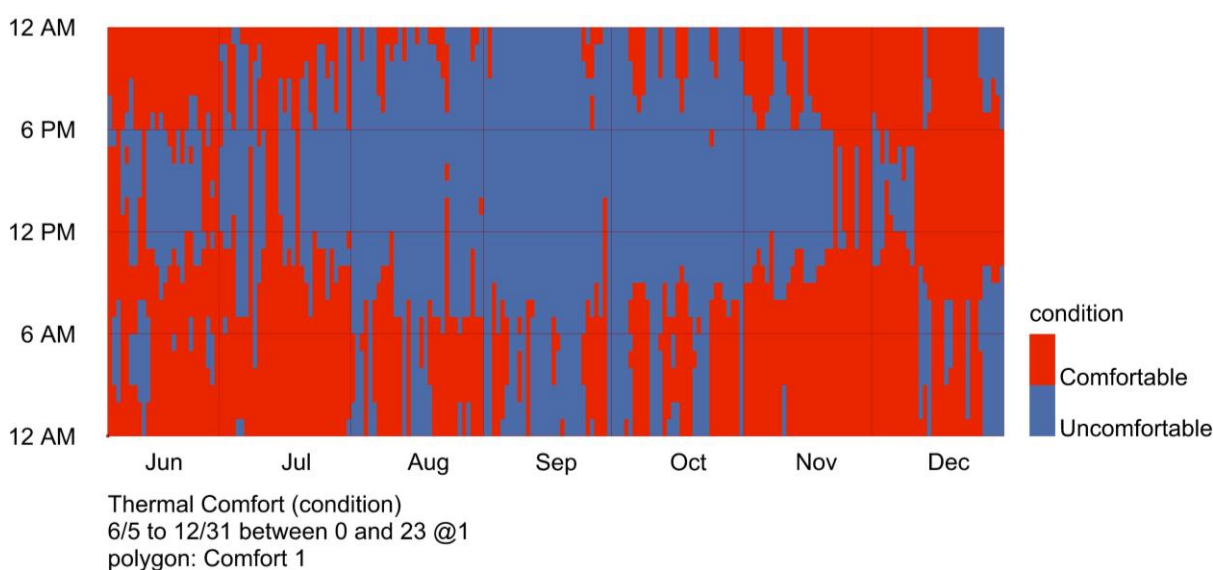


Figura 7: Resultados de condições de conforto — Conforto 1.



A Figura 8 regista o impacto direto do sol no estudo de caso. Mostra que ao meio-dia o corpo do domo tem uma temperatura de 24,50 graus Celsius, na zona de sombra à entrada do domo 25,70 graus Celsius e à volta do domo, na direção este-oeste, uma temperatura de 26,18 graus Celsius a 26,70 graus Celsius. O edifício retangular circundante tem uma temperatura mais elevada do que a do domo. Esta constatação justifica a recomendação de construir o domo e orientá-lo para sul na cidade da Praia. O sol nasce a leste e põe-se a oeste. Um edifício orientado a sul evita que os raios solares incidam diretamente no interior da casa, entrando pela porta e sobreaquecendo a casa. Em todo o caso, é importante sombrear a entrada da casa. Isto reduz o efeito do calor do exterior para o interior da casa.

O mês de agosto é o mais quente do ano na Praia. A Figura 9 mostra uma temperatura de 28,00 graus Celsius no interior do domo. Uma temperatura constante, com uma ligeira variação para 29,00 graus Celsius no final do dia. Enquanto no exterior, a temperatura atinge 32,00 graus Celsius no final do dia, ou até mais. É importante controlar o calor do verão. Este pode criar uma atmosfera desconfortável no interior da casa. No estudo de caso, é importante que a claraboia e os frescos estejam fechados durante o dia e abertos à noite.

Este método é muito utilizado em países subtropicais com climas quentes, como Cabo Verde, nomeadamente na cidade da Praia, onde a casa necessita de ar fresco para manter o interior confortável durante o dia. Este método permite ventilar a casa à noite, após um dia de sol e calor intensos, libertando o calor acumulado no interior e recuperando algum ar fresco para manter a casa fresca durante o dia.



Figura 8: Resultados de incidência direta do sol sobre o estudo de caso.

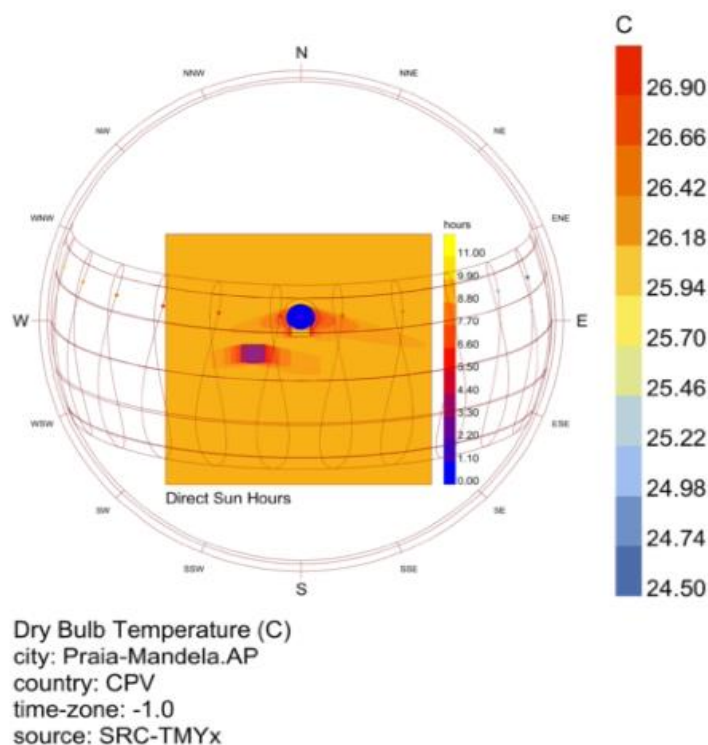
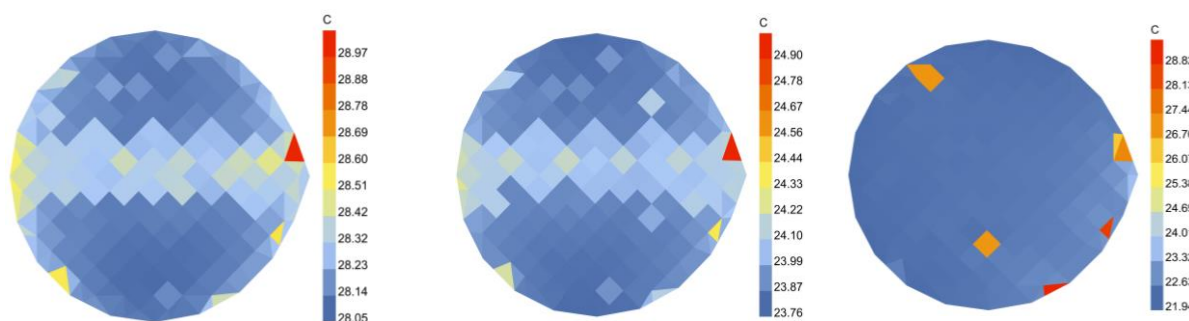


Figura 9: Resultados “Temperatura” para verão (esquerda), meia estação (centro e) inverno (direita).



A Figura 9 mostra ainda duas situações. Na primeira situação, de agosto a setembro, os frescos e a claraboia do domo estão fechados das 8h às 19h30 e na segunda situação, os frescos e a claraboia estão abertos das 19h30 às 08h.

Na primeira situação, regista-se uma temperatura máxima no interior do domo de 27,71 graus Celsius, a ocupar menos de 1% da superfície do domo. Esta temperatura é registada no lado leste, ao nível de um dos frescos aí existentes. Uma faixa dominante no centro do domo, na direção este-oeste, acompanhando o nascer e o pôr do sol, apresenta uma temperatura máxima de 27,39 graus Celsius.

Na segunda situação, regista-se uma temperatura máxima de 24,00 graus Celsius e um pouco mais.

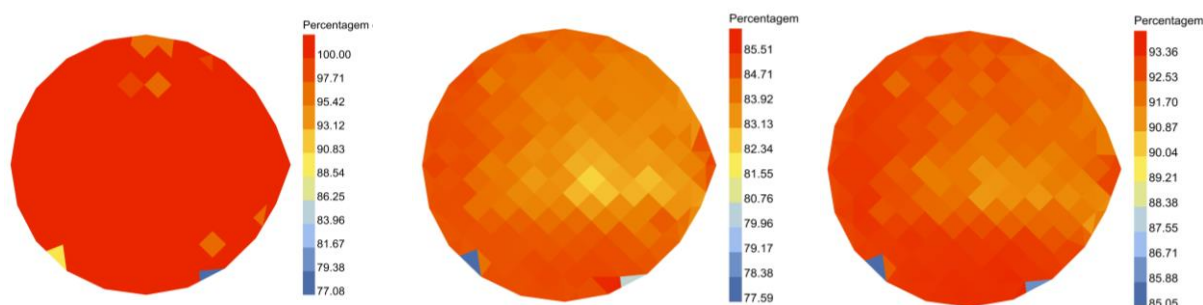
O método que consiste em manter a janela fechada durante o dia e abri-la à noite, sobretudo no verão, permite geralmente baixar ou estabilizar significativamente a temperatura da casa durante o dia. Permite equilibrar a amplitude térmica, ou seja, minimizar o efeito da diferença de temperatura entre o dia e a noite, tornando esta diferença de temperatura menos perceptível, como acontece nalguns casos em países subtropicais onde os dias são muito quentes e as noites muito frias.

A meio da estação, regista-se a temperatura mais baixa no interior do domo no dia 21 de abril com 23,76 graus Celsius e a mais alta com 24,90 graus Celsius.

No inverno, no dia 21 de janeiro, a temperatura mais baixa registada no interior do domo é de 21,00 graus Celsius e a mais alta é de 28,82 graus Celsius, enquanto no exterior a temperatura mais baixa é de 17,90 graus Celsius e a mais alta é de 24,95 graus Celsius, e a meio do mês a temperatura é de 32,00 graus Celsius e até mais alta.

Em termos de conforto térmico, a Figura 10 regista que o domo é geralmente 100% confortável no inverno. Na meia estação, regista-se uma temperatura máxima de cerca de 24,95 graus Celsius e picos esporádicos de temperatura de 32,00 graus Celsius, o domo é também 85,51% confortável. O verão, de junho a novembro, é o período mais longo e mais quente do ano na cidade da Praia.

Figura 10: Resultados do conforto interno para inverno (esquerda), meia estação (centro e) verão (direita).



A temperatura ultrapassa frequentemente os 32 graus Celsius. Apesar das temperaturas elevadas e das ondas de calor anormais, o gráfico 13 mostra que no verão este domo é 93% confortável.

Em termos de iluminação, às 9 horas da manhã do dia 21 de agosto, o gráfico 13 mostra que 35% da superfície do domo está pouco iluminada, o que significa que os níveis de conforto são mais baixos do que o normal. No entanto, por volta do meio-dia, o sol incide mais intensamente no centro do domo, criando muita luz e encandeamento no centro do domo, causando por vezes desconforto nessa zona. Como solução, recomendamos um mecanismo com um filtro escuro, abrindo manualmente através de uma pega dobrável de fácil acesso. Este mecanismo é incorporado na claraboia para controlar a entrada de luz solar, nomeadamente a esta hora do dia e à noite, se necessário.

No interior do domo, por volta das 17 horas, 74% do espaço perde gradualmente a sua luminosidade. Isto deve-se ao facto de existir apenas uma janela zenital no topo do domo, que só recebe mais luz solar à medida que o meio-dia se aproxima.

A proposta de uma única janela zenital no topo do domo foi uma resposta a uma preocupação económica, ou seja, reduzir o custo de construção do domo para que as famílias pudessem fazer o mínimo esforço possível para construir as suas casas.

Deste modo, a solução consiste em deslizar e inclinar a claraboia para oeste, o que permite a entrada de mais luz quando o sol está a oeste.

A Figura 11 mostra também que, em maio, por volta das 9 horas, 51% da área do domo está bem iluminada. Ao meio-dia, 52% da área do domo não é muito confortável.

Do mesmo modo, na estação mais quente, devido à iluminação excessiva no centro do domo, esta zona é demasiado iluminada, criando um certo desconforto. No entanto, no seu canto é mais confortável em termos de iluminação, conforme se observa na Figura 12.

Nos dias frios de inverno, como no dia 21 de janeiro às 9 horas da manhã, o Gráfico 15 mostra que o domo está bem iluminado, ou seja, apenas 39% da área do domo está menos iluminada. Por volta do meio-dia, 52% da área do domo está muito bem iluminada, com o epicentro do desconforto num canto, mais a norte do domo. Às 17 horas, o domo tem 74% da sua área menos iluminada, o que cria um certo desconforto. No entanto, esta questão foi comentada acima e propõe-se que a claraboia seja inclinada para oeste, conforme se observa na Figura 13.

Figura 11: Resultados para “Iluminância — verão”.

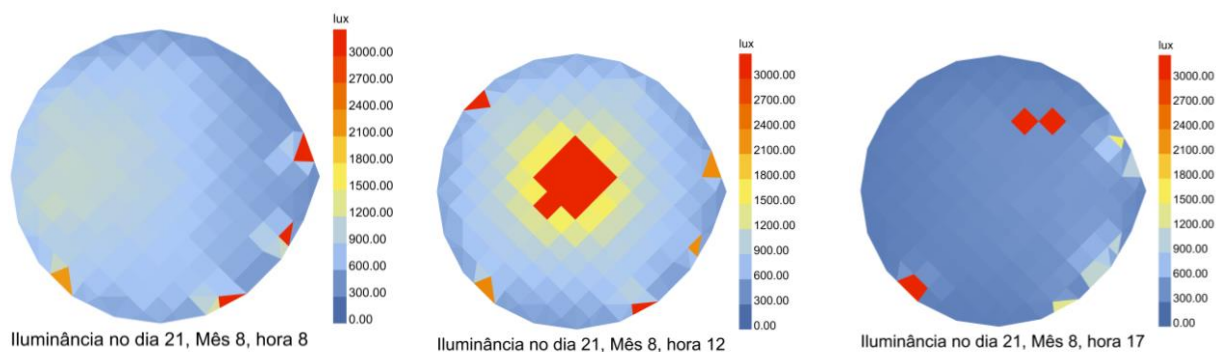


Figura 12: Resultados para “Iluminância — meia estação”.

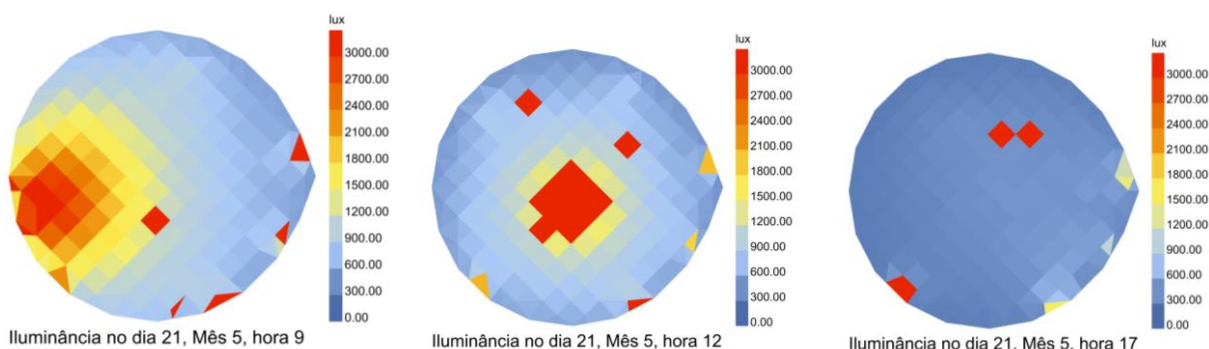
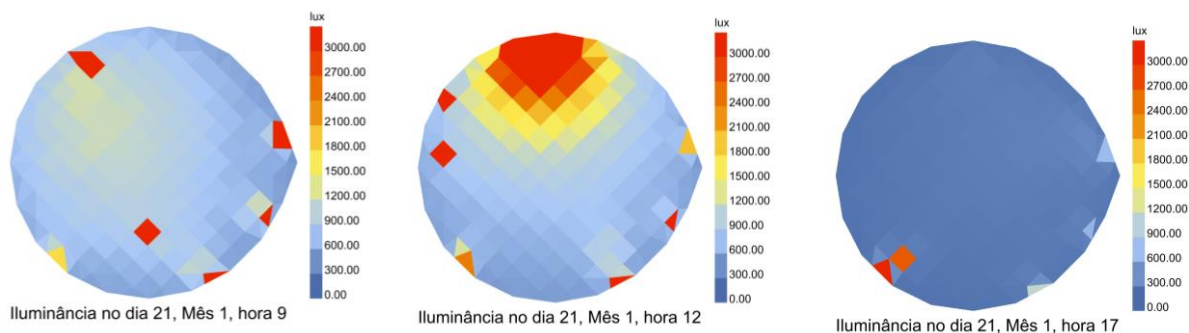


Figura 13: Resultados para “Iluminância — inverno”.



Os resultados desta simulação demonstram que a solução proposta supera largamente as más condições de habitabilidade e sustentabilidade das construções atuais nos bairros informais, e validam as boas condições de sustentabilidade e habitabilidade da habitação modular com sacos de terra recomendada neste artigo para os moradores dos bairros informais da cidade da Praia e não só.

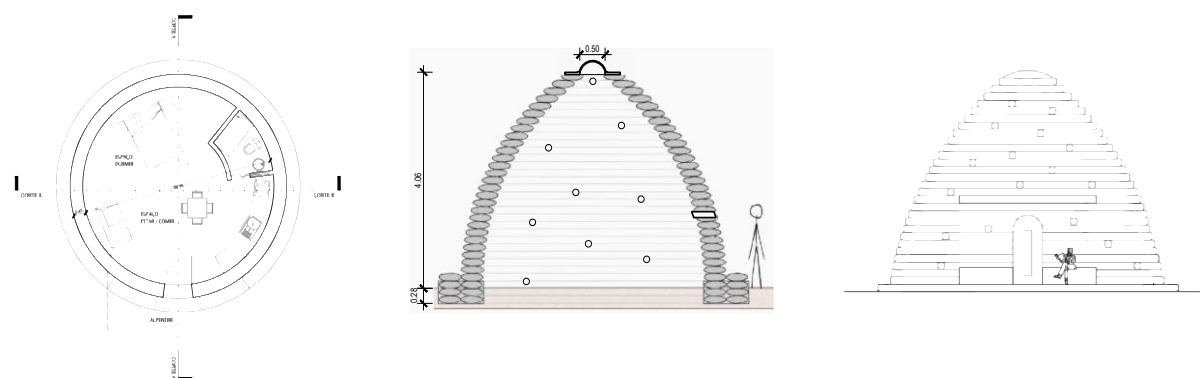
5. Discussão

As metodologias de investigação adotadas neste artigo permitiram dar resposta a uma habitação modular em saco de terra, na conceção de um domo otimizado, integrando as condições climáticas, ambientais e económicas dos bairros informais da cidade da Praia. Este domo permite que parte da temperatura armazenada no seu interior irradie para o exterior durante a noite, que é mais fria do que o seu interior. A ventilação e a iluminação passiva através de dispositivos espalhados pelo seu corpo e uma claraboia no topo proporcionam um ambiente bem iluminado e arejado. Isto contrasta com as habitações atuais dos bairros informais, que não satisfazem as condições mínimas de habitabilidade e de conforto. A habitação modular em sacos de terra e a sua arquitetura fazem parte do modo de vida rural, social e económico das famílias dos bairros informais da Praia. Recorde-se que a maioria das famílias residentes nos bairros informais da cidade da Praia são oriundas de zonas rurais do interior da ilha de Santiago e de outras ilhas cabo-verdianas, o que justifica a recomendação de habitação modular em sacos de terra apresentada neste trabalho.

O projeto de habitação modular em sacos de terra é de fácil construção. É fechado num vértice no topo, pelo que não há necessidade de uma cobertura separada. A própria parede é a cobertura do domo, o que o torna mais económico do que a habitação convencional.

Esta habitação modular de sacos de terra é constituída por um único espaço onde a família descansa, come e faz a sua higiene pessoal. Organiza-se a partir de um alpendre na entrada com acesso ao interior do domo (Figura 14). Evoca a ideia de minimalismo do arquiteto alemão Ludwig Mies van der Rohe (1886 - 1969), desenvolvida desde o início do século XX, utilizando poucos elementos fundamentais como base para a expressão arquitetónica “menos é mais”. Com este discurso, o arquiteto Ludwig Mies van der Rohe criou espaços únicos que albergam subespaços abertos, fechados ou semiabertos. São espaços mínimos adaptados às necessidades dos seus utilizadores.

Figura 14: Proposta de solução de habitação sustentável, com terra, para os Bairros informais da cidade da Praia.



Tem uma única entrada, tal como as casas tradicionais cabo-verdianas analisadas neste artigo. O alpendre é parte integrante da composição arquitetónica da cúpula. É um espaço exterior coberto que se abre para o exterior, onde a família pode estar para uma pequena conversa, ler ou descansar. A cúpula possui várias pequenas aberturas circulares protegidas por grelhas que impedem a entrada de insetos, especialmente mosquitos. Estas aberturas permitem a iluminação e a ventilação passivas da cúpula. A janela zenital assegura igualmente a saída do ar quente do interior da cúpula para o exterior e permite a entrada de luz e ar fresco.

Outra situação que se verifica é que a desregulação no domínio habitacional, com a proliferação destes bairros informais, motiva a que as autoridades os mandem demolir, de modo a garantir a dignidade humana desses moradores e da cidade que os acolheu. No entanto, o que se verifica, é que são oferecidas soluções habitacionais que nem sempre correspondem aos hábitos e realidades socioeconómicas destas populações. Acreditamos que este desfasamento decorre da falta ou insuficiência de estudos que sustentem as propostas de habitação social para estes moradores.

Por outras palavras, quando a necessidade é urgente, qualquer solução é considerada válida. E essas soluções são apresentadas e quase sempre implementadas à pressa, sem espaço para verificação, pelo menos na fase de acompanhamento da obra, o que dificulta a deteção e correção de falhas, quer a obra tenha sido concluída ou não. O acompanhamento permite corrigir os erros e tirar lições práticas para evitar erros futuros. Devido à falta de acompanhamento e de controlo, a situação agrava-se. Os fundos públicos são gastos, mal aplicados e mal utilizados. Isto torna o problema cada vez mais grave e difícil de resolver, o que é agravado pela falta de clareza dos critérios de distribuição destas habitações, criando rivalidades, tensões sociais e políticas.

É preciso conhecer para poder agir com clareza. Acreditamos, portanto, que a proposta de construção modular com sacos de terra apresentada neste artigo responde às necessidades dos moradores dos bairros informais da Praia e não só. Não apenas pelas potencialidades económicas e sustentáveis, como anteriormente referido, mas porque a nossa proposta habitacional reflete um enquadramento histórico e filosófico que lhe permite integrar-se nas realidades socioeconómicas e culturais das populações, sem os desvincular das suas histórias.

Ou seja, sem lhes impor uma realidade ou modo de vida que não lhes corresponde, impondo-lhes uma falsa realidade que desconsidera a sua cultura arquitetônica, hábitos e costumes. "Culturalizando-os" de forma enganadora e dando-lhes falsas ilusões sobre uma nova vida. Com isto não queremos dizer que os novos hábitos, nomeadamente em relação à habitação, não sejam bem-vindos, mas devemos lembrar que a cultura cabo-verdiana se formou através da introdução e mistura de diferentes culturas e costumes.

Hoje, Cabo Verde tem uma identidade cultural própria que merece ser preservada. Isso distingue-o de outros povos e faz dele uma nação reconhecida em todo o mundo.

Vivemos num mundo globalizado onde há cada vez mais interação cultural e uma troca de informação cada vez mais intensa e fácil. Somos a favor da inovação e da criatividade, mas estas inovações, não devem colidir com os hábitos e costumes de um povo, ou seja, devem coexistir e coabitar passivamente. Neste sentido, pensamos que a nossa proposta de habitação sustentável, com terra, para os moradores dos bairros informais da Praia é uma inovação, um manifesto cultural e construtivo inovador que integra os hábitos, os costumes e a realidade socioeconómica, cultural e ambiental dos bairros informais da Praia e de Cabo Verde em geral. Coabitam de forma passiva. Esta proposta tem em consideração o mundo rural, as atividades económicas, a vida familiar e comunitária dos moradores dos bairros informais da Praia.

6. Conclusão

Os resultados do estudo apresentado neste artigo proporcionam um conhecimento amplo e sólido sobre o habitat tradicional cabo-verdiano, o seu conceito, a cubata africana e o funku cabo-verdiano, o processo de construção tradicional e as técnicas de construção em terra, incluindo o superadobe. Estes resultados consubstanciam uma resposta de projeto que permite resolver ou minimizar em grande parte os problemas habitacionais dos moradores dos bairros informais da cidade da Praia, de forma segura e sustentável, utilizando a terra como solução construtiva. Um material abundante, disponível e acessível a todos.

Este método abriu novas possibilidades de estudo, despertando o interesse por uma investigação mais aprofundada sobre o uso e costume do habitat cabo-verdiano tradicional e contemporâneo, a sua arquitetura e urbanismo. Destacamos o estudo destes elementos para geografias como o sul de Portugal e da África subsaariana, que foram as que mais influenciaram o urbanismo e arquitetura em Cabo Verde, assim como o estudo sobre técnicas de construção com terra, do sul de Portugal e da África subsaariana, que mais influenciaram o urbanismo e a arquitetura em Cabo Verde. Estes elementos são importantes para enriquecer a cultura urbanística, arquitetônica e construtiva de Cabo Verde. Permite reduzir a exploração de materiais marinhos inertes como a areia e o cascalho e o uso excessivo de cimento e seus derivados na construção. Do mesmo modo, a nossa investigação permite reforçar a cultura urbana e arquitetônica de Cabo Verde, em termos de sustentabilidade do habitat, já que através da inovação e introdução de novas construções com terra na paisagem urbana, permite reduzir o peso da mancha cinzenta de edifícios inacabados, marcada pelo uso excessivo de cimento e seus derivados na construção.

Em termos gerais, este artigo forneceu resultados de investigação que nos permitiram apresentar uma solução que combina a nova tecnologia modular de sacos de terra com técnicas de construção tradicionais. Esta solução permite não só resolver os problemas habitacionais das classes sociais mais desfavorecidas, nomeadamente as que vivem nos bairros informais da cidade da Praia, mas também diversificar as práticas de construção em Cabo Verde, inovar em termos de arquitetura e aumentar a sustentabilidade da habitação cabo-verdiana, de uma forma segura e acessível a todos.

O método de investigação utilizado neste trabalho revelou-se adequado e válido, com resultados que dão uma resposta justa, clara e concisa à situação habitacional dos moradores dos bairros informais da cidade da Praia, a curto prazo e acessível a todos.

Estamos todos convencidos de que a habitação modular com sacos de terra permitirá a muitas famílias que vivem em bairros informais ter uma habitação adequada onde todos possam viver e crescer com dignidade.



Referências

- Albuquerque, L., & Santos, M. E. (1991). *História geral de Cabo Verde* (Vol. 1). Instituto Nacional de Investigação Cultural de Cabo Verde.
- Calearth. (2023). California Institute of Earth Architecture. <http://www.calearth.org/> (Acessado a 13 de janeiro de 2023).
- Carreira, A. (1972). *Cabo Verde: Formação e extinção de uma sociedade escravocrata (1460-1878)*. Imprensa Portuguesa.
- Cesar, P., Gouveia, D., Villela, F., Damásio, L., & Remiro, R. (2011). Superadobe: Construindo com o terreno. Universidade Federal Fluminense, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. <https://mbecovilas.files.wordpress.com/2011/06/superadobe.pdf> (Acessado a 25 de fevereiro de 2024).
- Coelho, C. D. (Coord.). (2013). *Cadernos de morfologia urbana. Estudos da cidade portuguesa: Os elementos urbanos* (Vol. 1). Argumentum.
- Ecoeficientes. (2014). Escritório de arquitetura especializado em sustentabilidade. <https://www.ecoeficientes.com.br/escritorio-de-arquitetura-sustentavel-ecoeficientes/> (Acessado a 25 de fevereiro de 2024).
- Maciel, M. J. (2007). Introdução. In *Vitrúvio: Tratado de Arquitetura* (pp. 29–49). Martins
- Minke, G. (2001). *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*. Gate Basin, GTZ GmbH.
- Pires, F. J. M. dos R. (1999). *Da cidade da Ribeira Grande à cidade Velha em Cabo Verde: Análise histórico-formal do espaço urbano (séc. XV–séc. XVIII)* [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Ciência do Trabalho e da Empresa, Instituto Universitário de Lisboa]. Ciência-IUL.
- Silva, A. L. C. (1998). Praia: A lenta emergência de uma capital. *Revista Kultura*, 1(2), 189–201.
- Soares, E. A. (2020). Polipropileno (PP). *ArandaNet*. <https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/604-Polipropileno-PP.html> (Acessado a 18 de dezembro, 2023).
- UN DESA. (2014). *World urbanization prospects: The 2014 revision* (ST/ESA/SER.A/366). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- UN DESA. (2017). *World population prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables* (ESA/P/WP/248). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

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 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

Implementation of asset management in the water supply and sewage system of Barra de Pojuca at Embasa — Empresa Baiana de Águas e Saneamento

[10.29073/rae.v3i1.915](#)

Recebido: 2 de junho de 2024.

Aprovado: 29 de janeiro de 2025.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a 1: Rinaldo Camurugy, Empresa Baiana de Águas e Saneamento, Brasil, rkamurugy@gmail.com.

Autor/a 2: Alisson Brandão, Empresa Baiana de Águas e Saneamento, Brasil, alissonmeireles@gmail.com.

Resumo

Um sistema de gestão de ativos eficaz é crucial para maximizar o valor dos recursos da organização, garantir conformidade regulatória, reduzir custos operacionais e melhorar a eficiência operacional da empresa. Conforme definido na NBR ISO 55000, o Sistema de gestão de ativos (AMS) compreende todo o “sistema de gestão para a gestão de ativos cuja função é estabelecer a política de gestão de ativos e os objetivos da gestão de ativos”.

Após a elaboração do planejamento e modelagem de estão de ativos, a Embasa implantou a metodologia no sistema piloto localizado nos municípios de Camaçari, Bahia (BA) e Mata de São João, Bahia (BA), compreendendo os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Barra de Pojuca.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar como foi a implantação da metodologia desenvolvida na Embasa. Durante essa implantação, foram desenvolvidos relatórios mensais de acompanhamento que indicaram as ações em execução e medidas corretivas realizadas, foi elaborado um Plano de Reposição e Reabilitação de Ativos, assim como um Plano de Operação e Manutenção, além do desenvolvimento da matriz de risco dos ativos da região.

Palavras-Chave: Embasa; Gestão de Ativos; PDCA; Sistema de Gestão de Ativos.

Abstract

An effective Asset Management system is crucial to maximize the value of the organization's resources, ensuring regulatory compliance, reducing operational costs and improving the company's operational efficiency. As defined in NBR ISO 55000, the Asset Management System (AMS) comprises the entire “management system for asset management whose function is to establish the asset management policy and the objectives of asset management”.

After preparing the asset management planning and modeling, Embasa implemented the methodology in the pilot system located in the municipalities of Camaçari — BA and Mata de São João — BA, comprising the water supply and sewage systems of Barra de Pojuca.

This work aims to demonstrate how the methodology developed at Embasa was implemented. During this implementation, monthly monitoring reports were developed that indicated the actions being carried out and corrective measures carried out, an Asset Replacement and Rehabilitation Plan was drawn up, as well as an Operation and Maintenance Plan, in addition to the development of the asset risk matrix of the region.

Keywords: Asset Management System; Asset Management; Embasa; PDCA.

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/IICA/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), conforme definido na NBR ISO 55000, compreende todo o “sistema de gestão para a gestão de ativos cuja função é estabelecer a política de gestão de ativos 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.

O sistema de gestão permite indicar quais as ações nos ativos que agregam maior valor econômico para as empresas, melhoram a qualidade do serviço e aumentam a confiabilidade dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES), além de agregar valor para todos os segmentos, pois para os clientes é a forma de obter um serviços de saneamento de qualidade por um preço justo, para os órgãos reguladores é a garantia que a empresa está investindo corretamente e sem desperdícios na melhoria de seu desempenho e para os acionistas é a certeza que seus ativos são operados e mantidos de forma consistente com o objetivo de gerar a mais alta taxa de retorno de seus investimentos.

A gestão de ativos possui uma série de normas, ISO 5500X, que trata do assunto. Nelas são abordadas a visão geral, os princípios e a terminologia da série (ISO 55000), os requisitos dos sistemas de gestão (ISO 55001) e as diretrizes para a aplicação da 55001 (ISO 55002). A Embasa pautou o desenvolvimento da metodologia de gestão de ativos em cima desta série de Normas, que ainda é desconhecida por boa parte das operadoras de saneamento no Brasil.

Toda a metodologia desenvolvida dentro da Embasa teve como base as referências preconizadas no guia PMBOK, Project Management Body of Knowledge do PMI — Project Management Institute, uma das principais referências mundiais na área de gerenciamento de projetos, e na metodologia da Embasa (BPM — Business Process Management), associadas à experiência e tecnologia acumuladas pela ARCADIS na execução de serviços similares ao objeto do presente estudo, consubstanciadas em um robusto Sistema Integrado de Gestão.

Após o desenvolvimento da metodologia com a elaboração do SAMP — Plano Estratégico de Gestão de Ativos, a definição do Portfólio e Hierarquia de Ativos e da Arquitetura de Software necessária para a gestão de ativos, foi realizado um POC — Proof of Concept no sistema piloto localizado nos municípios de Camaçari — BA e Mata de São João — BA, compreendendo os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Barra de Pojuca. Esta implantação tinha dois principais objetivos:

- Realizar o teste de conceito da metodologia proposta, validando e corrigindo possíveis inconsistências metodológicas encontradas.
- Capacitar os colaboradores da Embasa a compreender e replicar a metodologia proposta.

Para alcançar esses objetivos, a implantação do sistema de gestão de ativos foi feita através do método de capacitação em serviço, utilizando uma abordagem PDCA, Plan–Do–Check–Act, ou também Plan–Do–Check - Adjust, que significam Planejar-Fazer-Verificar-Agir, ou Planejar-Fazer-Verificar-Ajustar, para corrigir ou aperfeiçoar a metodologia.

Revisão da Literatura

Gestão de Ativos

A gestão de ativos é um componente crítico para a eficácia operacional e a sustentabilidade financeira das organizações. Trata-se de um conjunto de práticas e processos que visam monitorar, manter e otimizar os ativos ao longo de seu ciclo de vida. A implementação de um sistema de gestão de ativos eficaz permite a identificação de ativos subutilizados, a previsão de necessidades de manutenção e a minimização de custos operacionais. Segundo Hastings (2015), "os sistemas de gestão de ativos são projetados para ajudar as organizações a gerenciar seus ativos físicos de forma mais eficaz, garantindo que eles sejam utilizados de maneira ótima".

A integração de sistemas de gestão de ativos com tecnologias de informação modernas proporciona uma abordagem holística e analítica, melhorando significativamente a tomada de decisões. Esses sistemas combinados permitem a coleta de dados em tempo real, oferecendo uma visibilidade completa do desempenho dos ativos e possibilitando a manutenção preditiva. David G. Carmichael destaca que "a integração de sistemas de gestão de ativos com sistemas de informação proporciona uma abordagem holística para a administração de recursos, permitindo uma coordenação eficiente e a eliminação de silos de informação" (Carmichael, 2006). Dessa forma, a gestão de ativos não só maximiza a eficiência e a longevidade dos ativos, mas também contribui para a competitividade e a resiliência das organizações.

Gestão da Qualidade

Quando falamos de Qualidade no Processo isso não significa perfeição, De acordo com Jenkins apud PALADINI, 1990, "a qualidade é o grau de ajuste de um produto à demanda que pretende satisfazer. O produto que a empresa pretende vender, portanto, terá boa qualidade à medida que, da forma mais ampla possível, puder satisfazer a ambas as partes".

Visando uma melhor qualificação da metodologia desenvolvida a implantação dessa metodologia foi realizada através do método de capacitação em serviço, utilizando uma abordagem PDCA, Plan–Do–Check–Act (Planejar–Fazer–Checar–Agir). "O Ciclo Plan, Do, Check, Action (PDCA) é uma ferramenta de controle de processo que pode ser utilizado tanto para a manutenção do nível de controle quanto para o melhoramento deste" (CAMPOS, 1992).

- **Planejar:** o planejamento deve estar alinhado com a missão, visão e valores da empresa. Ele é fundamental para a futura execução do projeto.
- **Fazer:** Esta é a fase de execução e é realizada em 3 etapas: a Capacitação de quem realizará o projeto, a execução em si e a coleta de dados para avaliação.
- **Checar:** Onde é analisado tudo o que foi planejado e executado. Aqui é possível identificar falhas no processo que não foram vistas nas fases anteriores. Se os resultados não forem satisfatórios, é recomendado que se retorne à etapa de planejamento.
- **Agir e corrigir:** como será a divulgação dos resultados e como serão aplicadas ações corretivas aos problemas encontrados.

Gestão da Manutenção

A gestão da manutenção é um componente essencial da gestão de ativos, focando na preservação e otimização do desempenho dos ativos físicos ao longo de seu ciclo de vida. A integração de estratégias de manutenção eficazes dentro de um sistema de gestão de ativos é fundamental para garantir a operação contínua e eficiente dos equipamentos e infraestruturas. A manutenção bem gerida não apenas previne falhas e prolonga a vida útil dos ativos, mas também contribui para a redução de custos operacionais e a melhoria da segurança.

Uma abordagem estratégica da gestão da manutenção envolve a implementação de práticas como manutenção preventiva, preditiva e baseada em condições. Essas práticas são suportadas por tecnologias avançadas de monitoramento e análise de dados, que permitem a detecção precoce de problemas e a intervenção antes que ocorram falhas críticas. Segundo John D. Campbell, "Os sistemas de gestão de ativos permitem às organizações monitorar e gerenciar seus ativos de forma sistemática e eficiente. Quando esses sistemas são combinados com

tecnologias de sistemas de informação, eles fornecem dados precisos e oportunos que são essenciais para a manutenção preditiva e a alocação eficiente de recursos" (Campbell, 2006).

A sinergia entre a gestão da manutenção e a gestão de ativos é evidente na forma como ambas as áreas buscam maximizar o valor dos ativos para a organização. Enquanto a gestão de manutenção se concentra em garantir o desempenho operacional dos ativos, a gestão de ativos foca em otimizar o valor que esses ativos entregam ao negócio ao longo de seu ciclo de vida. Através da integração de sistemas de informação, é possível coletar e analisar grandes volumes de dados sobre o desempenho e o estado dos ativos, permitindo uma gestão mais informada e proativa. A utilização de ferramentas como sistemas de gerenciamento de manutenção computadorizados (CMMS) e sistemas de gerenciamento de ativos empresariais (EAM) facilita a coordenação entre diferentes equipes e processos, promovendo uma abordagem unificada e eficiente para a gestão dos ativos. Dessa forma, a gestão da manutenção, quando bem alinhada com a gestão de ativos, não só melhora a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos, mas também contribui para a sustentabilidade e o sucesso a longo prazo das organizações.

Gestão Operacional

A gestão operacional no setor de saneamento desempenha um papel crucial na eficiência e sustentabilidade dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto. Esta gestão envolve a coordenação de diversas atividades e processos que garantem o fornecimento contínuo de água, o tratamento de efluentes de forma ininterrupta, a qualidade da água fornecida e dos serviços essenciais à saúde pública e ao meio ambiente. Quando ligada à gestão de ativos, a gestão operacional no saneamento se beneficia de uma abordagem sistemática para monitorar, manter e otimizar os ativos críticos, como tubulações, bombas, estações de tratamento e redes de distribuição, diminuindo as paradas não programadas dos sistemas.

A integração de sistemas de gestão de ativos com a gestão operacional permite uma visão holística dos recursos, facilitando a tomada de decisões baseada em dados precisos e em tempo real. Essa integração é fundamental para antecipar problemas e planejar intervenções de manutenção de forma eficiente, evitando interrupções no serviço e reduzindo custos operacionais. Segundo Hastings, "Os sistemas de gestão de ativos são projetados para ajudar as organizações a gerenciar seus ativos físicos de forma mais eficaz, garantindo que eles sejam utilizados de maneira ótima" (Hastings, 2015). Esta eficiência operacional é particularmente importante no setor de saneamento, onde a continuidade e a qualidade dos serviços são vitais.

A aplicação de práticas avançadas de gestão de ativos, como a manutenção preditiva e baseada em condições, ou a análise de criticidade ou de valor do ativo, permite às empresas de saneamento otimizar o desempenho do serviço, dos seus sistemas e prolongar a vida útil dos ativos. O uso de tecnologias de monitoramento e análise de dados melhora significativamente a capacidade de identificar falhas potenciais e agir preventivamente, reduzindo o risco de falhas críticas e interrupções no serviço. Além disso, a gestão operacional integrada com a gestão de ativos promove a sustentabilidade, ao garantir que os recursos sejam utilizados de forma eficiente e que os investimentos em infraestrutura sejam planejados com base em uma compreensão clara do estado e das necessidades dos ativos e do serviço.

A sinergia entre a gestão operacional e a gestão de ativos no setor de saneamento, portanto, resulta em uma operação mais eficiente, segura e sustentável. As organizações podem, dessa forma, garantir um fornecimento de água e serviços de esgoto confiáveis e de alta qualidade, contribuindo para a saúde pública e a proteção ambiental a longo prazo.

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), a hierarquia de ativos do AMS e a arquitetura de software necessária para o 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, Painéis Elétricos, ...).

Uma POC — Proof of Concept também fazia parte do contrato para desenvolvimento da metodologia de gestão de ativos. Essa é uma metodologia usada para testar a eficácia de uma teoria antes de colocá-la em prática. Muito utilizada na área de Tecnologia da Informação para testar Softwares antes de lançá-los no mercado, segundo Gustavo Gomes (2025) “este é um conceito que pode ser expandido para validar qualquer produto, serviço ou metodologia desenvolvida para uso interno ou de mercado. Essa metodologia pode ser aplicada em diversos setores e negócios de variados portes, desde startups até grandes organizações. Na verdade, muitas startups empregam esse método, utilizando-o como uma importante etapa do lançamento da marca e das respectivas soluções. Ao identificar uma dor ou necessidade não atendida pelo mercado, ela desenvolve um produto ou serviço e, antes de divulgá-lo, realiza testes para entender sua utilidade e demanda”. Uma POC serve, portanto, para agregar valor e confiabilidade à solução desenvolvida.

A POC previa: visitas em campo para realizar as avaliações dos ativos; reuniões contínuas para aperfeiçoamento da metodologia tanto com a equipe que participou do desenvolvimento como com as equipes de operação e manutenção dos sistemas de água e esgotamento; implantação da estrutura de software necessária para a análise dos dados; relatórios mensais de acompanhamento que indicaram as ações em execução e medidas corretivas realizadas; e elaboração final de um manual de implantação da gestão de ativos operacionais.

Após essas definições foi realizada uma POC no sistema piloto localizado nos municípios de Camaçari — BA e Mata de São João — BA, compreendendo os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Barra de Pojuca. Esta operação assistida foi realizada entre Abril/2022 e Setembro/2022 e foi realizada em 4 frentes (Figura 1).

Figura 1: Cronograma de execução da POC.

	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22
Frente 1 - Instalação e integração dos sistemas para utilização do RRPS	Orange	Orange	Orange	Orange	Light Blue	Light Blue
Frente 2 - Execução das avaliações da falha dos ativos principais de Barra do Pojuca	Light Blue	Orange	Orange	Orange	Light Blue	Light Blue
Frente 3 - Utilização dos dados para análise dos ativos	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Orange	Orange
Frente 4 - Ampliação da base de ativos	Light Blue	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange

Frente 1 — Ajustes dos Sistemas Computacionais para Implantação do AMS na Área Piloto

A primeira frente da operação assistida consistia em ajustar os sistemas computacionais já implantados na Embasa e instalar aqueles que ainda não estão introduzidos no ambiente da Embasa para permitir a implantação do AMS na área piloto., visando viabilizar a coleta de dados e a posterior análise das informações para a tomada de decisão. As etapas realizadas nessa frente foram:

- Elaboração dos formulários de avaliação do Fulcrum, software mobile utilizado na avaliação dos ativos.
- Desenvolvimento do módulo de ativos do Controle Operacional de Água e Esgoto (COPAE), software de desenvolvimento interno da empresa que foi definido como o repositório de dados para as avaliações dos ativos.



- Instalação do Sistema RRPS no ambiente da Embasa, este foi o aplicativo responsável pelas análises avançadas como a criação do plano de reabilitação e reposição de ativos e o Planejamento de Investimento de Capital.
- Integração do RRPS com o módulo de ativos do COPAE.
- Integração do RRPS com o Geoweb.

Frente 2 — Análise e Execução da Metodologia de Avaliação dos Ativos

A Frente 2 da operação assistida consistia em analisar e executar os formulários de avaliação dos ativos desenvolvidos no Fulcrum, as análises realizadas foram:

- **Análise Cadastral:** Análise e validação do formulário que continha os dados cadastrais dos ativos.
- **Avaliação Física de Desempenho e Consequência da Falha:** Realizada em escritório no primeiro momento, foi realizada a análise e validação dos parâmetros do formulário de avaliação física, de desempenho e de consequência da falha dos ativos.

Esta frente foi executada através de uma metodologia PDCA. Ou seja, essas atividades foram separadas em grupos e, para cada grupo, foram feitas reuniões de apresentação da metodologia, seguida por uma avaliação em campo da metodologia apresentada. Após essa avaliação, uma nova reunião de feedback deve ser realizada, indicando melhorias na metodologia apresentada. Após esse feedback, a atividade foi realizada novamente para todos os ativos contemplados durante a fase 4.

A avaliação física foi executada em campo, sempre acompanhada de uma pessoa de operação e uma de manutenção do sistema. A visita a campo neste caso é imprescindível pois é preciso ver a condição física do ativo para que ele possa ser avaliado.

Já as avaliações de desempenho e de consequência da falha foram atividades realizadas em escritório. Foi executada pelo corpo gerencial envolvido com os ativos a serem avaliados, assim como por responsáveis pela Operação e Manutenção desses mesmos ativos.

- A Avaliação de Desempenho é a etapa da metodologia que visa avaliar a performance dos ativos pertencentes ao Portfólio AMS da Embasa.
- A Avaliação de Consequência da Falha visa avaliar o impacto — sob aspectos econômico, social e ambiental — no caso de uma eventual falha dos ativos do Portfólio AMS da Embasa, além de agregar a verificação da redundância instalada desses ativos no sistema piloto.

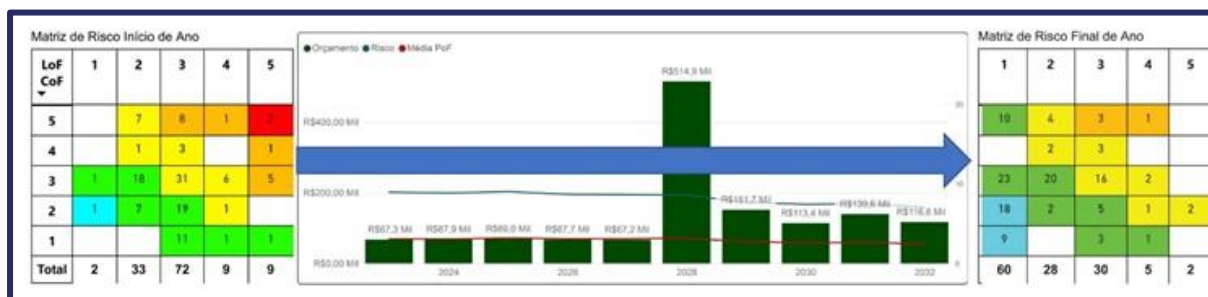
Frente 3 — Análise da Metodologia de Priorização de Ações e Operacionalização

A Frente 3 da operação assistida consistiu na análise e execução das atividades de estudo e elaboração dos relatórios de reposição e reabilitação dos ativos e o plano de otimização de O&M — Operação e Manutenção. Esta frente também será feita através de uma metodologia Plan (Planejar), Do (Executar), Check (Verificar) e Act (Agir) - PDCA, ajustando os pontos de melhoria diagnosticados durante o processo.

Durante esta frente foi realizado o treinamento para utilização do RRPS, aplicativo que faria as simulações necessárias para a elaboração do Planejamento de Investimento de Capital de acordo com o Plano de Reposição e Reabilitação dos Ativos e também a instalação de um aplicativo de Business Intelligence (BI) para análise dos ativos (Figura 2).



Figura 2: Projeção da Matriz de Risco após a aplicação do plano de investimento e de reposição e reabilitação de ativos.



Frente 4 — Ampliação da Base de Ativos

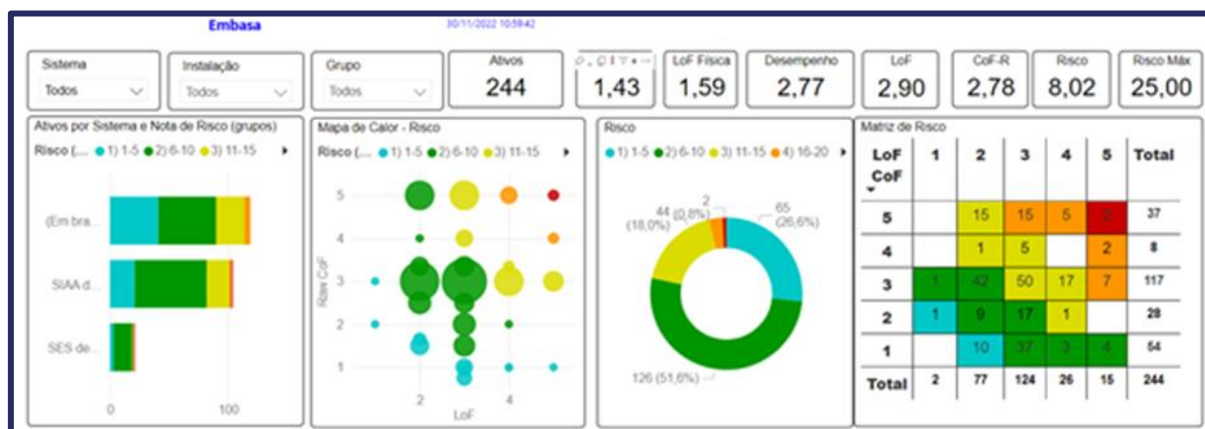
A Frente 4 da operação assistida é uma etapa paralela às demais que consistia em adicionar à área piloto outros ativos dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Barra de Pojuca ao AMS.

Os dois maiores objetivos desta frente foram: avaliar a aplicação da metodologia de gestão de ativos proposta com um grau de intervenção menor da contratada; e ampliar a base de ativos da área piloto cobrindo todo o sistema de água e esgotamento. Esta frente também foi executada através de uma metodologia PDCA, entretanto já contando com os ajustes propostos nas Frentes 2 e 3.

Aqui todas as Avaliações dos ativos foram refeitas e a base de ativos saiu de 125 para 244 ativos, além da realização das análises dos ativos horizontais que é realizada via software levando em consideração três aspectos: a idade da rede; o material da rede; e o histórico de manutenção de vazamentos da rede. A partir daí foi elaborado um plano de reposição e reabilitação para esses ativos.

Na figura 3 podemos visualizar que os ativos verticais tiveram um risco médio de 8,02, em uma escala que varia de 1 a 25, apesar deste não ser um risco muito elevado, há ativos que precisam de atenção mais imediata. Para melhor identificação dos ativos o *dashboard* de análise foi decomposto em alguns gráficos (Ativos por sistema e nota de risco, Mapa de Calor do risco, Risco (%) e Matriz de risco) onde é possível identificar que dois ativos possuem risco máximo para a consequência da falha (Cof) e probabilidade da falha (Lof) por exemplo.

Figura 3: Tela da matriz de risco dos ativos verticais.



Análise dos Dados

Durante a execução da POC, foram avaliados um total de 244 ativos verticais, além de aproximadamente 1906 quilômetros de rede. Esse processo de avaliação permitiu uma análise detalhada da infraestrutura existente, possibilitando uma compreensão mais aprofundada das características e condições dos ativos e das redes envolvidas. Como resultado, foi possível elaborar os planos descritos abaixo.



Plano de Reposição e Reabilitação de Ativos

- Para os ativos verticais foi utilizado um orçamento médio anual de R\$ 143.000 por ano, o que representa 1,1% do valor total dos ativos verticais da área piloto. O percentual de 1,1 foi obtido através da referência de benchmark da AWWA (American Water Works Association), que indica que a taxa de reinvestimento anual para ativos verticais normalmente varia entre 1,1 e 5,5%. Como a condição média dos ativos verticais da área é boa (Risco médio de 8,02), definiu-se que o percentual de reinvestimento sugerido para o Plano de R&R seria o limite inferior desse intervalo verificado no benchmark. Para os 5 primeiros anos do plano de investimento, foram elaborados projetos lógicos que agrupam os ativos em função da sua localização e grupo, facilitando assim a execução das reposições e reabilitações (Figuras 4 e 5). A priorização para reposição e reabilitação dos ativos levou em consideração o risco, sendo os ativos com maior nota de risco e/ou consequência da falha priorizados.

Figura 4: Plano de reabilitação para os primeiros 10 anos do AMS.

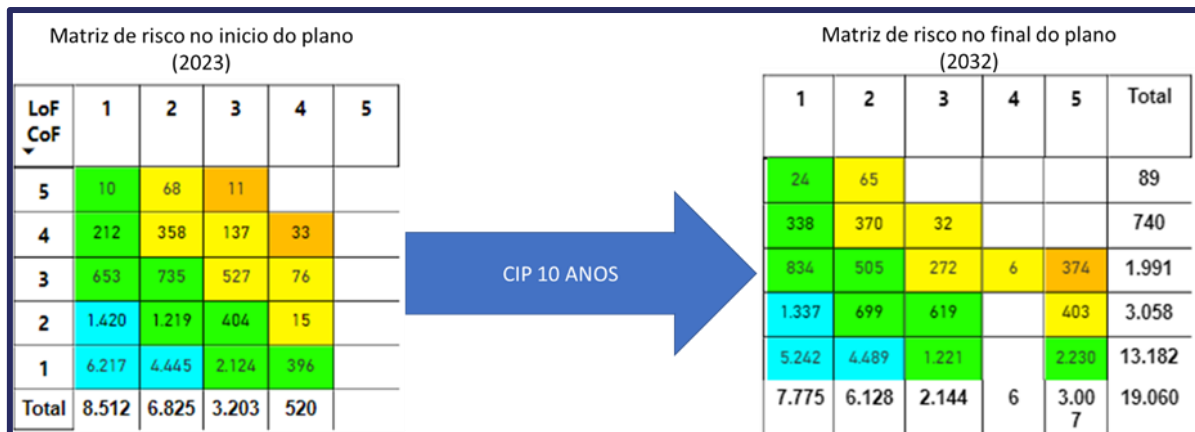
Nome do Projeto	Ano de Execução	Número de Ativos	Custo estimado (R\$)
Reabilitação da EEAT1N	2023	3	30.822,00
Reabilitação ETA	2023	5	31.707,00
Reposição do gradeamento da EEE BP	2023	1	4.777,00
Reabilitação estrutural ETA / Captação	2024	3	57.006,60
Reposição VRP	2024	1	10.865,00
Reabilitação EEAR2	2025	1	4.868,00
Reposição ETA	2025	5	36.024,00
Reposição Transformadores	2025	4	28.149,00
Reabilitação EEAT2	2026	3	31.488,50
Reabilitação EEE BP1	2026	2	10.252,00
Reposição de macromedidores	2026	2	2.650,00
Reposição Painéis	2026	3	23.257,00
Reabilitação Bombas	2027	3	16.299,00
Reposição EEE BP1	2027	3	40.261,00
Reposição ETA	2027	2	10.607,00

- Para os ativos horizontais foi utilizado um orçamento de reinvestimento médio anual de R\$ 4.400.000, o que representa 0,6% do valor total dos ativos verticais da área piloto. O percentual de 0,6 foi obtido através da referência de benchmark da AWWA (American Water Works Association), que indica que a taxa de reinvestimento anual para ativos horizontais deve ser entre 0,6 e 2,7%. Como a condição média dos ativos horizontais da área é boa, definiu-se que o investimento percentual mínimo seria adotado.



O orçamento anual médio de R\$ 4.400.000 é suficiente para impedir que os ativos horizontais apresentem alto risco ao final dos 10 anos do plano.

Figura 5: Variação das matrizes de risco no início e final do plano de investimento sugerido para ativos horizontais.

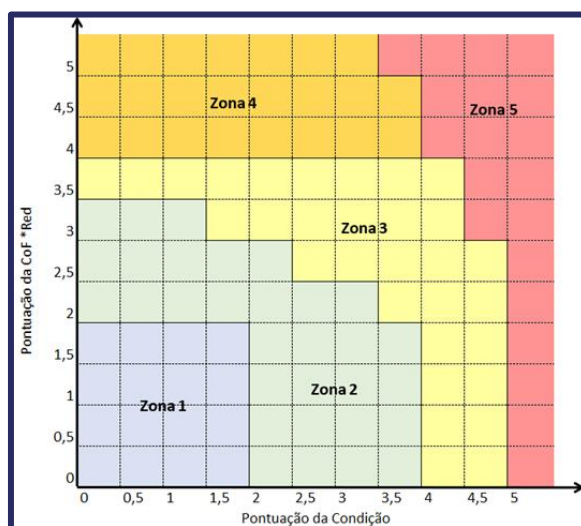


Plano de Otimização de Operação e Manutenção

O plano de otimização de O&M utiliza a matriz de risco dos ativos verticais para agrupar os ativos em zonas de ação. Foram definidas 5 zonas de ação (Figura 6):

- **Zona 5:** zona mais crítica, de alto risco e alta probabilidade de falha, indicando os ativos que são prioritários para investimento de capital (reposições e reabilitações);
- **Zona 4:** zona de alta consequência da falha, indicando a necessidade de redução dessa consequência de falha ou de monitoramento online remoto;
- **Zona 3:** zona de programas de manutenção preventiva aprimorados;
- **Zona 2:** zona de rotinas habituais de manutenção;
- **Zona 1:** zona opcional de estratégia “run to failure”, ou seja, onde os ativos de menor risco podem vir a ser operados até a falha intencionalmente.

Figura 6: Matriz de risco dos ativos e suas respectivas zonas de risco.



Para cada uma dessas zonas foram propostas ações para a melhor operação e manutenção dos ativos. Um resumo dessas ações pode ser visto na Tabela 1.



Tabela 1: Resumo de ações propostas.

Atividades classificação	Manutenção	Critérios Auxiliares	Otimização do ativo
Zona de Ação 1	Verificar possibilidade de "Run to Failure"	-	-
Zona de Ação 2	Plano comum	-	-
Zona de Ação 3	Plano comum	Corrigir critérios ≥ 4	-
Zona de Ação 4	Plano mais elaborado	Corrigir critérios ≥ 3	Verificar ações para reduzir Consequência da Falha (CoF)
Zona de Ação 5	Plano mais elaborado e individual	Corrigir critérios ≥ 3	Analisar ativo para redução de risco, fazer análise de causa raiz

Discussão

A aplicação da metodologia desenvolvida em uma POC gerou discussões e melhorias no AMS da Embasa que resultaram em:

- Ajustes de Metodologia de Avaliação, criando novos critérios de avaliação (critério de Tubulações/Válvulas para avaliar se possuem corrosões, danos ou vazamentos), alteração em parâmetros de análise (como o diâmetro da tubulação nas avaliações de CoF, escadas de acesso e sua estrutura física), entre outros.
- Melhoria no agrupamento dos ativos, como a divisão do Conjunto Motobomba em dois ativos distintos, Bombas e Motores.
- Criação de novos critérios como o critério de desempenho "Capacidade Sazonal" que visa avaliar a questão da capacidade dos sistemas frente à variação de demanda sazonal, característica da região turística do litoral norte de Salvador. A ideia é que esse critério adicional seja respondido somente para ativos inseridos em regiões que sofram com essa variação brusca em determinados períodos específicos do ano.
- Ajuste no portfólio de ativos adicionando ativos que antes não estavam previstos na metodologia inicial.
- Ajuste de Metodologia com a inclusão de um campo de "status", ao formulário móvel, ativado ou desativado, para viabilizar o mapeamento dos ativos que se encontram instalados, com possibilidade de entrar em operação, mas por questões variáveis, encontram-se desativados.

Conclusão

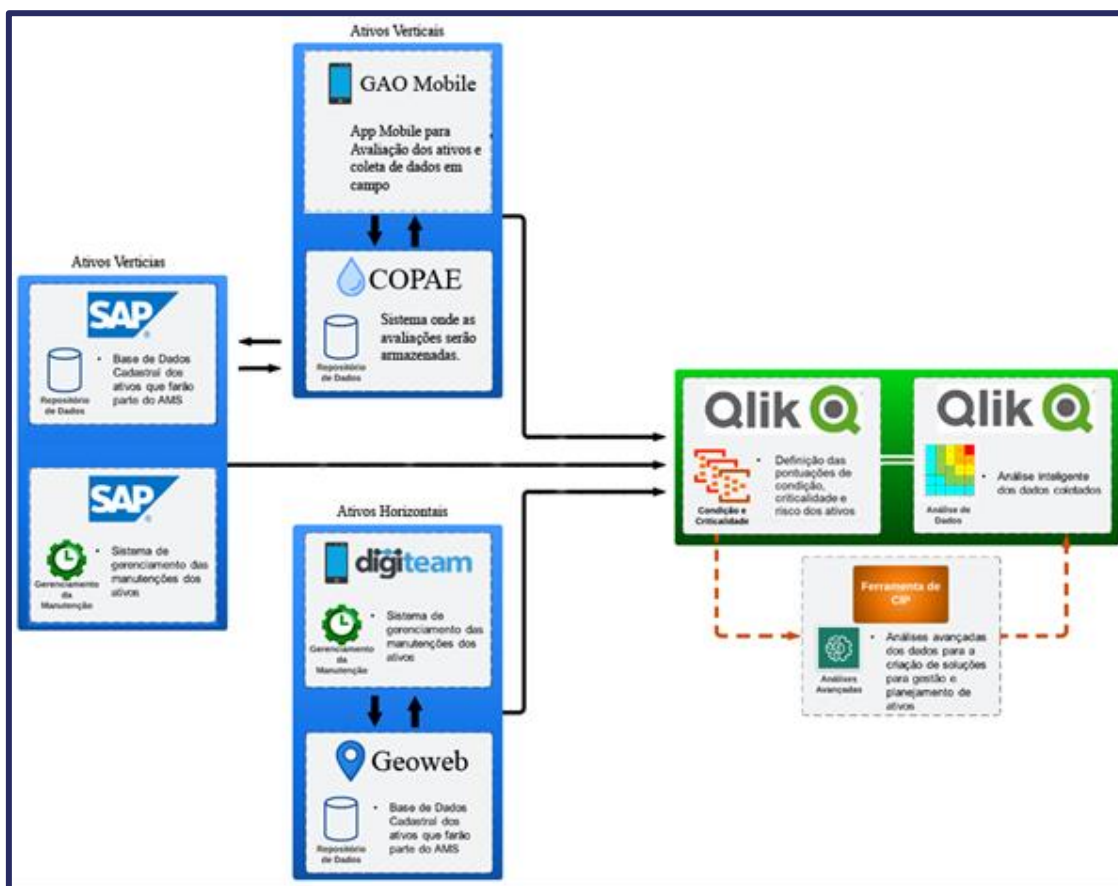
Após a aplicação da POC foram recomendadas as mudanças na metodologia citadas anteriormente. A maioria dessas mudanças foram testadas já na expansão da base de ativos, outras serão no momento da expansão do programa de gestão de ativos para toda a empresa.

Ficou definido qual será a arquitetura final dos softwares da Embasa (Figura 7), sendo que dessa arquitetura ficou a recomendação de:

- Aquisição de um software para as análises avançadas.
- Desenvolvimento de um aplicativo mobile para as avaliações em campo (já em andamento).
- Modificações e melhorias necessárias nos sistemas de informação para finalizar a integração dos sistemas (já em andamento).



Figura 7: Arquitetura atual das funcionalidades do Sistema de gestão de ativos.



A Embasa precisa ainda de avançar no cadastro georreferenciado da sua rede. Durante a execução da POC, algumas áreas não possuíam rede georreferenciada; a solução para o georreferenciamento das correções dos vazamentos em rede já foi realizada.

Como última recomendação da POC ficou a importância da manutenção da metodologia PDCA e a necessidade de um programa de capacitação em Gestão de ativos dentro da empresa, que já está em andamento.

Agradecimentos

Agradeço a todos os colegas que trabalharam e trabalham na implantação de um sistema de Gestão de ativos dentro da Embasa, em especial a Alisson Brandão pela liderança em todo esse processo.

A família e amigos pelo apoio em todos os momentos na minha vida.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste artigo.

Referências

- ABNT (1994). *NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT (2014a). *NBR ISO 55000: Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT (2014b). *NBR ISO 55001: Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT (2020). *NBR ISO 55002: Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.



ARCADIS (2022a). *Produto 4.3 — Implantação do Sistema de Gestão de Ativos — Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A.* ARCADIS.

ARCADIS (2022b). *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.* ARCADIS.

Campbell, J. D., Reyes-Picknell, J. V., & Kim, H. S. (2006). *Uptime: Strategies for excellence in maintenance management* (2.ª ed.). Productivity Press.

Campos, V. F. (1992). *Qualidade Total: Padronização de empresas*. QFCO.

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

Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (2023). *Norma de Reposição e Reabilitação de Ativos da Embasa*. Salvador: EMBASA.

Gomes, G. (n.d.). POC: Por que é importante fazer a Prova de Conceito na sua empresa? *Agendor Blog*. <https://www.agendor.com.br/blog/poc/>

Hastings, N. A. J. (2015). *Physical Asset Management: With an introduction to ISO 55000* (2.ª ed.). Cham: Springer.

Paladini, E. P. (1990). *Controle de qualidade: Uma abordagem abrangente*. Atlas.

Project Management Institute. (2017). *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK®)* (6.ª ed.). Project Management Institute.

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.

Análisis de los costes de inversión y operativos en el ciclo de vida del material rodante ferroviario: Implicaciones para los actores clave y estrategias de gestión

Analysis of investment and operational costs in the life cycle of railway rolling stock: Implications for key stakeholders and management strategies

[10.29073/rae.v3i1.917](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.917)

Recebido: 4 de junho de 2024.

Aprovado: 18 de novembro de 2024.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a: Juan Bueno, Patentes Talgo, Espanha, jmramirez@talgo.com.

Resumo (ES)

El objetivo de este estudio es explorar los desafíos y las complejidades relacionadas con los costes de inversión (CapEx) y los costes operativos (OpEx) en el ciclo de vida del material rodante ferroviario. Se centra en los cuatro actores fundamentales dentro de este ciclo, considerando sus roles duales como compradores y vendedores. El análisis también se basa en la interconexión de estos actores en relación con el Coste del Ciclo de Vida (LCC) del activo (material rodante), y cómo sus decisiones estratégicas en términos de inversión y costes operativos están influenciadas por su poder económico y financiero, así como por su experiencia y madurez tecnológica.

El estudio investiga la preferencia entre tener OpEx potencialmente más costosos en comparación con un CapEx más económico, y explora cómo esta preferencia puede estar influenciada por las metas financieras a largo plazo y la capacidad de gestionar los costes operativos a lo largo del ciclo de vida del material rodante. Además, se examinan las razones detrás de la tendencia general de reducir el CapEx y trasladar los costes a los OpEx, y se considera cómo esta estrategia puede estar relacionada con la optimización de los recursos iniciales y la flexibilidad para adaptarse a las variaciones futuras de la explotación. Se investiga también por qué a menudo se subestiman los costes operativos en las decisiones estratégicas, destacando la importancia de considerar de manera integral tanto los costes iniciales como los costes a lo largo del ciclo de vida.

El método para realizar el estudio ha consistido en dividirlo en tres fases. La primera fase del estudio ha involucrado una revisión de la literatura existente, así como una exploración de fuentes académicas, informes técnicos, normativas y publicaciones relevantes para obtener una comprensión de los avances, desafíos y tendencias en la industria. La segunda etapa se ha centrado en el análisis de casos prácticos de ofertas de material rodante. La tercera fase ha implicado la consulta a expertos en el campo del material rodante ferroviario.

Palavras-Chave: CapEx; Estrategia; LCC; Material Rodante; OpEx.

Abstract

The objective of this study is to explore the challenges and complexities related to investment costs (CapEx) and operational costs (OpEx) in the life cycle of railway rolling stock. It focuses on the four key actors within this cycle, considering their dual roles as buyers and sellers. The analysis is also based on the interconnectedness of these actors in relation to the Life Cycle Cost (LCC) of the asset (rolling stock), and how their strategic decisions in terms of investment and operational costs are influenced by their economic and financial power, as well as their technological expertise and maturity.

The study investigates the preference between having potentially more expensive OpEx compared to cheaper CapEx and explores how this preference may be influenced by long-term financial goals and the ability to manage operational costs throughout the rolling stock lifecycle. In addition, it examines the reasons behind the general trend of reducing CapEx and shifting costs to OpEx and considers how this strategy may be related to optimization



of initial resources and flexibility to adapt to future variations in operation. It also investigates why operational costs are often underestimated in strategic decisions, highlighting the importance of comprehensively considering both upfront and life-cycle costs.

The method for conducting the study has been divided into three phases. The first phase of the study involved a review of existing literature, as well as an exploration of academic sources, technical reports, regulations, and relevant publications to gain an understanding of developments, challenges, and trends in the industry. The second stage focused on the analysis of case studies of rolling stock offers. The third phase involved consultation with experts in the field of railway rolling stock.

Keywords: CapEx; LCC; OpEx; Rolling Stock; Strategy.

1. Introducción

El material rodante ferroviario es un tipo de activo móvil (Campbell, 2011), que reúne dos características principales en lo referente a los costes del ciclo de vida (LCC): su elevado coste inicial y su elevado coste de ciclo de vida restante. La fase de adquisición del material rodante es una fase preminentemente de costes de inversión (CapEx), donde para poder producirse la compra es necesario recurrir a financiación propia y principalmente ajena. Por otra parte, la fase de utilización del material rodante, llamada periodo de explotación está dividido a su vez en dos grandes bloques: la operación del material rodante, para prestar los servicios ferroviarios y, por otra parte, el mantenimiento de dicho material rodante, para conservar el activo en el estado adecuado para la circulación. Es en el bloque de operación donde se producen las únicas entradas de ingresos de todo el ciclo de vida, provenientes de los viajeros y, en el caso de los servicios públicos, tanto de los viajeros como de las administraciones contratantes de dichos servicios. En las Tablas 1 y 2 se muestran los principales costes de inversión y operativos, respectivamente (Idris et al., 2022).

Tabla 1: Costes de inversión (CapEx) típicos de un contrato de material rodante.

Tipo de coste		Desglose
Costes iniciales de adquisición	de	Precio de compra del material rodante
		Costes de personalización y modificación
		Costes de diseño e ingeniería
		Desarrollo de especificaciones técnicas y documentación
Infraestructura y equipamiento	y	Construcción o adaptación de talleres
		Instalaciones y equipos de mantenimiento
		Inventario de piezas de repuesto y utillajes
		Equipos de diagnóstico y pruebas
Inversiones en tecnología		Sistemas embarcados
		Sistemas informáticos para la gestión del mantenimiento y las operaciones
		Sistemas de monitorización de estado y mantenimiento predictivo
Gestión de proyectos y consultoría	y	Costes por gestión de proyectos
		Costes de consultoría jurídica y financiera
		Consultoría técnica y de ingeniería
Cumplimiento y certificación		Costes de certificación
Evaluaciones de seguridad		Costes asociados a la obtención de certificados de seguridad



Tabla 2: Costes operativos (OpEx) típicos en un contrato de material rodante.

Tipo de coste	Desglose
Costes de alquiler	Pagos periódicos de leasing de material rodante
	Mantenimiento incluido en los contratos de leasing
Mantenimiento y reparaciones	Actividades de mantenimiento programado
	Mantenimiento no programado e intervenciones de emergencia
	Sustitución de componentes sometidos a desgaste
Costes operativos	Formación y salarios del personal
	Costes de energía
	Consumibles
Seguros	Primas de las pólizas de seguro de accidentes, responsabilidad civil y daños
Costes de auditoría y certificación	Auditorías continuas de cumplimiento de obligaciones y de seguridad
	Actualización de certificaciones y evaluaciones de seguridad
Contratos de servicios	Acuerdos de nivel de servicio (SLA)
	Contratos de mantenimiento de pago por uso
Tecnología y servicios informáticos	Licencias y actualizaciones de software
	Soporte y servicios de TI para sistemas de gestión de la explotación
Gastos administrativos y generales	Costes de oficina relacionados con la gestión de la explotación
	Costes generales de administración

Los dos bloques, operación y mantenimiento generan a su vez importantes costes operativos (OpEx). Este trabajo se va a centrar en los costes de mantenimiento de la fase de explotación, teniendo en cuenta cómo se ha producido la adquisición del material rodante, y si en esa adquisición ha habido costes que, por su importe y naturaleza, pudiesen haberse transferido a la fase de explotación. Con esta visión, es necesario tratar todo este ciclo desde la perspectiva de un proyecto de inversión (Chain, 2011), desde el punto de vista de todos los actores involucrados, donde cada uno intentará obtener su rentabilidad en un punto determinado del ciclo de vida del material rodante.

2. Desafíos y Complejidades

El ciclo de vida del material rodante ferroviario involucra desafíos significativos en relación con los costes de inversión (CapEx) y los costes operativos (OpEx). Estos desafíos pueden variar según la etapa del ciclo de vida, desde la adquisición inicial hasta la fase de explotación. Algunos de los desafíos y complejidades más comunes incluyen:

2.1. En los Costes de Inversión (CapEx)

Como desafíos se incluyen los costes iniciales elevados en la adquisición, financiación y presupuesto para la inversión inicial, la adopción de tecnologías más avanzadas y trenes más innovadores que puedan incrementar los costes, y el ciclo de vida prolongado, que vuelve a generar costes de inversión en determinadas fases del ciclo de vida. Entre las complejidades, se encuentran las decisiones de adquisición (tecnología, capacidad, eficiencia y compatibilidad con la infraestructura existente), financiación y presupuesto para la adquisición inicial, las negociaciones con proveedores, la tecnología del material rodante en evolución constante, los estándares normativos cambiantes y la planificación a largo plazo.

2.2. En los Costes Operativos (OpEx)

Existen desafíos en mantenimiento y reparaciones, consumo de energía (normalmente en el lado del operador), gestión de los activos, cumplimiento normativo, obsolescencia de los componentes del material rodante, capacitación del personal, variabilidad de la demanda en la operación, sostenibilidad y eficiencia ambiental, además de en la gestión de riesgos operativos. Por otra parte, existen complejidades en la gestión del mantenimiento, la gestión de la cadena de suministro, la eficiencia energética, la gestión de recursos humanos,



la adaptabilidad a la demanda, el cumplimiento normativo, la gestión de riesgos operativos, la gestión de los contratos y los proveedores, la integración de tecnologías emergentes y la gestión de la obsolescencia.

3. Actores Involucrados

Fabricante: Es la empresa que construye el material rodante. La fabricación del material rodante puede centrarse en la integración de sistemas (empresa integradora) o bien, la propia integración de sistemas junto con el diseño y fabricación de sistemas, normalmente críticos (empresa de desarrollo integral).

Propietario: Es la empresa que compra el material rodante. En el rol de propietario suelen diferenciarse dos tipos de empresa: empresas propietarias de material rodante, también llamados ROSCO (ROLLing StoCk Owner), que son empresas que se dedican a adquirir el material rodante y alquilárselo a operadores y, por otra parte, grandes operadoras ferroviarias, por lo general empresas estatales de gran tamaño que pueden permitirse la adquisición de un activo de coste tan importante como es el material rodante.

Operador: Es el actor que se encarga de gestionar la operación del material rodante. El Operador es el actor principal en todo este proceso, ya que es el que crea la necesidad (transportar viajeros o mercancías por ferrocarril) que mueve al resto de actores. También se distinguen dos tipos de operador: por una parte, operadores de gran tamaño, que puede también asumir el rol de mantenedor del material rodante y que suelen ser empresas estatales o bien empresas privadas de larga trayectoria y, por otra parte, operadores de menor tamaño, que suelen ser empresas privadas con menor personal y conocimiento, que por lo general suelen encargarse exclusivamente de la operación, delegando el mantenimiento a mantenedores externos o incluso los propios fabricantes.

Mantenedor: Es el actor que se encarga del mantenimiento del material rodante. Aquí se distinguen tres tipos de empresa: operadores de gran tamaño, que además tiene conocimiento e instalaciones para realizar el mantenimiento del material rodante, fabricantes de material rodante, en su rol de mantenedor, que son los que mayor conocimiento tienen del material rodante que fabrican y que por su conocimiento y experiencia, pueden estar en disposición de mantener material rodante de terceros y finalmente, mantenedores de material rodante, que son empresas especializadas en mantenimiento ferroviario y suelen ser empresas de menor tamaño que las anteriores (Puig et al., 2013).

Existen otros dos actores que aparecen en determinadas fases del ciclo de vida: el Financiador, que aporta el capital para comprar el material rodante o las infraestructuras asociadas a la explotación (si el Propietario no dispone de él), y el Asegurador, que cubre los riesgos relacionados con la integridad de los activos y las incertidumbres en la ejecución de los contratos. En la Figura 1 se muestran esquemáticamente las relaciones entre todos los actores.

Figura 1: Relación entre los actores en un contrato de material rodante ferroviario.



4. Coste de Ciclo de Vida del Material Rodante

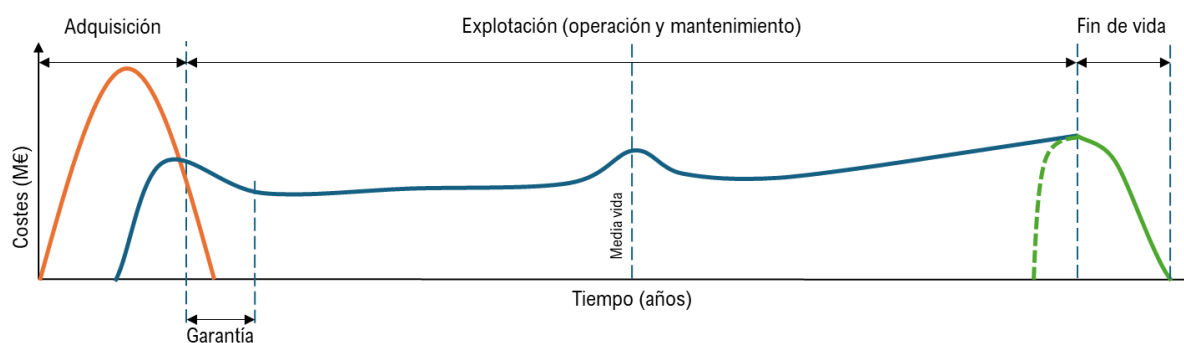
El ciclo de vida del material rodante ronda entre 30–45 años normalmente. Los costes asociados están divididos en tres fases (Campbell et al., 2011) (Márquez et al., 2012):

- Adquisición: fase de compra, diseño, fabricación y pruebas del material rodante. Suele tener una duración nominal de 3-5 años.
- Explotación: fases de operación y mantenimiento, que tienen lugar en paralelo. Tiene una duración de 25–40 años. En esta fase tienen lugar eventos generadores de coste, como costes de cánones y energía por la parte de operación, mientras que por el mantenimiento aparecen mantenimiento preventivo y correctivo, reformas y obsolescencia de componentes, además de los costes derivados de los posibles accidentes y vandalismo que el material rodante sufra. Al comienzo de la etapa de explotación se encuentra el periodo de garantía, donde el Fabricante se hace cargo del mantenimiento correctivo del material rodante.
- Fin de vida: retirada, desmantelamiento, valorización, reciclaje y eliminación de residuos.

La Figura 2 muestra una distribución típica de cada tipo de coste a lo largo del ciclo de vida.

Desde el punto de vista del propio activo (material rodante), el modelo de negocio está evolucionando desde un enfoque tradicional basado en la compraventa del producto hacia una perspectiva de negocio durante todo el ciclo de vida (McKinsey & Company, 2016). El artículo se va a centrar en las fases de adquisición y explotación, ya que son las partes que, por lo general, más coste generan en su conjunto (Johnson et al., 2016).

Figura 2: Costes característicos del ciclo de vida del material rodante ferroviario.



4.1. LCC como Criterio de Compra

Además de la calidad y prestaciones del material rodante (número de plazas, tipo de tracción, etc.), el coste es obviamente un factor importante en las decisiones de compra. El enfoque del cálculo del coste del ciclo de vida (LCC) tiene en cuenta los costes del Operador a lo largo de todo el ciclo de vida del material rodante (Raczyński, 2018). Esto incluye los costes de inversión (intereses de depreciación) y los costes de operación (energía, mantenimiento, etc.). En la práctica, no existe un concepto de LCC unificado para los vehículos ferroviarios, aunque se han hecho intentos por crear un estándar (por ejemplo, el modelo LCC de UNIFE, comúnmente utilizado en el sector), utilizando cada actor utiliza su propio modelo. Algunos modelos de cálculo del LCC incluyen los costes del personal de explotación, los costes de los tiempos de inactividad y los costes de eliminación, como ejemplos, mientras que otros no los incluyen.

El receptor principal del LCC es el Operador, que previamente lo ha tenido que recibir del Fabricante del material rodante, que es el que, en primera instancia, establece todos los costes en función del diseño del activo. El Mantenedor establece en primera instancia sus costes operativos en función también del LCC provisto por el Fabricante, mientras que el Operador puede utilizar el mismo para controlar su OpEx.

4.2. Relevancia del LCC en la Compra de Material Rodante

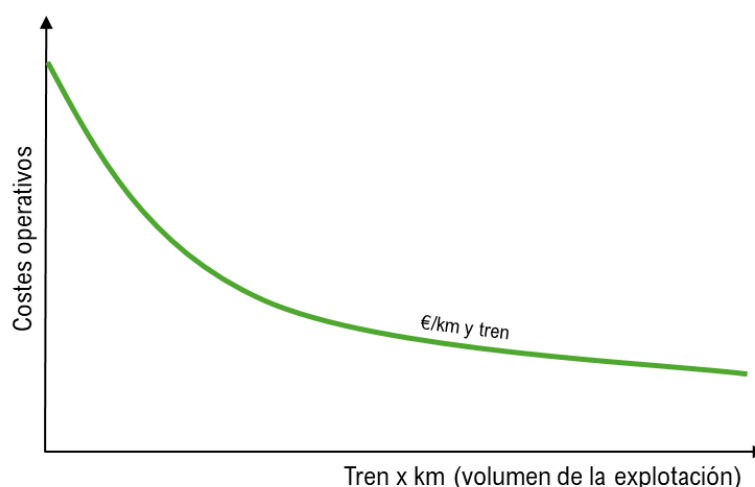
La mayoría de los contratos de compra entre Operadores y Fabricantes contienen garantías de LCC y prevén cláusulas de penalización en caso de incumplimiento. Sin embargo, en muchos casos los costes de compra, más que el LCC, son decisivos en la contratación.

Aunque teóricamente es el indicador de costes más completo, el LCC es difícil de manejar y no se puede dar de forma general y directa. La razón es su fuerte dependencia de las condiciones operativas, que varían entre Operadores y pueden no ser predecibles para el futuro (Fourie & Tendayi, 2016).

Por otra parte, la mayoría de las tecnologías incorporadas en el material rodante que mejoran la eficiencia energética, mejorarán el LCC al tiempo que aumentarán los costes de adquisición (Felix Benz et al., 2021). Desde un punto de vista más técnico, cualquier tecnología con un plazo de amortización inferior al ciclo de vida reducirá el LCC. Sin embargo, a pesar de que el LCC suele estar claramente a favor del material rodante energéticamente eficiente, las decisiones de compra suelen preferir productos menos eficientes debido a la menor inversión inicial.

El LCC, en la parte de explotación, depende mucho de la cantidad de trenes circulando y la distancia que éstos recorren (tren x km, también llamada “producción” o volumen de la explotación), por lo que no se puede establecer un porcentaje definido de antemano del reparto entre adquisición y explotación. La Figura 3 muestra de forma cualitativa cómo se produce esta variación o elasticidad al comparar costes operativos y volumen de la explotación. Esto hay que tenerlo en cuenta de forma importante para que los financiadores puedan calcular el retorno de la inversión. Por ejemplo, las explotaciones tipo “low-cost” se basan en una producción elevada del material rodante, lo que desplaza mucho la distribución de los LCC hacia el lado de la operación.

Figura 3: Elasticidad de los costes operativos en la fase de explotación, en función del volumen (tren x km).



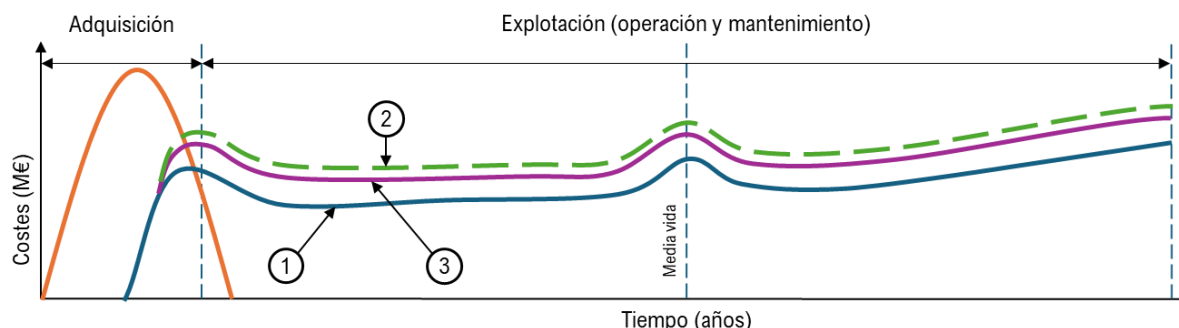
En la Figura 4 se muestra el efecto cualitativo de esta elasticidad en los costes de explotación de la flota. La curva 1 indica el coste en un momento dado de una determinada explotación. Si se aumenta la producción en un valor determinado de trenes x km, en lugar de obtener la curva 2, que correspondería a un aumento proporcional de los costes, se obtiene la curva 3, de menor coste, debido a la elasticidad de los costes operativos. Básicamente, al aumentar la producción se producen sinergias debido a la mayor dilución de los costes fijos asociados y a las economías de escala.

En función del tamaño de la flota, el precio de adquisición del tren, la vida del tren y el volumen de producción anual (tren-km/año), puede ser de más impacto en volumen económico la fase de adquisición que la de explotación o viceversa. Por ejemplo, en explotaciones de alta velocidad, donde se realizan muchos servicios al día de promedio, es frecuente encontrar repartos de alrededor de 30% adquisición-60% mantenimiento hasta 15% adquisición-75% mantenimiento, en este último caso si el tamaño de la flota es elevado. Estos valores tienden



a igualarse cuando el kilometraje diario es moderado y la flota no es muy numerosa. Además, el coste por kilómetro recorrido por cada tren en mantenimiento tiende a bajar según se aumentan los tren-km/año, debido a la dilución de los costes fijos.

Figura 4: Variación de los costes de explotación en función de la producción y la elasticidad de los costes.



1. Costes de explotación con producción de N (trenes x km)
2. Costes de explotación teóricos por un aumento de producción de N+X (trenes x km)
3. Costes de explotación reales por un aumento de producción de N+X (trenes x km)

5. Instrumentos y Mecanismos de Financiación Utilizados para la Compra de Material Rodante Ferroviario

La adquisición de material rodante ferroviario puede requerir importantes inversiones de capital, y para financiar estos proyectos, las empresas ferroviarias pueden utilizar diversos instrumentos y mecanismos de financiación (Hugh Gardner et al., 2023) (OTIF, 2007). Los más comunes se muestran en la Tabla 3.

6. Influencia de Poder Económico y Financiero de los Actores en Relación con su Experiencia y Madurez Tecnológica

No existe un método científico único y universal para determinar de manera precisa si una empresa debería optar por costes de inversión o costes operativos. La elección entre CapEx y OpEx depende de varios factores específicos de la empresa, su estrategia, su situación financiera y sus objetivos a largo plazo (Johnson et al., 2016).

6.1. Prácticas para Determinar la Relación entre el Poder Económico-Financiero de una Empresa y su Nivel de Conocimiento o Experiencia

Existen consideraciones que pueden ayudar en la toma de esas decisiones, tales como los análisis de coste-beneficio, evaluación financiera, análisis de riesgos, su estrategia empresarial, su nivel de conocimiento y experiencia, su nivel de externalización, la inversión en innovación y tecnología y la duración del ciclo de vida del activo, entre otras.

Inciendo en esto, se pueden utilizar diferentes enfoques para evaluar aspectos relacionados con el conocimiento y la experiencia en el contexto de la salud financiera de una empresa en relación con su conocimiento y experiencia. Algunas prácticas se muestran en la Tabla 4. Es importante destacar que estos enfoques no proporcionan una relación directa o cuantitativa entre el poder económico-financiero y el nivel de conocimiento o experiencia de una empresa, sin embargo, al considerar múltiples factores, se puede obtener una visión más completa de la relación entre la salud financiera y la experiencia en la gestión de una empresa.

En la parte económico-financiera, por un lado, una empresa financieramente fuerte tiene la capacidad de invertir en material rodante de más prestaciones, que puede tener costes iniciales más altos, pero a su vez, costes de mantenimiento más bajos y una vida útil más larga, lo que se traduce en menores costes operativos y por tanto, costes globales de ciclo de vida, mientras que una empresa financieramente débil puede verse obligada a adquirir material rodante de menores prestaciones (por ejemplo, material de segunda mano), con menores costes iniciales, pero mayores costes de mantenimiento y menor vida útil, lo que a su vez se traduce en mayores costes



operativos y costes de ciclo de vida (Little, 2017). Esas prestaciones del material rodante se pueden medir por la fiabilidad de los componentes, nivel de redundancias y su menor tendencia a la obsolescencia.

Por otro lado, una empresa con un flujo de caja sólido puede distribuir el coste de adquisición de material rodante a lo largo de un periodo de tiempo más largo, reduciendo el impacto en el flujo de caja a corto plazo y mejorando el coste de ciclo de vida, mientras que una empresa con un flujo de caja débil puede verse obligada a financiar la adquisición de material rodante con deuda a corto plazo, lo que se traduce en mayores costes por intereses y un mayor coste de ciclo de vida.

Tabla 3: Mecanismos de financiación para la compra de material rodante ferroviario

Mecanismo	Descripción
Financiamiento bancario tradicional	Obtener préstamos o líneas de crédito de instituciones financieras tradicionales como bancos comerciales
Arrendamiento financiero (Leasing)	La empresa no compra el material rodante, sino que lo alquila a través de un contrato financiero (con opción a compra)
Arrendamiento operativo	Similar al Leasing financiero, el arrendamiento operativo permite a la empresa utilizar el material rodante sin comprometerse a la compra al final del contrato
Acuerdos de compra a plazos	Se efectúa un pago inicial y se acuerdan pagos periódicos hasta la liquidación completa del coste del material rodante
Financiamiento a través de organismos gubernamentales	Obtener financiación a través de organismos gubernamentales que ofrecen programas de apoyo financiero para proyectos ferroviarios
Inversionistas privados	Inversionistas o fondos de inversión interesados en proyectos ferroviarios. En algunos casos, se establecen participaciones público-privadas (PPP) para compartir riesgos y beneficios
Bonos y emisiones de deuda	Emitir bonos o deuda corporativa en el mercado financiero. Las empresas pueden recaudar capital al vender bonos, comprometiéndose a devolver el dinero con intereses en un plazo determinado
Participación de proveedores y fabricantes	Negociar acuerdos de financiación con los proveedores. Algunas empresas ofrecen programas de financiamiento interno o colaboran con instituciones financieras para facilitar la adquisición de sus productos
Fondos de pensiones e inversiones institucionales	Inversiones de fondos de pensiones o instituciones financieras a través de acuerdos de inversión directa, interesados en proyectos a largo plazo con rendimientos estables
Subvenciones gubernamentales y subsidios	Subvenciones y subsidios gubernamentales destinados a proyectos ferroviarios. Estos fondos pueden cubrir parte de los costes de adquisición o mejoras tecnológicas
Crowdfunding o financiamiento colectivo	Financiación a través de plataformas de crowdfunding, donde múltiples inversores contribuyen con determinadas cantidades para respaldar el proyecto
Fondos de desarrollo multilaterales	Financiación de instituciones financieras multilaterales, como el Banco Mundial o el Banco Europeo de Inversiones, que pueden ofrecer apoyo financiero y técnico para proyectos de transporte



Tabla 4: Prácticas para determinar la relación entre el poder económico-financiero de una empresa y su nivel de conocimiento o experiencia.

Práctica	Descripción
Análisis de estados financieros	Examinar los estados financieros de la empresa, como el balance, la cuenta de resultados y el flujo de caja
Índices financieros	Utilizar índices financieros, como el índice de liquidez, el índice de endeudamiento, el retorno sobre la inversión (ROI) y otros, para evaluar diferentes aspectos del rendimiento financiero de la empresa
Análisis de la competencia	Comparar el rendimiento financiero de la empresa con el de sus competidores en la industria puede proporcionar una visión sobre su posición relativa
Historial de rendimiento	Evaluar el historial de rendimiento financiero de la empresa a lo largo del tiempo
Gestión del riesgo	Analizar cómo la empresa gestiona y mitiga los riesgos financieros
Innovación y adaptabilidad	Evaluar la capacidad de la empresa para innovar y adaptarse a cambios en el entorno empresarial
Participación en la industria y reconocimientos	Considerar la participación activa en la industria y los reconocimientos recibidos
Calificación crediticia	Comprobar la calificación crediticia de la empresa por agencias especializadas
Entrevistas y evaluación de talentos	Realizar entrevistas con directivos y profesionales clave dentro de la empresa para evaluar su conocimiento y experiencia

En lo referente al conocimiento y madurez tecnológica, determinar el nivel de conocimiento o experiencia de una empresa en una materia específica puede ser un proceso complejo que involucra la evaluación de varios aspectos. Se pueden utilizar diversas estrategias y fuentes de información para obtener una comprensión más completa del conocimiento y la experiencia de una empresa en un área específica. Algunos métodos y enfoques que podrían ser útiles pueden ser: auditorías de documentación interna, entrevistas con personal clave, experiencia en proyectos anteriores, publicaciones y artículos técnicos, reputación en la industria, colaboraciones y alianzas estratégicas previas, certificaciones y acreditaciones, evaluación del talento y capacitación, evaluación de clientes actuales y anteriores, evaluación del volumen de subcontratación en tecnologías clave, análisis de la competencia y participación en eventos y conferencias.

Empresas con elevado poder económico y financiero, combinado con alto conocimiento y madurez tecnológica tienden a centrarse en CapEx. Para las empresas al otro lado del espectro, preferirán trasladar costes a OpEx, mientras para las empresas que están en medio de las dos situaciones dependerá del proyecto en concreto.

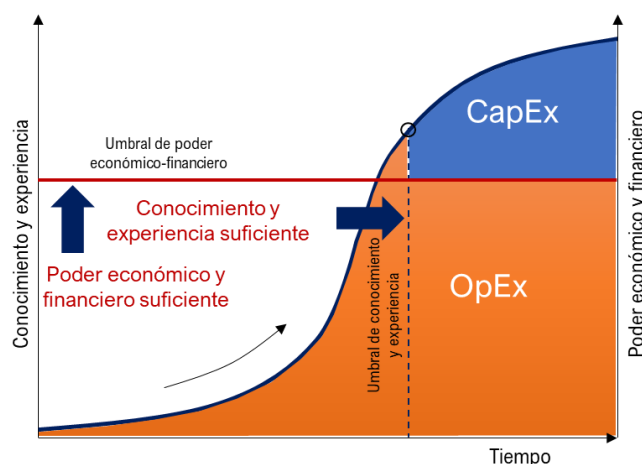
6.2. Curva de Aprendizaje

Una curva de aprendizaje representa la relación entre el rendimiento o habilidad de una persona y el tiempo o la experiencia acumulada en una tarea específica. Esta herramienta visual muestra cómo mejorar el desempeño a medida que una persona gana experiencia o práctica en una actividad particular. Esta teoría de la curva de aprendizaje se puede aplicar a las empresas (actores) involucrados en el ciclo de vida del material rodante. Aplicado al caso de un Mantenedor, se puede aplicar un modelo de aprendizaje típico como es la curva de aprendizaje de rentabilidad creciente-decreciente o “curva en S”. Este modelo es la curva de aprendizaje más citada en la bibliografía y se basa en medir a un individuo que es nuevo en una tarea (Andreev, 2022). En la Figura 5 se muestra un modelo cualitativo aplicado a Fabricantes, Operadores y Mantenedores, la parte inferior de la curva “s” indicaría un aprendizaje lento, ya que la empresa trabaja para dominar las habilidades necesarias y tarda más tiempo en hacerlo. La segunda mitad de la curva indicaría que la empresa tarda menos tiempo en completar la tarea porque ya domina las habilidades necesarias. Habitualmente, el final de la curva comienza a

nivelarse, lo que indica que los conocimientos a adquirir cada vez son menos y consecuentemente, puede dar comienzo a una fase de nuevos retos.

Por tanto, si se establece un valor umbral para el conocimiento y experiencia de la empresa, (esto mediante un punto de la curva que indique suficiente conocimiento), y otro valor umbral para el poder económico y financiero, (mediante un límite horizontal en el eje de ordenadas), la curva de aprendizaje puede indicar por tanto si una determinada empresa debería decantarse por inversiones (CapEx) o confiar en otras empresas para realizar las tareas (OpEx). Así, los límites indicados marcados en el gráfico de la Figura 5 mostrarían en el área de color azul las empresas que se decantan por invertir (CapEx) y en el área de color naranja las empresas que preferirían pagar por servicios (OpEx).

Figura 5: Curva de aprendizaje de la empresa relacionada con su conocimiento y experiencia frente a su poder económico y financiero, y si la empresa debiera decantarse por CapEx u OpEx.



7. Tendencias en la Reducción de CapEx

7.1. Razones Detrás de la Tendencia de Reducir CapEx y Transferir Costes a OpEx

La reducción del coste de inversión y el traslado de coste a costes operativos en muchas estrategias empresariales se relacionan directamente con la optimización de recursos iniciales y la búsqueda de flexibilidad para adaptarse a variaciones futuras en la operación (Fourie & Tendayi, 2016). Esto puede deberse a varias razones. Entre estas razones se encuentran principalmente una mayor flexibilidad financiera, poder evitar grandes inversiones iniciales, enfocarse en el negocio principal, adaptabilidad a la demanda fluctuante, temas relacionados con la contabilidad y beneficios fiscales, menor riesgo de obsolescencia tecnológica y un acceso a conocimientos especializados.

Por estas razones, puede que a un Operador no le interese invertir en CapEx, si finalmente se va a hacer cargo del mantenimiento durante la operación y por tanto, responsable del OpEx (rol dual de Operador y Mantenedor). Otra situación análoga se produce cuando el Mantenedor aporta activos que al final del contrato se acuerda que pasen a ser propiedad del Operador. Con esta transferencia de CapEx a OpEx, el Mantenedor financia parte del CapEx al Operador.

7.2. Viabilidad del Negocio Transfiriendo CapEx a OpEx.

En ciertos casos, el negocio de la adquisición y explotación del material rodante va a depender de la capacidad de la empresa de financiarse en la fase de adquisición. Por ello se tiende a despojar de la adquisición aquellos costes que no se consideran específicos del material rodante y que de alguna forma se pudiesen considerar ligados a la explotación. Estos costes engrosarán los costes operativos y serán más o menos diluidos en función del tamaño de la explotación, como se ha visto.

7.3. Razones Financieras para Transferir CapEx del Operador a OpEx del Mantenedor en los Contratos de Material Rodante Ferroviario

Esta transferencia puede mitigar significativamente los riesgos financieros del Operador. A continuación, se presentan las principales razones financieras que justifican esta estrategia. La previsibilidad de costes y la gestión presupuestaria son fundamentales. Al convertir CapEx en OpEx, el operador transforma grandes inversiones de capital impredecibles en costes de explotación predecibles. Además, al transferir los CapEx al Mantenedor, el Operador evita el riesgo de sobrecostes, dejando que el mantenedor asuma cualquier coste adicional imprevisto. Reducir la carga financiera inicial es otro beneficio clave. La transferencia de CapEx a OpEx disminuye la necesidad de grandes inversiones iniciales, liberando capital para que el Operador lo utilice en otras inversiones estratégicas.

La gestión del riesgo de depreciación también es esencial ya que el material rodante se deprecia con el tiempo. Al transferir la propiedad de los activos al Propietario o Financiador, el Operador evita el impacto financiero de la depreciación. Por otra parte, el Mantenedor colabora con el mantenimiento minimizando el impacto de la depreciación. De hecho, el material rodante ferroviario presenta una depreciación menor que otro tipo de activos, debido al mantenimiento continuo al que es sometido. Diversificar el riesgo financiero es otra razón importante. La transferencia de CapEx a OpEx permite al Operador distribuir los riesgos financieros asociados a grandes inversiones de capital, reduciendo la concentración de riesgo financiero en su balance. Además, compartir los riesgos de mantener el material rodante con el Mantenedor diversifica su exposición financiera.

La eficiencia operativa y el ahorro de costes son otros beneficios destacados. Los Mantenedores pueden lograr economías de escala al prestar servicio a múltiples operadores, resultando en menores costes de mantenimiento. Los Mantenedores, pueden realizar el mantenimiento de manera más eficiente, reduciendo los costes operativos generales para el Operador. Evitar la obsolescencia tecnológica es crucial. Al transferir esta responsabilidad al Mantenedor, el operador evita este coste potencial. Al transferir los CapEx al Mantenedor, se garantiza que éste asuma los costes de mantener la tecnología actualizada, mitigando así ese riesgo.

La gestión del flujo de caja se mejora significativamente. Convertir CapEx en OpEx facilita la gestión del flujo de caja del Operador, ya que los OpEx periódicos son más fáciles de manejar y prever que los grandes CapEx poco frecuentes. Esto permite al Operador asignar los recursos financieros de manera más eficaz, centrándose en las operaciones principales y en el crecimiento estratégico.

Finalmente, se logran ahorros en seguros y gestión de riesgos. Transferir las responsabilidades de propiedad al Propietario y de mantenimiento al Mantenedor puede resultar en pólizas de seguro más bajas para el Operador, al reducir el perfil de riesgo global.

7.4. Costes Potencialmente Transferibles de CapEx a OpEx

De los costes que son puramente de la parte de CapEx, son susceptibles de transferir los siguientes: Ciertos costes de la fase de diseño (elementos adicionales al material rodante, fácilmente integrables), costes de construcción y pruebas de dichos elementos, inversiones en talleres, maquinaria, utillaje específico y herramientas que se van a utilizar en la fase de explotación, almacén inicial de repuestos del material rodante e inversiones en repuestos reparables de alto coste. Todos los elementos mencionados generan a su vez costes operativos por mantenimiento, salvo los repuestos no reparables y los consumibles.

7.5. Subestimación de Costes Operativos en Decisiones Estratégicas

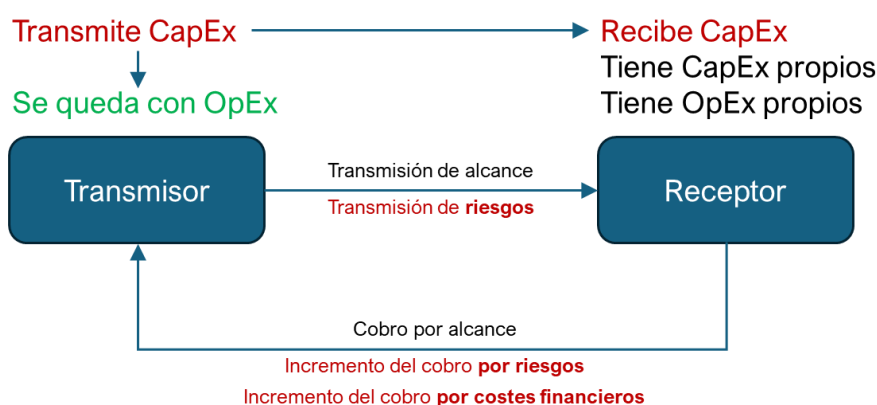
Las razones por las que los costes operativos se subestiman en ciertas ocasiones están relacionadas con la complejidad en la medición, ya que los costes operativos a menudo están distribuidos a lo largo del tiempo y pueden variar según la eficiencia operativa. También por falta de visibilidad, al pasar desapercibidos o no ser completamente transparentes, lo que dificulta su evaluación precisa en las decisiones estratégicas. Otra razón es el enfoque a corto plazo de las empresas al enfocarse en los beneficios inmediatos o a corto plazo, sin considerar completamente los costes a largo plazo asociados con la operación continua. Por otra parte, por falta

de comprensión integral de todos los costes operativos involucrados, incluyendo los costes de mantenimiento, actualización y soporte continuo.

7.6. Efecto de la Transferencia de CapEx a OpEx

La parte de costes de inversión que se transfiere a los costes operativos la asume el Operador en dichos costes (los paga a lo largo del tiempo), pero se la financia el proveedor de los servicios (el Mantenedor), que es el que en realidad asume el coste transferido. El Mantenedor corre el riesgo de no haber amortizado la inversión si el contrato o explotación termina de forma prematura. Todo este proceso se muestra en la Figura 6, donde se pone de manifiesto que la transferencia de un actor a otro de un determinado alcance del contrato en forma de inversión o activo (CapEx), implica para el Receptor la asunción de una serie de riesgos que debe ser capaz de mitigar y costes financieros adicionales por la adquisición del activo. Así, el Receptor debe asegurarse de que esos costes derivados de los riesgos y de la financiación se incluyen dentro del precio cobrado al Transmisor por el servicio prestado, a la vez de valorar debidamente que es capaz de asumir estos costes transferidos que se a su vez se sumarán a sus CapEx y OpEx propios. El Transmisor, de esta manera, habrá convertido una inversión (CapEx) en un pago por servicios (OpEx).

Figura 6: Proceso y efectos de la transferencia de CapEx a OpEx.



Por tanto, transferir costes de inversión a costes operativos es una forma de transferir riesgos y obligaciones financieras de un actor a otro.

7.7. Factores para Tener en Cuenta a la Hora de Aumentar los Precios

Cuando un Mantenedor asume riesgos y costes adicionales en un contrato de material rodante, incluyendo el CapEx transferido, tendrá que ajustar sus precios para reflejar esta nueva realidad.

Primero, es fundamental considerar la prima de riesgo. El mantenedor asume riesgos financieros asociados a la depreciación, el valor residual y los sobrecostes, por lo que debe añadirse una prima al precio del servicio. Además, el riesgo operativo, que incluye el aumento potencial de los costes de mantenimiento y reparaciones inesperadas, debe tenerse en cuenta. El coste del capital es otro factor clave. El Mantenedor debe recuperar las inversiones en instalaciones, incluyendo intereses y rendimientos, así como los costes de depreciación.

En cuanto a los costes de mantenimiento y explotación, es esencial calcular el coste de las actividades de mantenimiento ordinario y de las reparaciones imprevistas. También se deben incluir los costes asociados a la contratación, formación y retención de personal cualificado. La tecnología y las mejoras también son cruciales. Deben considerarse los costes de actualización e integración de nuevas tecnologías y el cumplimiento de normativas de seguridad, medioambientales y operativas.

Los KPIs (Key Performance Indicators, o indicadores de cumplimiento o rendimiento) de rendimiento y disponibilidad de la explotación deben ser considerados (Campbell et al., 2011) (Márquez et al., 2009). En el sector ferroviario son frecuentes los SLA (Service Level Agreement) o acuerdo de nivel de servicios, que son contratos entre un proveedor de servicios y un cliente que identifica los servicios a prestar y el nivel o calidad del

servicio esperado. Es necesario incorporar esos costes de cumplimiento de los SLA, incluyendo penalizaciones por indisponibilidad y bonificaciones por alto rendimiento. También, se debe asegurar que el precio refleje el coste de mantener una alta fiabilidad y disponibilidad del material rodante.

Finalmente, los seguros y la gestión de riesgos son esenciales. Es imprescindible incluir el coste de asegurar el material rodante y las actividades de mantenimiento, así como los costes asociados a la gestión de riesgos operativos y financieros.

7.8. Estrategias de Fijación de Precios en los Contratos

En primer lugar, es fundamental calcular el coste base, considerando el coste total de la prestación de servicios de mantenimiento, incluidos los costes operativos, de personal, tecnología y cumplimiento normativo. A este coste base se le añade un margen de beneficio razonable para garantizar la viabilidad del negocio y recompensar el riesgo asumido por el Mantenedor.

Para los contratos a precio fijo, una opción es ofrecer un precio todo incluido que cubra todas las actividades de mantenimiento y las primas de riesgo, proporcionando previsibilidad de costes al Operador. Es recomendable incluir revisiones periódicas de precios para ajustar la inflación, los cambios en los costes y las circunstancias imprevistas, manteniendo así la equidad y sostenibilidad del contrato.

Para los precios basados en los KPIs, se puede establecer un precio base con bonificaciones por superar los objetivos de fiabilidad y disponibilidad, y penalizaciones por resultados insuficientes. También es útil incluir componentes de precios variables basados en el uso real del material rodante, las métricas de rendimiento y el cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio (SLA), incentivando la mejora continua y el alto desempeño.

Otra estrategia es el leasing con paquetes de mantenimiento, combinando el alquiler del material rodante con servicios de mantenimiento en un precio único y todo incluido. El precio puede ajustarse en función de las garantías de valor residual y los calendarios de depreciación, asegurando que el valor del activo se mantenga equilibrado a lo largo del tiempo.

Finalmente, las cláusulas de actualización de costes son cruciales. Estas deben incluir ajustes por inflación u otros indicadores económicos de forma anual. También es esencial permitir ajustes que repercutan aumentos significativos de costes en materiales, mano de obra o cumplimiento de normativas, garantizando que el Mantenedor pueda mantener el servicio sin incurrir en pérdidas.

8. Mejora de OpEx a lo Largo del Ciclo de Vida

Optimizar los costes operativos a lo largo del ciclo de vida del material rodante es fundamental para mejorar la eficiencia y rentabilidad. Algunas posibilidades de mejorar los costes operativos inicialmente desfavorables en el ciclo de vida del material rodante pasan por optimizar el mantenimiento preventivo y predictivo, una gestión eficiente de activos, actualización tecnológica, negociación del contrato de mantenimiento, capacitación y desarrollo del personal, análisis de datos de la operación y aprendizaje automático, negociación de costes de suministros y repuestos, innovaciones en diseño en remodelaciones y monitorización y mejora continuos.

La implementación de prácticas de gestión de activos eficientes, la adopción de nuevas tecnologías y la capacitación continua del personal técnico son componentes esenciales para optimizar el rendimiento y reducir los costes operativos a lo largo del tiempo. Además, una integración de estas tres prácticas produce sinergias, de forma que se optimiza la eficiencia operativa y reduce los costes. Por ejemplo, una gestión eficiente de activos puede requerir el uso de tecnologías avanzadas, y el personal capacitado puede aprovechar al máximo estas herramientas.

Además, si el Mantenedor es el Fabricante, existen potenciales sinergias durante el periodo de garantía, al poder compartir recursos humanos y técnicos durante dicho periodo. Hay que tener en cuenta que el periodo de garantía puede suponer un porcentaje de tiempo apreciable dentro de la duración del contrato (entre un 13%-



20%, en función de la duración del contrato y del propio periodo de garantía, que suele durar alrededor de 2-3 años).

9. Gestión de los Riesgos

La adquisición de material rodante conlleva varios riesgos a futuro que habrá que tener en cuenta en ese momento, entre ellos la obsolescencia tecnológica prevista, las fluctuaciones del mercado (demanda y competencia), cambios normativos e inestabilidad política. La gestión de esos riesgos consiste en identificar, evaluar, mitigar y transferir los riesgos asociados a la adquisición, operación, mantenimiento y deposición de material rodante. Una gestión eficaz del riesgo garantiza la estabilidad financiera y la eficiencia operativa de los cuatro actores (Hopkin, 2017). Los principales riesgos relacionados con el ciclo de vida del material rodante se muestran en la Tabla 5, indicados a nivel general por (Gumparthi, 2010) y combinados con los 4 actores involucrados.

Tabla 5: Principales riesgos de los 4 actores a lo largo del ciclo de vida (P-Propietarios, F-Fabricantes, O-Operadores y M-Mantenedores).

Tipo	Riesgo	P	F	O	M
Técnicos	Defectos de diseño		x		
	Defectos de fabricación		x		
	Incumplimiento de las especificaciones		x		
Financieros	Sobrecostes	x	x	x	x
	Riesgos de financiación		x	x	
	Fluctuaciones monetarias	x	x	x	x
	Variaciones de los tipos de interés	x	x	x	x
Operativos	Problemas en la ejecución del mantenimiento			x	x
	Interrupciones del servicio comercial			x	x
	Ineficiencias operativas			x	x
	Accidentes y vandalismos			x	x
Legales y normativos	Cambios en la normativa	x		x	x
	Incumplimiento de normas de seguridad y medioambientales			x	x
	Disputas contractuales	x	x	x	x
De mercado	Contratos demasiado cortos	x		x	
	Fluctuaciones de la demanda			x	
	Entrada de competencia			x	
De la cadena de suministro	Cambios en condiciones del mercado (pandemias, etc.)			x	x
	Retrasos en la entrega de componentes		x		x
	Insolvencia de los proveedores		x		x
	Problemas de calidad		x		x

9.1. Mecanismos de Transferencia del Riesgo

La transferencia de riesgos en los contratos de material rodante ferroviario implica trasladar de una parte a otros diversos tipos de riesgos asociados a la adquisición, explotación, mantenimiento y enajenación de los vehículos. Estos contratos son fundamentales para garantizar una gestión eficaz de los riesgos financieros y operativos, protegiendo los intereses de todas las partes implicadas (Cooper et al., 2005). Los principales mecanismos de transferencia de los riesgos son los indicados en la Tabla 6 para la fase de adquisición del material rodante, y en la Tabla 7 para su fase de explotación.



Tabla 6: Mecanismos de transferencia de riesgos y su impacto en el CapEx y OpEx en la fase de Adquisición.

Transmisor	Receptor	Mecanismo
Propietario	Fabricante	<p><i>Contratos a precio fijo</i></p> <p>El Propietario y el Fabricante acuerdan un precio fijo por el material rodante. Transferencia del riesgo: El riesgo de sobrecostos se transfiere al Fabricante. Impacto: Fija el CapEx del Propietario al evitar la escalada de costes durante la adquisición.</p>
Operador	Propietario	<p><i>Acuerdos de leasing</i></p> <p>En lugar de comprar, el Operador alquila el material rodante a una empresa de leasing (Propietario). Transferencia del riesgo: El riesgo financiero de la propiedad, incluido el riesgo de depreciación y valor residual, se transfiere al Propietario (ROSCO). Impacto: Reduce el CapEx del Operador al eliminar la necesidad de inversión de capital inicial, convirtiéndolo en OpEx a través de pagos regulares de alquiler.</p>
Propietario	Fabricante	<p><i>Fianzas de cumplimiento y garantías</i></p> <p>Las fianzas y garantías aseguran el cumplimiento de los plazos de entrega y la calidad pactada en contrato por parte del Fabricante. Transferencia del riesgo: El Fabricante asume el riesgo de incumplimiento y defectos. Impacto: Asegura que las inversiones en CapEx del Propietario están protegidas al garantizar la calidad y el rendimiento del material rodante.</p>
Propietario	Fabricante	<p><i>Cláusulas de indemnización</i></p> <p>El Fabricante indemniza al Propietario frente a riesgos específicos, como defectos de diseño o incumplimiento de la normativas o calidad establecida en el contrato. Transferencia del riesgo: El Fabricante asume la responsabilidad financiera de determinados riesgos. Impacto: Protege el CapEx del Propietario garantizando el cumplimiento y mitigando posibles responsabilidades futuras de OpEx (del Operador y Mantenedor).</p>
Fabricante	Aseguradora	<p><i>Pólizas de seguros</i></p> <p>Los seguros cubren diversos riesgos, como daños durante el transporte, accidentes y responsabilidades de terceros. Transferencia del riesgo: Las aseguradoras asumen el riesgo financiero de los eventos asegurados por el Fabricante. Impacto: Reduce los CapEx inesperados del Fabricante al cubrir los costes de reparación o sustitución. Implica crear un OpEx para el Fabricante a través de las primas de seguro.</p>
Operador	Fabricante Mantenedor	<p><i>Compra inicial con paquetes de garantía y mantenimiento</i></p> <p>Compra de material rodante con garantía y mantenimiento incluidos en el precio. Transferencia del riesgo: Los riesgos de mantenimiento y defectos a corto plazo son asumidos por el proveedor (Fabricante y Mantenedor unidos). Impacto: Aumenta el CapEx del Operador (posteriormente transferido al Propietario) debido a mayores costes iniciales, pero reduce el OpEx al agrupar los servicios de mantenimiento con la compra del material rodante.</p>
Mantenedor	Operador	<p><i>Inversión en tecnología de mantenimiento predictivo</i></p>



		<p>Inversión inicial en sistemas avanzados de monitorización y mantenimiento predictivo.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Operador asume el riesgo de la inversión inicial en tecnología.</p> <p>Impacto: Aumenta el CapEx del Operador debido al coste de la tecnología, pero reduce el OpEx del Operador al optimizar los planes de mantenimiento y poder predecir averías.</p>
Operador	Propietario	<p><i>Desarrollo de talleres e infraestructuras</i></p> <p>Inversión en la construcción o habilitación de talleres e instalaciones de mantenimiento.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Propietario, o bien el Mantenedor, o ambos, asumen el riesgo de la construcción o adecuación de talleres e instalaciones de mantenimiento.</p> <p>Impacto: Mayor CapEx de Propietario o Mantenedor para proyectos de infraestructura, pero puede reducir el OpEx del Operador.</p>

Tabla 7: Mecanismos de transferencia de riesgos y su impacto en el CapEx y OpEx en la fase de Explotación.

Transmisor	Receptor	Mecanismo
Operador	Propietario	<p><i>Acuerdos de leasing</i></p> <p>El Operador alquila material rodante a una empresa de leasing que también presta servicios de mantenimiento (típicamente cuando hay un ROSCO en el holding del Operador).</p> <p>Transferencia del riesgo: La empresa de leasing (Propietario) asume el riesgo de propiedad, depreciación y mantenimiento.</p> <p>Impacto: Reduce el CapEx del Operador al eliminar la necesidad de inversión de capital inicial y traslada los costes a OpEx a través de pagos de alquiler y mantenimiento.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Contratos de mantenimiento (acuerdos de nivel de servicio - SLA)</i></p> <p>Contratos que especifican KPIs y responsabilidades para el mantenimiento del material rodante.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Mantenedor asume el riesgo de mantener el material rodante según lo acordado en el contrato.</p> <p>Impacto: Aumenta el CapEx del Operador si el mantenimiento se incluye en el precio de compra, pero reduce el OpEx del Operador al dar costes de mantenimiento predecibles.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Contratos de pago por uso</i></p> <p>El Operador paga al Mantenedor en función de la utilización del material rodante (por ejemplo, kilómetros recorridos).</p> <p>Transferencia del riesgo: El Operador traslada algunos riesgos operativos al Mantenedor, que debe garantizar la disponibilidad del material rodante ajustando sus costes.</p> <p>Impacto: Traslada costes del Operador de CapEx a OpEx, ya que los pagos se basan en el uso y no en cuotas de mantenimiento fijas, alineando los gastos con los ingresos.</p>
Operador	Aseguradora	<p><i>Pólizas de seguros</i></p> <p>Pólizas que cubren accidentes, vandalismos y en general, responsabilidades frente a terceros.</p>



		<p>Transferencia del riesgo: Las aseguradoras asumen el riesgo financiero de los eventos asegurados.</p> <p>Impacto: Reduce el CapEx inesperado del Operador al cubrir los costes de reparación importantes debidos a accidentes, se traslada a OpEx a través de las primas de seguro.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Garantías de rendimiento</i></p> <p>El Mantenedor garantiza ciertos niveles de rendimiento o KPIs (por ejemplo, disponibilidad y fiabilidad) y puede incurrir en penalizaciones por incumplimiento.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Mantenedor asume el riesgo de no cumplir con los KPIs.</p> <p>Impacto: Puede aumentar el CapEx inicial del Operador (inclusión de las garantías), pero puede reducir el OpEx del Operador por la mejora de la fiabilidad y la disponibilidad.</p>
Operador	Mantenedor	<p><i>Contratos donde se incorpora mantenimiento basado en la condición (CBM)</i></p> <p>El mantenimiento se realiza en función de la condición real del material rodante, en lugar de un plan de mantenimiento con intervenciones fijas.</p> <p>Transferencia del riesgo: El Mantenedor asume el riesgo de supervisar y garantizar un rendimiento óptimo del material rodante sin contar con intervenciones fijas programadas.</p> <p>Impacto: Puede aumentar el CapEx del Mantenedor si se requieren tecnologías costosas, pero reduce su OpEx al optimizar el mantenimiento y evitar inspecciones innecesarias.</p>

En los contratos a precio fijo, los altos costes inesperados a cargo del Fabricante podrían dar lugar a un mayor OpEx del Propietario (transferido al Operador) si los costes de mantenimiento derivados del incremento del coste de fabricación se incluyen en futuros contratos de mantenimiento. Por otra parte, en las fianzas de cumplimiento y garantías, el impacto también incluye posibles ahorros futuros en OpEx (del Operador y Mantenedor) debido a un menor número de defectos de garantía y problemas de mantenimiento. Asimismo, el desarrollo de talleres e infraestructuras puede reducir el OpEx del Operador centralizando y obteniendo sinergias de la relación del Mantenedor con la construcción de su propio taller de mantenimiento.

9.2. Repercusiones de Malas Decisiones de Transferencia de Riesgos en la Fase de Contratación Sobre la Fase Operativa

En los contratos de material rodante ferroviario, la transferencia eficaz del riesgo durante la fase de contratación es crucial para la gestión de riesgos financieros y técnicos en la fase operativa. Las malas decisiones en esta etapa pueden acarrear grandes cargas financieras y problemas operativos. Aplicar acuerdos de mantenimiento exhaustivos, contratos basados en el rendimiento, garantizar la compatibilidad tecnológica e incluir condiciones contractuales flexibles ayuda a mitigar estos riesgos y asegurar una transición fluida de la adquisición a la explotación, manteniendo altos niveles de servicio y rentabilidad durante todo el ciclo de vida del material rodante.

Las decisiones deficientes en la transferencia de riesgos pueden tener consecuencias significativas. Un ejemplo es optar por contratos de mantenimiento inadecuados, que no cubren reparaciones inesperadas o fallos de componentes. Esto resulta en altos costes imprevistos de mantenimiento, incrementando significativamente los gastos operativos (OpEx) y provocando ineficiencias operativas, menor fiabilidad y problemas de seguridad. Otra situación es la inclusión de garantías de rendimiento insuficientes. Sin penalizaciones estrictas por incumplimiento, los proveedores no están motivados para cumplir las normas de rendimiento, lo que conlleva mayores costes y una menor fiabilidad y disponibilidad del material rodante, afectando la calidad del servicio y la satisfacción del cliente.



La excesiva dependencia de soluciones tecnológicas sin garantizar la compatibilidad con sistemas existentes o la formación adecuada del personal, también puede llevar a problemas operativos significativos. Finalmente, los contratos a precio fijo sin flexibilidad pueden ser problemáticos. Cualquier cambio o actualización necesarios durante la fase operativa conllevan elevados costes adicionales y la incapacidad de cumplir con nuevas normas o requisitos puede resultar en incumplimientos y problemas operativos.

10. Conclusiones

En este artículo se ha señalado la tendencia a pasar costes a OpEx por razones de viabilidad del negocio futuro, ya en la fase de adquisición del material rodante y teniendo en mente a los actores involucrados: Fabricantes, Propietarios, Operadores y Mantenedores. Se pone de manifiesto que en la fase de explotación del material rodante aparecen nuevos costes operativos, costes financieros asociados a la transferencia, además del aumento de la provisión de riesgos por incertidumbre de amortización de los activos transferidos. También se ha mencionado la posibilidad de un adelanto del fin de vida del material rodante por pasar CapEx a OpEx, debido al incremento del coste operativo, en comparación con la adquisición de nuevo material rodante, en principio menos costoso de mantener.

En lo referente a los riesgos, aparecen riesgos de tipo financiero derivados de la transferencia de costes de CapEx a OpEx, al adquirir el Mantenedor activos que al final de un periodo, que suele ser el de la duración del contrato, pasarán a manos del Operador, pudiendo una finalización prematura del contrato causar un perjuicio económico. Por otra parte, se incide en la variabilidad del riesgo de transferencia de costes de CapEx a OpEx en función del volumen de la explotación ferroviaria, el riesgo es menor cuanto mayor es la producción tren-km/año, debido al valor relativo de los activos transferidos frente al mayor volumen de los costes de explotación, produciéndose una mayor dilución de los costes.

Por la parte del conocimiento, las empresas involucradas en la explotación del material rodante ferroviario deberán buscar dónde está su potencial de conocimiento propio que les permita reducir las partidas de CapEx y/o de OpEx por medio de la eliminación de intermediarios en los procesos que aporten valor al negocio. En este sentido, es importante destacar el grado de madurez de los cuatro actores para que el coste del ciclo de vida del material rodante, en sus distintas fases, sea considerado en su medida para un mejor reparto de costes y, por tanto, una mayor rentabilidad de la adquisición y explotación del material rodante. Se hace mención a las curvas de aprendizaje como elemento de evaluación del conocimiento y experiencia de los actores involucrados y de la medida del riesgo de pasar de CapEx a OpEx y viceversa.

Por último, se pone de manifiesto la importancia de considerar de manera integral tanto los costes iniciales (CapEx) como los costes a lo largo del ciclo de vida (OpEx) ya desde las primeras fases de planificación del negocio.

Referencias

Crespo Márquez, A., Parra Márquez, C., Gómez Fernández, J. F., López Campos, M., & González-Prida Díaz, V. (2012). *Asset management: The state of the art in Europe from a life cycle perspective*. Chapter 6: Life cycle cost analysis. Springer.

Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J. F., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(3), 317–326. <https://doi.org/10.1108/13552510910969439>

Arthur D. Little. (2017). *Efficiency & effectiveness in rail operations: The role of long-term capex planning and major asset renewal and replacement*. https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_ee_rail_operators_0.pdf

Fourie, C. J., & Tendayi, T. G. (2016). A decision-making framework for effective maintenance management using life cycle costs in a rolling stock environment. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(4), 142–152. <https://doi.org/10.7166/27-4-1661>



Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. (2005). *Project risk management guidelines*. John Wiley & Sons, Ltd.

Benz, F., Pahl, M., Pieper, C., Ullrich, P., & Zawadzki, A. (2021). The keys to success in rolling stock procurement. *Boston Consulting Group*. https://www.linkedin.com/posts/felixbenz_keys-to-success-in-rolling-stock-procurement-activity-6788871422853840896-LIVB/?originalSubdomain=de

Gardner, H., Brambilla, M., & Matheus, D. (2023). *Perspectives for the rolling stock supply in the EU*. Study for the European Parliament's Committee on Transport and Tourism.

Raczyński, J. (2018). Life cycle cost as a criterion in purchase of rolling stock. *MATEC Web of Conferences*, 180, 02010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818002010>

Parada Puig, J. E., Basten, R. J. I., & van Dongen, L. A. M. (2013). Investigating maintenance decisions during initial fielding of rolling stock. *Procedia CIRP*, 11, 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.032>

Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). *Asset management excellence: Optimizing equipment life-cycle decisions*. CRC Press.

McKinsey & Company. (2016). *Huge value pool shifts ahead – How rolling stock manufacturers can lay track for profitable growth*. Advanced Industries. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-rolling-stock-manufacturers-can-lay-track-for-profitable-growth/>

Mohamad Idris, M. F., Saad, N. H., Yahaya, M. I., Shuib, A., Wan Mohamed, W. M., & Mohamed Amin, A. N. (2022). Cost of rolling stock maintenance in urban railway operation: Literature review and direction. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 30(2), 1045–1071. <https://doi.org/10.47836/pjst.30.2.16>

Sapang, C. N. (2011). *Proyectos de inversión: Formulación y evaluación* (2nd ed.). Pearson.

OTIF. (2007). *Luxembourg Protocol — To the Convention on International Interests in Mobile Equipment on Matters Specific to Railway Rolling Stock*. Unidroit.

Hopkin, P. (2017). *Fundamentals of risk management: Understanding, evaluating, and implementing effective risk management* (4th ed.). Kogan Page Limited.

Gumparthi SSn, S. (2010). Risk assessment model for assessing non-banking financial companies (asset financing) customers. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 1(1), 61–64. <https://doi.org/10.7763/ijtef.2010.v1.2>

Johnson, T., Lindenau, N., & Salci, L. (2016). *Rolling stock procurements — Lessons learned*. U.S. Department of Transportation - Federal Railroad Administration.

Andreev, I. (2022). Learning curve: Theory, meaning, formula, graphs. *Valamis*. <https://www.valamis.com/hub/learning-curve>

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.

Gestão de ativos aplicada a empresas de saneamento: implantação de modelo na Empresa Baiana de Águas e Saneamento — Embasa

Asset management applied to sanitation companies: implementation of a model at the Bahia Water and Sanitation Company — Embasa

[10.29073/rae.v3i1.925](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.925)

Recebido: 18 de junho de 2024.

Aprovado: 27 de janeiro de 2025.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a 1: Alisson Brandão, Empresa Baiana de Águas e Saneamento, Brasil, alissonmeireles@gmail.com.

Autor/a 2: Rinaldo Camurugy, Empresa Baiana de Águas e Saneamento, Brasil, rinaldo.camurugy@embasa.ba.gov.br.

Resumo

A implantação da gestão de Ativos em empresas do tipo ativo intensivas, como é o caso das empresas de saneamento, que dependem do bom estado de seus ativos para desenvolver a sua atividade fim, é fundamental para garantir a máxima eficiência dos seus ativos por um tempo mais prolongado, por meio da minimização de riscos. As empresas de saneamento que não realizam uma gestão de ativos e manutenção eficientes costumam ter redução da capacidade de resposta perante os problemas de operação, perdendo o controle sobre seus bens materiais, sobre sua gestão de suprimentos, percepção de falhas nos equipamentos e dificuldade de padronizar serviços, fatores estes que contribuem para o aumento dos gastos operacionais e perda de eficiência. O ponto central é: como uma adequada gestão de ativos pode contribuir para o prolongamento da vida útil dos ativos de uma empresa de saneamento, com conseqüente redução de seus custos e a priorização adequada dos investimentos? Resultado de uma das iniciativas da Embasa para estruturar os processos de gestão de ativos e apoiar sua implementação na companhia, o estudo é resultado do Projeto de Cooperação Técnica (PCT), 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). A metodologia desenvolvida trata do processo de implantação do Sistema de Gestão de Ativos da Embasa a partir do desenvolvimento da estratégia até a otimização do valor dos ativos sob a ótica dos objetivos estratégicos estabelecidos. Nesse sentido, a Embasa se tornou uma das pioneiras empresas prestadoras de serviços de saneamento no Brasil a se mobilizar na implantação de um Sistema de Gestão de Ativos. Com esta implantação em curso, a Embasa visa atingir a excelência operacional através da integração e coordenação das diversas funções e processos de negócio, buscando eficiência, eficácia e efetividade. Além disso, esse movimento potencializa a credibilidade da instituição e o reconhecimento público, aumentando seu valor intangível.

Palavras-Chave: CAPEX; Embasa; Gestão de Ativos; OPEX; Saneamento.

Abstract

The implementation of Asset management in asset-intensive companies, such as sanitation companies, which depend on the good condition of their assets to carry out their core activities, is essential to guarantee maximum efficiency of their assets for a period of time. longer, by minimizing risks. Sanitation companies that do not carry out efficient asset management and maintenance tend to have a reduced capacity to respond to operational problems, losing control over their material assets, their supply management, perception of equipment failures and difficulty in standardizing services, factors that contribute to increased operational expenses and loss of efficiency. The central point is: how can adequate asset management contribute to extending the useful life of a sanitation company's assets, with a consequent reduction in costs and adequate prioritization of investments? The result of one of Embasa's initiatives to structure asset management processes and support their implementation in the company, the study is the result of the Technical Cooperation Project (PCT), signed

between Embasa, the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) and the Brazilian Cooperation Agency of the Ministry of Foreign Affairs (ABC/MRE). The methodology developed deals with the implementation process of Embasa's Asset Management System, from the development of the strategy to the optimization of the value of assets from the perspective of the established strategic objectives. In this sense, Embasa became one of the pioneer companies providing sanitation services in Brazil to mobilize in the implementation of an Asset Management System. With this ongoing implementation, Embasa aims to achieve operational excellence through the integration and coordination of the various functions and business processes, seeking efficiency and effectiveness. Furthermore, this movement enhances the institution's credibility and public recognition, increasing its intangible value.

Keywords: Asset Management; CAPEX; Embasa; OPEX; Sanitation.

1. Introdução

A universalização dos serviços de saneamento é essencial para a saúde pública, o bem-estar da população, a economia e o meio ambiente. A falta de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário seguros e eficazes tem consequências inevitáveis para a saúde pública e a qualidade de vida das comunidades, impactando negativamente diversos aspectos sociais e econômicos (Alegre et al., 2020). Além disso, o Objetivo 6 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) destaca a importância desses serviços para o cumprimento de outros objetivos globais, reforçando a necessidade de políticas públicas eficientes e sustentáveis no setor de saneamento.

O agravamento das mudanças climáticas, que causa secas severas, inundações frequentes e aumento do nível do mar, juntamente com o crescimento populacional, a urbanização descontrolada e a falta de infraestrutura de manutenção, coloca desafios significativos para as empresas de saneamento. Consequentemente, o setor de saneamento precisa desenvolver maior resiliência para se adaptar a esses desafios (Lombana Córdoba et al., 2021). A resiliência, nesse contexto, refere-se à capacidade das empresas de absorver e se adaptar às mudanças, gerenciando eficazmente seus sistemas e melhorando sua capacidade de lidar com riscos futuros (Wied et al., 2019; Yang et al., 2023).

Os serviços de saneamento envolvem infraestruturas complexas cujos elementos, como redes de distribuição de água e sistemas de tratamento de esgoto, são suscetíveis ao desgaste e à deterioração ao longo do tempo. Sem manutenções regulares, renovações ou substituições, esses ativos podem falhar, resultando em interrupções nos serviços. A urbanização rápida e as mudanças climáticas aceleram esse processo de degradação, aumentando a necessidade de uma gestão de ativos eficiente (Halim e Mohammed, 2014).

No setor de saneamento, a eficiência operacional das companhias está diretamente relacionada ao bom funcionamento de seus ativos, caracterizando essas empresas como ativo-intensivas. A obtenção de valor no saneamento envolve atender às necessidades e expectativas das partes interessadas de forma sustentável, garantindo água potável e esgoto tratado de alta qualidade para todos, preservando os recursos hídricos (Brandão et al., 2022). A gestão avançada de ativos de infraestrutura é fundamental para alcançar níveis adequados de serviço no presente e no futuro, especialmente em termos de segurança, disponibilidade e qualidade do abastecimento de água, além do uso eficiente de recursos naturais e prevenção da poluição (Alegre, 2010; Cardoso et al., 2012; Leitão et al., 2019).

Cumprir com os requisitos regulatórios em constante mudança e desenvolver ações socialmente adequadas, ambientalmente corretas e financeiramente viáveis é um desafio significativo para as empresas de saneamento. Dessa forma, a gestão de ativos é uma ferramenta essencial para promover a sustentabilidade social, econômica e ambiental dessas empresas (Almeida & Cardoso, 2010; Mohammadifardi et al., 2022), sendo reconhecida como essencial para a sustentabilidade das organizações, mas sua implementação é um desafio para os gestores (Almeida & Cardoso, 2010).

A falta de uma gestão de ativos eficiente resulta em uma capacidade de resposta reduzida aos problemas operacionais, perda de controle sobre bens materiais e gestão de suprimentos, além de dificuldades na padronização de serviços, aumentando os custos operacionais e reduzindo a eficiência. A gestão de ativos envolve a adoção de metodologias, sistemas e atividades que permitem às organizações obter valor de seus ativos, equilibrando oportunidades, riscos, custos e indicadores, baseando-se nas melhores práticas e buscando a melhoria contínua.

Para alcançar a máxima eficiência dos ativos por um tempo prolongado e minimizar riscos, a gestão de ativos é crucial para empresas ativo-intensivas, como as de saneamento. Esse processo deve incluir o desenvolvimento de planejamentos estratégicos, táticos e operacionais alinhados dentro da organização, com a participação de todos os níveis decisórios. Internacionalmente, organizações têm investido em infraestruturas urbanas de água e esgoto para garantir a saúde pública, o bem-estar das populações, o desenvolvimento sustentável das comunidades e a proteção do meio ambiente. No entanto, a manutenção dessas infraestruturas é um desafio contínuo, especialmente em sociedades em constante crescimento que exigem níveis elevados de serviço, gestão de risco e sustentabilidade (Cardoso et al., 2016; Alegre e Coelho, 2013).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS), em 2019, o Brasil possuía cerca de 680 mil km de redes de água e 354 mil km de redes de esgoto. Atualmente, 85% dos brasileiros têm acesso à água, enquanto apenas 50% têm acesso ao serviço de coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2020). As metas de universalização estabelecidas pelo novo marco regulatório de saneamento básico (Lei nº 14.026/2020) visam atender 99% da população com água potável e 90% com tratamento e coleta de esgoto até 2033 (Brasil, 2020). O investimento necessário para alcançar essas metas é estimado em R\$753 bilhões, com recursos financeiros reservados para esse fim (KPMG, 2021).

Para alcançar essas metas, as empresas de saneamento precisam estruturar seus processos, políticas e cultura, viabilizando investimentos em infraestrutura e operando e mantendo seus ativos de forma adequada. Esses desafios estão diretamente relacionados aos modelos de gestão das organizações e à forma de pensar e agir de suas lideranças (Brandão et al., 2022). Nesse sentido, uma gestão de ativos eficiente é fundamental para gerar valor sustentável e atender às partes interessadas, garantindo a eficácia dos serviços prestados.

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa), principal prestadora de serviços de saneamento no Estado da Bahia, é responsável por um conjunto considerável de ativos que precisam ser gerenciados de forma eficiente para cumprir seu papel social com sustentabilidade. Este estudo é resultado de uma das iniciativas da Embasa para estruturar os processos de gestão de ativos e apoiar sua implementação na companhia, a partir 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). Com essa metodologia, a Embasa busca viabilizar projeções de reposições e reabilitações dos ativos críticos no curto, médio e longo prazo, a partir de uma sistemática de priorização, objetivando a ampliação da vida útil do portfólio de ativos.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo apresentar o modelo de gestão de ativos implantado na Embasa, destacando a relevância dessa gestão para a sustentabilidade e eficiência operacional da empresa.

2. Revisão da Literatura

A gestão de ativos (GA) é fundamental para a eficiência e sustentabilidade das organizações, especialmente no setor de saneamento. A norma ISO 55000 define um ativo como qualquer item, bem físico, material, entidade ou algo que detém um valor atual ou potencial para uma organização, sendo esse valor variável entre diferentes empresas e partes interessadas (ABNTa, 2014). A gestão desses ativos pode ser realizada individualmente ou em conjunto, conforme as necessidades específicas, visando obter vantagens adicionais por meio de agrupamentos por tipos, sistemas ou portfólios de ativos.

Os ativos podem ser classificados em duas categorias principais: tangíveis e intangíveis. Ativos tangíveis são bens físicos, como máquinas, equipamentos e infraestruturas, que têm uma presença palpável e podem se depreciar com o tempo. Já os ativos intangíveis incluem itens não físicos, como direitos autorais, marcas, patentes, software e reputação (Embasa, 2022b). A importância de gerenciar esses ativos de forma eficaz é destacada pela ISO 55000, que fornece um arcabouço estruturado para a gestão de ativos, abrangendo todas as etapas do ciclo de vida, desde a identificação e avaliação até a manutenção, renovação e eventual desativação (ABNTa, 2014).

Aplicado ao contexto empresarial, a GA envolve ações coordenadas para gerar valor e lucro, atendendo às expectativas dos clientes e às exigências dos órgãos reguladores. Para alcançar essa meta, é necessário equilibrar oportunidades, riscos e custos, além de avaliar o desempenho dos ativos por meio de práticas eficazes de monitoramento (ISO, 2018). A norma ISO 55000 enfatiza a importância de maximizar o retorno sobre o investimento e gerenciar riscos, oferecendo orientações claras para a gestão de ativos em todas as etapas do ciclo de vida (ABNTa, 2014).

No setor de saneamento, a adoção da ISO 55000 não só alinha as operações às melhores práticas internacionais, mas também é uma estratégia para maximizar a eficiência operacional e financeira. A norma ajuda a otimizar o desempenho dos ativos, reduzir custos de manutenção e operação e minimizar riscos, garantindo a entrega de serviços de alta qualidade de forma sustentável (ABNTa, 2014; ABNTb, 2014; ABNT, 2020).

No Brasil, a gestão de ativos ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de estratégias claras e planos documentados para a substituição, reposição ou reabilitação de ativos. Isso é crucial para garantir a qualidade, confiabilidade, eficiência e segurança dos serviços prestados aos usuários. A gestão de ativos surge como uma peça-chave, permitindo às empresas de saneamento otimizar a utilização de seus recursos, melhorar a confiabilidade dos serviços e garantir a sustentabilidade financeira e operacional a longo prazo (Embasa, 2022).

Portanto, a GA é essencial para priorizar investimentos, otimizar recursos e gerenciar riscos, documentando boas práticas de gestão e assegurando a sustentabilidade e responsabilidade social das empresas (Embasa, 2022; ISO, 2018). A adoção de uma gestão de ativos eficaz, conforme orientações da ISO 55000, é um passo importante para as empresas de saneamento atenderem às exigências regulatórias e melhorarem a eficiência e qualidade dos serviços prestados.

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (Embasa) é uma sociedade de economia mista de capital autorizado, com personalidade jurídica de direito privado, tendo como acionista majoritário o Governo do Estado da Bahia. A Embasa é responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios onde atua, incluindo captação, tratamento e distribuição de água, bem como coleta, transporte, tratamento e destinação adequada dos esgotos domésticos (EMBASA, 2024).

Criada em 11 de maio de 1971 pela Lei Estadual 2.929, a Embasa incorporou, em 1975, as companhias responsáveis pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Salvador e do interior do estado, as extintas Comae e Coseb. A administração da Embasa segue o princípio da descentralização geográfica, operando por meio de 19 unidades regionais, sendo seis na região metropolitana de Salvador e 13 no interior, além de diversos escritórios locais (EMBASA, 2024).

A Embasa é a principal prestadora de serviços de saneamento na Bahia, gerenciando um extenso portfólio de ativos para cumprir seu papel social de maneira sustentável. A empresa atende prioritariamente a população urbana de sua área de atuação, bem como uma parcela considerável da população rural. Dados de 2021 indicam que 87,77% dos municípios baianos (366 dos 417) são atendidos com serviço de abastecimento de água e 26,86% (112) com serviços de esgotamento sanitário. Cerca de 79,06% da população nos municípios atendidos pela Embasa possui abastecimento de água, enquanto 37,33% são atendidos com esgotamento sanitário (EMBASA, 2021).

A Embasa tem um plano de investimentos programado para alcançar as metas de universalização pactuadas pelo novo marco do saneamento, com investimentos previstos de R\$ 20 bilhões até 2033. Em 2022, foram realizados



investimentos de R\$ 1,15 bilhões, dos quais R\$ 177,65 milhões foram destinados especificamente à reposição de ativos operacionais. Em 2023, foram programados R\$ 1,30 bilhões, com R\$ 109,11 milhões direcionados à reposição de ativos operacionais (EMBASA, 2021).

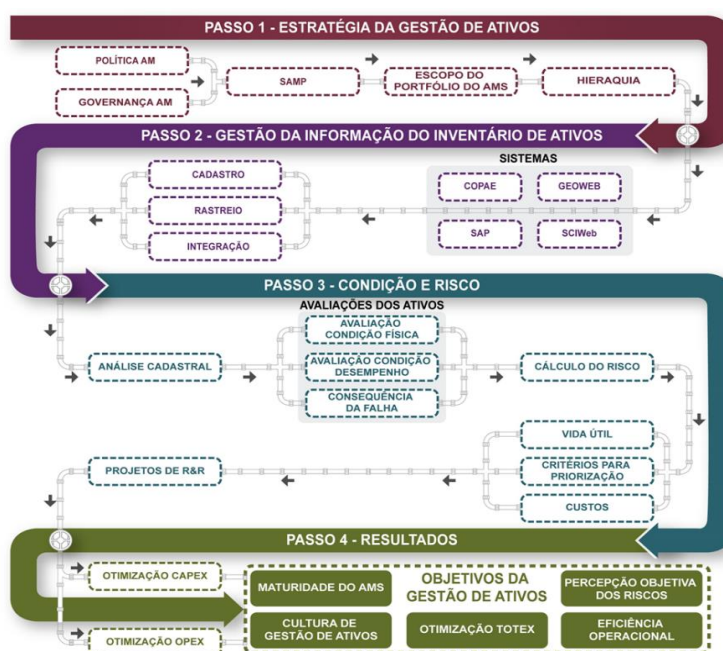
A universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário até 2033 exige planos de expansão e captação de novos recursos para financiar a implantação, ampliação de empreendimentos e reposição de ativos. Essas ações têm reflexos legais, econômicos, sociais e ambientais na gestão da Embasa (EMBASA, 2021). A prioridade nos planos de investimento de capital deve ser substituir ou reabilitar ativos com maior risco ou maior probabilidade de falha, definindo as pontuações a partir das quais a empresa deve propor ações específicas.

Em 2022, a Embasa concluiu um contrato com a LMDM Consultoria para o levantamento e precificação da Base de Ativos da Embasa em todo o estado. Esse levantamento revelou o volume e a diversidade de ativos que precisam ser gerenciados, incluindo 4.900 instalações vistoriadas, 500.000 ativos operacionais, 47.000 km de redes de abastecimento de água, 18.000 km de redes de esgotamento sanitário, 37 barragens, 1.119 reservatórios de abastecimento de água, 455 poços, 527 estações elevatórias dos sistemas de abastecimento de água (SAA), 361 boosters nos SAA, 909 estações elevatórias dos sistemas de esgotamento sanitário (SES), 426 estações de tratamento de água (ETA), 406 estações de tratamento de esgotos (ETE) e 286 captações de água bruta (EMBASA, 2022).

3. Metodologia

Este estudo utilizou a metodologia delineada no "Manual de Gestão de Ativos" da Embasa, desenvolvida através de um Projeto de Cooperação Técnica (PCT) entre a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa), o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores (ABC/MRE). O Manual de Gestão de Ativos Operacionais representa um guia para a implementação do sistema de gestão de ativos corporativamente, desenvolvido para atender às necessidades da Embasa. Este manual apresenta a metodologia e passos para a implantação da gestão de ativos, delineados na Figura 1, garantindo uma abordagem sistemática e organizada para a implementação eficaz do sistema de gestão de ativos na empresa.

Figura 1: Passos para a implementação do Sistema de Gestão de Ativos na Embasa



O processo iniciou-se com o Passo 1, que estabelece a Estratégia da Gestão de Ativos. Primeiramente, foi realizado o levantamento e a consolidação do Planejamento Estratégico da Embasa, onde se definiu a Política e



Governança de Gestão de Ativos, estabelecendo os objetivos iniciais. Uma equipe multidisciplinar foi formada, composta por representantes de diversas áreas da empresa, responsável pela elaboração do Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP).

Durante essa fase, foram desenvolvidas a política de gestão de ativos e o plano estratégico correspondente, incluindo a definição da Visão, Missão e Objetivos da Gestão de Ativos. O SAMP também estabeleceu o portfólio de ativos do Sistema de Gestão de Ativos (AMS) e a hierarquia correspondente.

Um passo crucial foi a definição do escopo do portfólio de ativos, selecionando aqueles considerados críticos e alinhados com o plano estratégico da organização. Essa seleção foi realizada para otimizar os esforços de gestão, concentrando-se nos ativos de maior relevância operacional e estratégica. Após a definição do Portfólio de Ativos, foi construída a estrutura hierárquica com o intuito de organizar os ativos e facilitar sua gestão dentro dos sistemas de informação da Embasa, como COPAE, Geoweb, SCIWeb e ERP/SAP.

O Passo 2 estabeleceu a Gestão da Informação do Inventário de Ativos. A gestão da informação organizou-se logicamente em cadastro, rastreamento dos dados dos ativos e integração em seus diversos sistemas de TI da Embasa, principalmente: COPAE (Sistema de Controle Operacional de Água e Esgoto), Geoweb (responsável pela localização espacial dos ativos verticais e cadastro principal dos ativos horizontais), SCIWeb (Sistema Comercial e de Serviços) e ERP/SAP.

Após a consolidação dos dados cadastrais na Análise Cadastral, o próximo passo foi a avaliação da Condição e Risco dos ativos, categorizada em Condição Física, Condição de Desempenho e Consequência da Falha. Isso permitiu determinar a condição e desempenho dos ativos, calcular o risco individual e embasar planos de renovação da infraestrutura.

A atividade de Cálculo do Risco processou os resultados das avaliações, definindo critérios para intervenções em reposições e reabilitações dos ativos, além de benefícios econômicos esperados e custos adicionais de projetos. Em seguida, os projetos de reposições e reabilitações foram sistematizados para subsidiar o planejamento de investimento de capital.

Finalizando o fluxo, o Passo 3 consolidou os resultados, com a elaboração de um Manual para Implantação da Gestão de Ativos Operacionais nas demais unidades da Embasa. Todo o processo foi acompanhado por uma equipe multidisciplinar, envolvendo áreas como Projetos/empreendimentos, Patrimônio, Planejamento, TI, Manutenção, Operação, Financeiro/Contabilidade, Comercial e Logística, que contribuíram para a formação e consolidação da Gestão de Ativos na empresa, criando uma base de ativos consolidada e facilitando a análise das condições dos ativos no sistema da Embasa.

4. Análise dos Dados

Para a implementação do AMS na Embasa, são demonstrados os quatro passos necessários que constituem a metodologia desenvolvida, conforme apresentados na Figura 1.

4.1. Passo 1 — Estratégia da Gestão de Ativos

Para o sucesso de um Sistema de Gestão de Ativos, é essencial que sua estratégia seja traçada com alinhamento ao Planejamento Estratégico da empresa. Durante o desenvolvimento da estratégia de gestão de ativos, foram desenvolvidos tanto a Política de Gestão de Ativos quanto o Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP — *Strategic Asset Management Plan*), no qual foram documentados, dentre outras definições, a Visão, Missão e Objetivos da Gestão de Ativos. Além disso, foram estabelecidas as diretrizes para a criação da Governança de Gestão de Ativos, bem como a implementação do Sistema de Gestão de Ativos (AMS) da empresa. O SAMP estabeleceu também o Portfólio de Ativos do AMS e a Hierarquia de Ativos do AMS.

4.1.1. Política de Gestão de Ativos

A Política de Gestão de Ativos é o elemento que estrutura a tradução dos objetivos gerais do Planejamento Estratégico da empresa nos objetivos da Gestão de Ativos. Assim, o propósito da Política de Gestão de Ativos é

estabelecer regras, diretrizes e responsabilidades que orientem as decisões e ações da Embasa relativas ao tema, visando melhorar a sustentabilidade organizacional, ampliar o ciclo de vida dos seus ativos, perseguindo, assim, a melhoria do desempenho financeiro, gestão dos riscos associados, melhoria da eficiência e eficácia na prestação dos serviços e melhoria de imagem. Para além dos documentos, o elemento intangível que estrutura e governa o AMS e seus processos, dando movimento às definições estabelecidas nos Planos e Política no contexto da Gestão de Ativos, é a Governança de Gestão de Ativos.

4.1.2. Governança de Gestão de Ativos

A estrutura organizacional responsável por liderar a implementação da Gestão de Ativos é o Comitê de Gestão de Ativos. Esse grupo-chave, constituído oficialmente pela empresa, tem papel central na condução da implementação e manutenção do sistema de gestão de ativos, e tem suas responsabilidades, funções, entre outras definições, formalizadas em documento oficial (Regimento), que deve estar referenciado no Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP). É o Comitê de Gestão de Ativos, grupo transversal multidisciplinar, que deve fomentar a comunicação sobre o tema dentro da empresa, promovendo a efetivação do sistema de gestão de ativos através da construção de uma cultura de gestão de ativos e das suas discussões e deliberações. A Governança é importante para a Gestão de Ativos pois: Fornece direção e supervisão; Garante a continuidade do sistema; Permite a tomada de decisões e cria consenso; Amplia a conscientização e a comunicação; Atribui responsabilidades e garante a prestação de contas; Impulsiona o progresso e a melhoria contínua; e Garante a consistência e alinhamento da gestão, políticas, orientações e processos.

4.1.3. Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP)

O SAMP apresenta: O grau de alinhamento entre Gestão de Ativos e o Planejamento Estratégico da Embasa; A missão, visão e objetivos da gestão de ativos da Embasa; A estrutura da governança; O gerenciamento de desempenho (com apresentação de níveis de serviço e KPIs); O quadro de avaliação de riscos; A comparação da estrutura de planejamento de capital; e os processos de melhoria contínua que devem ser implementados. No SAMP da Embasa, foram definidos os seguintes objetivos gerais, a serem desdobrados em uma série de iniciativas:

- Desenvolvimento do AMS: Desenvolvimento da maturidade do AMS, através do estabelecimento da governança e estrutura de gestão.
- Comunicação do AMS: Desenvolvimento e implementação de um plano de comunicação eficiente, promovendo o conhecimento e a cultura em gestão de ativos na organização.
- Confiabilidade do sistema: Busca prover a confiabilidade do sistema através da definição dos níveis de serviço, da avaliação da condição dos ativos e da mensuração das consequências das falhas através da abordagem *Triple Bottom Line* (avaliando os aspectos sociais, ambientais e financeiros).
- Estratégia: Direciona o desenvolvimento e aplicação dos critérios de tomada de decisão, como a estratégia de Operação e Manutenção, Plano de Investimento de Capital, entre outros.
- Eficiência do Sistema: Objetivo voltado para melhorar a eficiência dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da Embasa.

O SAMP é um documento dinâmico, sempre revisado para absorver as demandas estratégicas da empresa, sobretudo a cada novo ciclo do Planejamento Estratégico.

4.1.4. Portfolio de Ativos

A aplicação da metodologia definida no "Manual de Gestão de Ativos" resultou na identificação do portfólio de ativos da Embasa, compreendendo itens e bens materiais com valor real ou potencial para a organização. No entanto, o Sistema de Gestão de Ativos (AMS) considerará apenas os principais ativos pertencentes às Unidades Operacionais dos Sistemas, considerados críticos para a missão da empresa. Os ativos de uma empresa podem ser tangíveis ou intangíveis. Para compor o escopo do AMS da Embasa, foram considerados exclusivamente os Ativos Tangíveis Operacionais, classificados em ativos horizontais e verticais.

Os Ativos Horizontais referem-se aos componentes físicos das redes de infraestrutura relacionados ao transporte e distribuição de água e esgoto, caracterizados por cobrir vastas áreas geográficas através de traçados lineares. Na Embasa, esses ativos incluem apenas tubulações e são agrupados em Unidades Operacionais:

- Adução de Água Bruta ou Tratada: Incluindo apenas a tubulação principal, enquanto ventosas, válvulas e comportas são considerados componentes.
- Rede de Distribuição de Água: Abrangendo a tubulação principal de distribuição, enquanto elementos como ramais, válvulas, poços de inspeção e terminais de limpeza são classificados como componentes.
- Hidrômetros: Considerando apenas o medidor principal, enquanto o ramal, cavalete e conexões são considerados componentes.
- Rede Coletora de Esgoto: Envolvendo a tubulação principal de coleta de esgoto, com elementos como ramais, poços de inspeção, poços de visita e terminais de limpeza classificados como componentes.
- Emissários de Esgoto: Incluindo somente a tubulação principal de emissão de esgoto, enquanto poços de visita, ventosas, válvulas e comportas são considerados componentes.

Não foram considerados ativos de pequeno porte, como peças, conexões, válvulas, ventosas, comportas, ramais de ligação, cavaletes, poços de inspeção, poços de visita, terminais de limpeza e sifões invertidos. Os principais atributos dos ativos horizontais são materiais, diâmetro, idade e extensão.

Já os ativos verticais são estruturas/equipamentos físicos que possuem uma localização definida e pode-se estabelecer as coordenadas geográficas do mesmo. Incluem edificações de captação, elevatórias, estações de tratamento e reservatórios, além de equipamentos hidromecânicos como bombas. Equipamentos elétricos como painéis, motores, subestações e geradores, e equipamentos de controle e instrumentação como sensores, bombas dosadoras e painéis de comando também são considerados.

Sob esta ótica, os ativos para esta categoria foram segmentados em 4 classes escolhidas por representar as utilidades de cada ativo nos sistemas de água e esgoto. A Tabela 1 a seguir apresenta as classes definidas para compor o Portfólio de Ativos Verticais da Embasa.

Tabela 1: Classes para enquadramento dos Ativos Verticais.

Classes	Descrição
Estrutural	São considerados os edifícios/estruturas que abrigam as unidades operacionais.
Elétrica	São considerados componentes e equipamentos elétricos de porte significativo dos sistemas de água e esgoto.
Hidromecânica	São considerados equipamentos hidromecânicos de porte significativo dos sistemas de água e esgoto.
Controle / Instrumentação	São considerados equipamentos e sistemas utilizados para monitorar, controlar e automatizar os processos relacionados aos sistemas de água e esgoto.

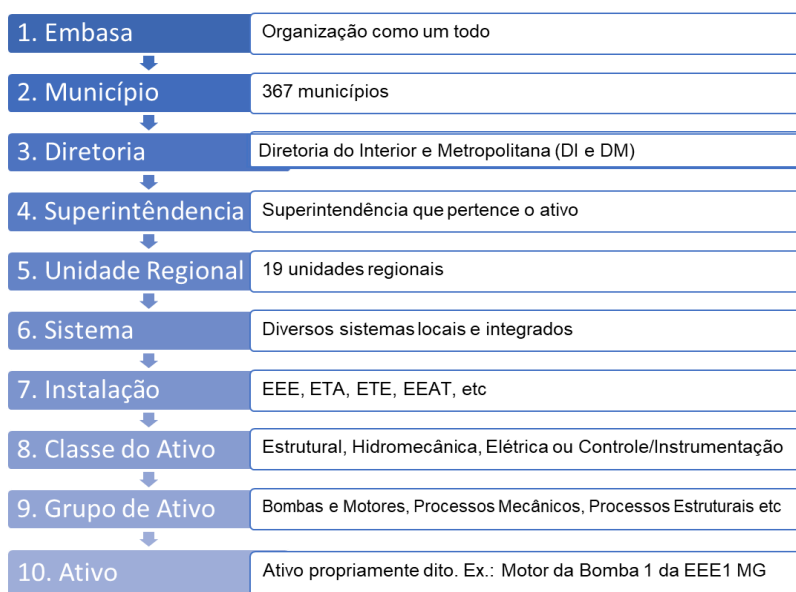
Após a definição do Portfólio de Ativos, foi elaborada a estrutura hierárquica com intuito de organizar os ativos com uma série de atributos que facilitam a sua gestão, inclusive dentro dos sistemas de informação.

4.1.5. Hierarquia de Ativos do AMS

A elaboração de uma proposta unificada como essa desempenha um papel fundamental na otimização da gestão de ativos, uma vez que anteriormente havia múltiplas hierarquias dispersas entre os setores. Essa fragmentação muitas vezes resultava em falta de comunicação e coordenação entre os diferentes departamentos, o que dificultava o processo de monitoramento dos ativos e o gerenciamento eficaz das ordens de serviço.



Figura 2: Hierarquia de ativos para a Embasa.



Nesta estrutura, os níveis de 1 a 9 são considerados níveis virtuais. O único nível considerado real é o nível 10, onde se encontram os ativos propriamente ditos, os quais são operados pela companhia e para os quais são emitidas as ordens de serviços de manutenção.

Os níveis virtuais dizem respeito à estrutura organizacional da empresa, divisões administrativas e agrupamentos lógicos, que permitem realizar análises de custos e tomar decisões para muitos ativos de uma vez só. Embora cada um desses níveis possa ser considerado em si um ativo, por gerarem valor para a empresa, eles não correspondem exatamente a entidades tangíveis individuais, e sim um conjunto de outros elementos. Já os níveis reais dizem respeito aos ativos físicos propriamente ditos, que constituirão a unidade elementar para atividades de gestão e manutenção.

4.2. Passo 2 — Gestão da Informação do Inventário de Ativos

A gestão da informação se organiza logicamente em cadastro, rastreamento dos dados dos ativos e integração em seus diversos sistemas de TI da Embasa, principalmente: Sistema de Controle Operacional de Água e Esgoto (COPAE), Sistema de Informação Geográfica (Geoweb), Sistema Comercial Integrado (SCIWeb) e Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SAP)

4.3. Passo 3 — Condição e Risco

Após a consolidação dos dados cadastrais dos ativos na atividade de Análise Cadastral, eles são utilizados também para as atividades de avaliação dos ativos, que são divididas em três categorias: Condição Física, Condição de Desempenho e Consequência da Falha:

- Avaliação da Condição Física: Tem por objetivo avaliar os ativos quanto à sua condição física a partir de critérios preestabelecidos em função da classe do ativo. Essa avaliação pode ser feita de duas maneiras: através de inspeção física em campo, de forma visual ou, na inviabilidade dessa inspeção, através de uma estimativa teórica da condição física com base na vida útil e na idade do ativo. Formulários de inspeção com critérios definidos são respondidos em campo, no caso de ativos inspecionáveis, e são analisados alguns aspectos, em função da classe do ativo (definida na hierarquia), relativos a critérios como vazamentos, danos estruturais, recalque, corrosão, vibração, dano elétrico etc.
- Avaliação de Condição de Desempenho: Tem por objetivo avaliar os ativos quanto à sua condição de desempenho a partir de critérios preestabelecidos em função da sua natureza. Essa avaliação é normalmente feita em escritório a partir de análise de registros históricos ou através de entrevistas com

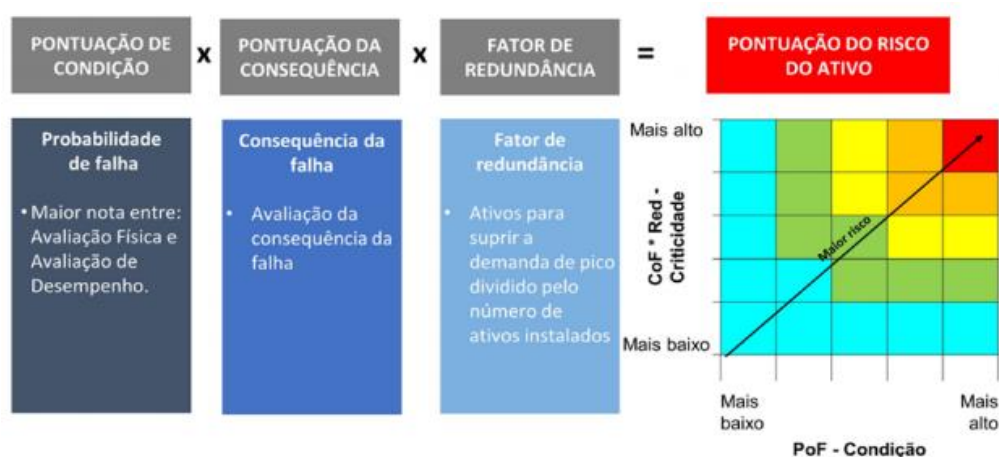
os setores de operação e manutenção. O objetivo é poder quantificar a condição de desempenho dos ativos também por critérios de performance e não somente pela condição física visual.

- Avaliação de Consequência da Falha: O objetivo dessa avaliação é mensurar o impacto potencial das falhas dos ativos, considerando critérios preestabelecidos conforme a natureza do ativo. Esta avaliação é realizada em escritório, por meio da análise de registros históricos ou entrevistas com os setores de operação e manutenção. Adota-se uma abordagem sustentável Triple Bottom Line para avaliar os impactos das falhas dos ativos em termos econômicos, ambientais e sociais. São considerados critérios como custo de reposição, custo de manutenção, potencial de lesão, impacto no abastecimento/coleta, impacto na imagem pública e dano ambiental potencial.

4.3.1. Cálculo do Risco

A atividade de cálculo do risco envolve o processamento dos resultados das avaliações dos ativos, conforme a Figura 3. As notas atribuídas nas avaliações de condição física, de desempenho e de consequência da falha são combinadas com um fator de redundância, resultando na pontuação do risco individual de cada ativo.

Figura 3: Formação Multidisciplinar da Equipe Técnica do Sistema de Gestão de Ativos da Embasa.



A probabilidade de falha relativa, ou condição, é obtida através do processamento das notas da avaliação física e da avaliação de desempenho. A consequência da falha é avaliada com base em uma abordagem *Triple Bottom Line*, considerando os impactos econômicos, ambientais e sociais das falhas dos ativos. O fator de redundância é determinado pela relação entre o número de ativos necessários e o número de ativos instalados, atuando como um fator minorante na consequência da falha durante o cálculo do risco.

A pontuação da condição do ativo é definida pela maior pontuação entre as notas das avaliações física e de desempenho. A pontuação da consequência da falha é o resultado da própria avaliação, enquanto o fator de redundância varia entre 0 e 1 ($0 < FR \leq 1$), indicando a existência ou não de um equipamento reserva instalado.

Uma das principais ferramentas de análise de risco é a matriz de risco, com a qual é possível enxergar os ativos dispostos em termos de Probabilidade de Falha (eixo X) e Consequência da Falha (eixo Y), conforme a Figura 3.

Após realizar o cálculo de risco, o próximo passo é definir critérios para intervenção em reposições e reabilitações dos ativos, o benefício econômico esperado em vida útil e os custos. Os critérios para intervenção em reposições e reabilitação consistem no estabelecimento de pontuações-limite a partir das quais a empresa deve propor uma reabilitação ou reposição. A melhoria na vida útil após reabilitações é quantificada por essa atividade, destacando as intervenções de manutenção que prolongam a vida útil remanescente dos ativos, como a retífica de um motor ou a reabilitação de uma rede.

O benefício econômico esperado em vida útil é quantificado para cada tipo de reabilitação praticada pela empresa, estruturando essa modalidade de intervenção nos ativos e subsidiando o planejamento de investimento de capital. A definição do fator de acréscimo de projetos consiste no estabelecimento de um fator



majorante do custo de aquisição para obter o custo de reposição dos ativos, considerando que o preço de compra de ativos, como equipamentos eletromecânicos, não é igual ao custo da reposição, que inclui os custos de engenharia.

Para obter os custos de reposição dos ativos, as informações de custo de aquisição/construção devem estar disponíveis na base cadastral, majoradas pelo fator de projetos definido na atividade de Critérios de Priorização. O custo de reposição dos ativos verticais pode ser analisado utilizando os dados de Valor Novo de Reposição (VNR) para equipamentos e Valor Avaliado (VA) para estruturas no SAP. Para ativos horizontais, a estimativa de custos de reposição depende de variáveis como o custo do material e dos serviços.

Para os custos de reabilitação, é necessário definir quais grupos de ativos podem ser reabilitados e o número de vezes que isso é possível. Em geral, ativos hidromecânicos, elétricos e de controle/instrumentação podem ser reabilitados uma vez, enquanto ativos estruturais geralmente podem ser reabilitados indefinidamente.

Assim é possível sistematizar os projetos de intervenção em reposições e reabilitações (projetos de R & R) dos ativos do Portfólio de Ativos para subsidiar o planejamento de investimento de capital. O gerenciamento de riscos pode ser feito a partir da interpretação da matriz de risco, que é elaborada a partir da metodologia de análise e avaliação da condição e risco. A análise dessa matriz pode ser feita sob a ótica de otimização de CAPEX e de OPEX.

4.3.2. Vida Útil

A estimativa de vida útil tem por objetivo a atribuição das seguintes informações aos ativos no AMS: estimativa de vida útil por grupo de ativos, idade dos ativos e tipo de curva de degradação característica. A definição de uma curva de degradação para cada ativo do sistema de gestão de ativos permite acompanhar a degradação teórica da condição de todos os ativos ao longo de suas vidas úteis; e avaliar a condição de ativos que não podem ser inspecionados (como os enterrados e os inacessíveis).

É recomendável que a estimativa de vida útil esperada seja feita com base na tabela de referência da Agência Reguladora, na informação do fabricante ou no histórico operacional da própria empresa. Esse dado é utilizado para pontuar a avaliação física de ativos não inspecionáveis e para estimar a vida útil remanescente dos ativos do Portfólio. Entretanto, a utilização dessa informação para a projeção da degradação do ativo e vida útil remanescente é logicamente posicionada logo após a atividade de cálculo do risco, de modo que seja possível realizar a projeção da condição e do risco no tempo.

4.3.3. Critérios para Priorização

Após realizar o cálculo de risco, o próximo passo é definir critérios para intervenção em reposições e reabilitações dos ativos, o benefício econômico esperado em vida útil e os custos. Os critérios para intervenção em reposições e reabilitação consistem no estabelecimento de pontuações limite a partir das quais a empresa deve propor uma reabilitação ou reposição. A melhoria na vida útil após reabilitações é quantificada por essa atividade, destacando as intervenções de manutenção que prolongam a vida útil remanescente dos ativos, como a retífica de um motor ou a reabilitação de uma rede.

O benefício econômico esperado em vida útil é quantificado para cada tipo de reabilitação praticada pela empresa, estruturando essa modalidade de intervenção nos ativos e subsidiando o planejamento de investimento de capital. A definição do fator de acréscimo de projetos consiste no estabelecimento de um fator majorante do custo de aquisição para obter o custo de reposição dos ativos, considerando que o preço de compra de ativos, como equipamentos eletromecânicos, não é igual ao custo da reposição, que inclui os custos de engenharia.

- A definição de critérios para intervenção em reposições e reabilitações consiste no estabelecimento de pontuações limite a partir das quais a empresa deve propor uma reabilitação ou reposição;
- A definição de melhoria na vida útil após reabilitações é a atividade que visa quantificar essa melhoria proporcionada pelas intervenções de reabilitação. Alguns ativos costumam receber intervenções de



manutenção que têm o potencial de trazer benefícios econômicos futuros. Essas intervenções (reabilitações) são aquelas realizadas nos ativos para prolongar sua vida útil remanescente, por exemplo: uma retífica de motor ou uma reabilitação de rede (com retirada das incrustações e refazendo o revestimento interno). O benefício econômico esperado em vida útil deve ser quantificado nesta presente atividade, para cada tipo de reabilitação praticada pela empresa em seus ativos. Essa atividade representa uma oportunidade de estruturação dessa modalidade de intervenção nos ativos — a reabilitação — que resulta na possibilidade de capitalização desses gastos e no subsídio ao planejamento de investimento de capital.

- Por fim, a definição do fator de acréscimo de projetos consiste no estabelecimento de um fator majorante do custo de aquisição para a obtenção do custo de reposição dos ativos. Vale ressaltar que o preço de compra de ativos, como equipamentos eletromecânicos, não é igual ao custo da reposição, já que este engloba os custos de engenharia.

4.3.4. Custos

Essa atividade tem como objetivo a definição dos custos de reposição e reabilitação a serem considerados na metodologia da Condição e Risco.

Para obter os custos de reposição dos ativos, as informações de custo de aquisição/construção devem estar disponíveis na base cadastral, majoradas pelo fator de projetos definido na atividade de Critérios de Priorização. O custo de reposição dos ativos verticais pode ser analisado utilizando os dados de Valor Novo de Reposição (VNR) para equipamentos e Valor Avaliado (VA) para estruturas no ERP/SAP. Para ativos horizontais, a estimativa de custos de reposição depende de variáveis como o custo do material e dos serviços.

4.3.5. Projetos de Reposição e Reabilitação

Essa atividade tem o objetivo de sistematizar os Projetos de intervenção em reposições e reabilitações (Projetos de R&R) dos ativos do Portfólio de Ativos para subsidiar o planejamento de investimento de capital. Esses projetos nada mais são do que “pacotes” de intervenções planejadas no Portfólio de Ativos. Definir: quais ativos, de que forma (reposição ou reabilitação), em que ano, e qual o custo estimado, faz parte do processo de planejamento de investimento de capital. Como parte desse planejamento, a padronização e sistematização dos projetos de intervenção que derivem de decisões: estratégicas; oriundas de obrigações legais/contratuais; ou provenientes da análise objetiva de risco e condição dos ativos (Projetos Lógicos), compõem a atividade de elaboração de Projetos de Reposição e Reabilitação. O objetivo é que, tanto os investimentos que já estiverem planejados para o futuro, quanto os que venham a ser planejados a partir da análise objetiva de risco e condição, sejam levados em consideração no planejamento de investimento da Embasa pelos tomadores de decisão, na atividade de Otimização de CAPEX do Passo 4 — Análises de Resultados, para:

- verificar a disponibilidade orçamentária;
- analisar a projeção de cenários de degradação da condição média dos ativos ao longo do tempo em função do volume de recursos reinvestidos;
- analisar a projeção de cenários da média de risco dos ativos ao longo do tempo em função do volume de recursos reinvestidos;
- estimar uma taxa ótima de reinvestimento no Portfólio de Ativos para a manutenção de determinados níveis de serviço e risco.

4.4. Passo 4 — Análises e Resultados

Este último passo da metodologia documentada no Manual apresenta, justamente, sua aplicação prática gerencial. Todas as considerações, recomendações e definições dos passos 1, 2 e 3 concorrem para o Passo 4. Com esta metodologia, a Embasa tem o propósito primário de ter uma ferramenta capaz de viabilizar projeções de reposições e reabilitações dos ativos críticos no curto, médio e longo prazo, a partir de uma sistemática de priorização, objetivando a ampliação da vida útil do Portfólio de Ativos. O gerenciamento de riscos pode ser feito a partir da interpretação da matriz de risco, que é elaborada a partir da metodologia de análise e avaliação da



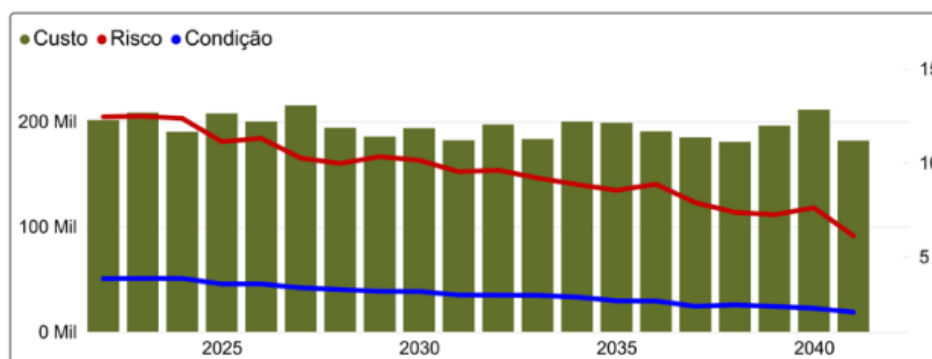
condição e risco, apresentada no Passo 3 — Condição e Risco. A análise dessa matriz pode ser feita sob a ótica de otimização de CAPEX e de OPEX, conforme apresentado nos itens a seguir.

4.4.1. Otimização de CAPEX

A otimização de CAPEX ocorre a partir da utilização das informações geradas pela metodologia de identificação, análise e avaliação dos riscos como subsídio para o planejamento de investimento de capital. É recomendável que os investimentos sejam planejados com base na informação de risco, uma vez que os ativos de maior risco (críticos) tendem a ser os com maior probabilidade e maior consequência de falha. Nesse contexto, informações como disponibilidade orçamentária para reinvestimentos e planejamento de intervenções no portfólio devem ser combinadas com as geradas pelos passos anteriores da metodologia, de modo que as decisões de reinvestimentos no portfólio sejam devidamente fundamentadas em informações consistentes sobre a condição e criticidade dos ativos.

Essas decisões podem ser formalizadas em um Plano de Reposições e Reabilitações (Plano de R&R), componente de um Plano de Gestão de Ativos (*Asset Management Plan* — AMP), que inclui as previsões de reinvestimento nos ativos do portfólio em determinado horizonte de tempo, a previsão de degradação dos ativos ano a ano, a projeção da condição e do risco médio do portfólio para os cenários de investimento definidos e a lista exaustiva de ativos a sofrerem intervenção. Assim, a principal informação contida no plano será a sugestão dos ativos que devem ser repostos ou reabilitados em cada ano, com a respectiva estimativa de investimento necessário para as intervenções. O Plano de R&R é um documento referencial, dinâmico e que deve ser revisado anualmente para o planejamento de reposições e reabilitações do portfólio, contendo, como escopo mínimo, a metodologia empregada, as premissas adotadas, os resultados obtidos e os benefícios esperados pelos investimentos planejados. A Figura 4, a seguir, apresenta um exemplo de um cenário de investimentos de 20 anos que possui uma tendência de queda no risco geral do sistema analisado.

Figura 4: Redução do risco em cenário de investimentos em reposição.



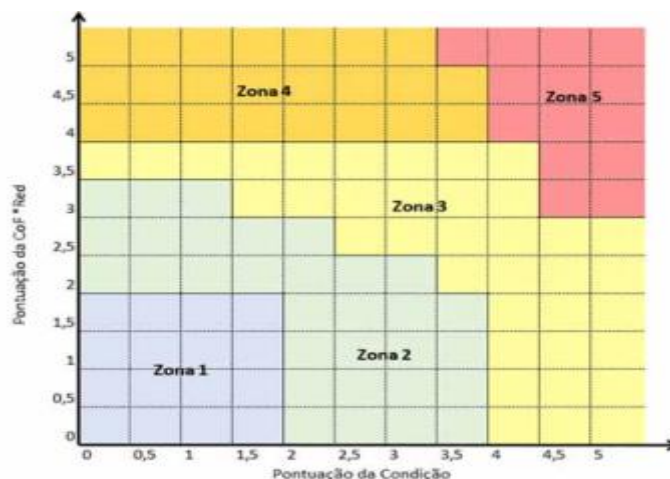
Fonte: Embasa, 2022.

4.4.2. Otimização de OPEX

Para a otimização do OPEX, a priorização de atividades de operação e manutenção dos ativos mais críticos e daqueles de maior probabilidade de falha, é direcionada pela classificação em zonas de risco, que direciona diferentes níveis de atenção da operação e manutenção e permite a definição de tratativas específicas para cada zona. A matriz de risco (Figura 5) é utilizada como ferramenta para determinar essas zonas, indicando a posição de risco de cada ativo, levando em consideração sua condição e sua consequência da falha.



Figura 5: Matriz estratégica do plano de otimização de O&M.



As zonas são definidas da seguinte forma:

- Zona 1: zona opcional de estratégia “run to failure”, ou seja, onde os ativos de menor risco podem vir a ser operados até a falha intencionalmente;
- Zona 2: zona de rotinas habituais de O&M;
- Zona 3: zona de programas de manutenção preventiva aprimorados e análise dos critérios da avaliação física com pontuação maior ou igual a 4;
- Zona 4: zona de alta consequência da falha, indicando a necessidade de redução dessa consequência de falha;
- Zona 5: zona mais crítica, de alto risco e alta probabilidade de falha, indicando os ativos que são prioritários para investimento de capital (reposições e reabilitações).

Todas as ações devem ser documentadas em um Plano de Otimização de O&M, que deve ser revisado periodicamente. A atividade de otimização de plano de manutenção consiste em alinhar a estratégia de manutenção com as zonas de ação. Ativos de alto risco devem ter planos mais elaborados, enquanto ativos de baixo risco podem ter planos mais simples. Para os planos mais elaborados, recomenda-se a atualização de análise de causa raiz (RCA — *Root Cause Analysis*), que consiste em analisar os modos de falha do histórico de manutenção daquele ativo e definir quais são as causas de falha mais recorrentes. Feito este estudo, pode-se definir alterações de manutenção e operação para que esse modo de falha seja eliminado, reduzido ou mitigado.

5. Discussão

A utilização de uma matriz de risco representa uma ferramenta crucial em diversas análises gerenciais, destacando-se especialmente na priorização de recursos financeiros e não financeiros. O principal objetivo dessa metodologia é direcionar os investimentos da empresa para os ativos que proporcionem o melhor custo-benefício.

Através da análise da matriz de risco, é possível determinar quais ativos devem ser priorizados no planejamento de reposições e reabilitações, levando em consideração o alto risco que representam. Além disso, permite identificar quais ativos necessitam de um sistema de monitoramento mais robusto devido à sua alta consequência de falha. A construção dessa matriz relaciona as pontuações de Probabilidade de Falha (PoF) com as pontuações de Consequência da Falha (CoF).

A pontuação de PoF, variando de 1 a 5, é obtida através das Avaliações Física e de Desempenho dos ativos, enquanto a pontuação de CoF, também numa escala de 1 a 5, considera não apenas a avaliação da consequência da falha, mas também a presença de ativos redundantes nos sistemas de abastecimento de água ou esgotamento sanitário, através do Fator de Redundância.



Essas notas e faixas de risco são essenciais para priorizar os investimentos de capital, buscando reduzir o número de ativos na coluna mais à direita da matriz, onde estão posicionados os ativos de maior risco, caracterizados por alta probabilidade e consequência de falha. A matriz de risco pode ser implementada em interfaces de Business Intelligence (BI) para desenvolver outras visões e painéis, possibilitando análises específicas conforme exemplificado na Figura 6, que ilustra a sistematização da análise dos ativos.

Figura 6: Sistematização da análise dos ativos no BI.



As ações delineadas no Plano de Reposições e Reabilitações (R&R) visam otimizar o investimento de capital ao longo dos anos na empresa. Com isso, espera-se melhorar o desempenho dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, reduzindo simultaneamente o risco associado aos ativos. A Figura 7 exemplifica a simulação da redução do nível de risco dos ativos após a implementação do Plano de R&R, mostrando uma diminuição significativa dos ativos de alto risco ao longo do tempo.

Figura 7: Simulação da redução do nível do risco dos ativos após a implantação de um Plano de R&R.



Além disso, para a análise e otimização do OPEX, é apresentada a matriz estratégica da Embasa, onde são considerados os produtos entre a pontuação da consequência da falha e o fator de redundância dos ativos no eixo y, e a pontuação da condição dos ativos no eixo x. Esta matriz pode ser configurada de maneira única para todos os ativos, específica por classe ou grupo de ativos, apoiando a elaboração do Plano de Otimização da Operação & Manutenção (O&M).

Este plano inclui a definição de ações específicas para cada zona de risco, como a otimização de planos de manutenção, a análise dos critérios auxiliares da avaliação física e o estudo para otimização dos ativos. Cada uma dessas atividades é documentada e periodicamente revisada no Plano de Otimização de O&M. A otimização de plano de manutenção, por exemplo, alinha a estratégia de manutenção de acordo com as zonas de risco dos ativos, sendo mais elaborada para os ativos de alto risco, com atualizações frequentes de análise de causa raiz para identificar e mitigar modos de falha recorrentes.

Dessa forma, a implementação dessas metodologias não apenas visa melhorar a gestão dos ativos da empresa e reduzir custos operacionais, mas também mitigar perdas financeiras e impactos socioambientais causados por falhas imprevistas em serviços essenciais como saneamento.

5.1. Processos Recorrentes de Gestão de Ativos — Indicadores Chave de Desempenho

Os Indicadores de Gestão de Ativos têm um papel essencial no acompanhamento da performance da própria Gestão de Ativos. Além de servirem como régua no acompanhamento do sucesso sob o ponto de vista estratégico da implementação do Sistema de Gestão de Ativos, também servem para monitorar os resultados práticos da Gestão de Ativos. Além disso, ainda servem de base para o estabelecimento de metas, inclusive para os níveis do serviço oferecido aos consumidores/usuários. O estabelecimento desses indicadores deve proporcionar o alinhamento com os objetivos estabelecidos no Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP) e com os Níveis de Serviço estabelecidos. Portanto, um dos desafios do processo de estabelecimento dos indicadores é conseguir concebê-los para serem capazes de medir, estratégica e tecnicamente, os Níveis de Serviço oferecidos e consequentemente o avanço e a efetividade da implementação do Sistema de Gestão de Ativos.

Então, os indicadores de Gestão de Ativos da Embasa foram logicamente divididos em duas espécies: Estratégicos, aferindo o progresso na implantação do Sistema Gestão de Ativos no que tange às medidas estruturantes e ao estabelecimento de uma cultura de Gestão de Ativos dentro da companhia; e Técnicos, para validação e implantação prática da metodologia proposta e monitoramento da performance dos ativos. Esses indicadores são estabelecidos em consonância com os objetivos definidos no Plano Estratégico da Gestão de Ativos (SAMP), a fim de servirem de elo entre os objetivos estratégicos da gestão de ativos e o Sistema de Gestão de Ativos. Um dos indicadores mais importantes para a Implantação do Plano de Gestão de Ativos Operacionais da Embasa é o nível da maturidade em gestão de ativos (NMGA), que é uma autoavaliação que tem por objetivo medir o desenvolvimento dos temas envolvidos com gestão de ativos na organização. Outros indicadores estabelecidos foram cobertura de ativos com cálculo de risco completo, porcentagem de ativos verticais com pontuação física elevada, custo de manutenção por base de ativos, entre outros.

6. Conclusão

A metodologia desenvolvida trata do processo de implantação do Sistema de Gestão de Ativos da Embasa a partir de 4 passos característicos:

- Desenvolvimento da estratégia de gestão de ativos;
- Fundamento essencial da gestão da informação do inventário de ativos, sobre o qual será construído o arcabouço metodológico do Sistema de Gestão de Ativos da Embasa;
- Metodologia de cálculo do risco dos ativos; e
- Sugestão de utilização das informações geradas para otimização do valor dos ativos sob a ótica dos objetivos estratégicos estabelecidos no primeiro passo.

A implantação de um Sistema de Gestão de Ativos, no entanto, não é tarefa pontual dentro de uma organização e sim um processo contínuo através de uma longa jornada, dinâmico e gradual, que envolve toda a organização e demanda constante atualização para que os objetivos da gestão de ativos estejam sempre alinhados com os objetivos estratégicos da empresa.

É muito importante ressaltar que uma parte essencial em qualquer implantação de um Sistema de Gestão de Ativos é a gestão da mudança cultural da empresa e de seus colaboradores, que naturalmente estão habituados a uma forma de trabalhar e de gerir os ativos. Por isso, ações como comunicação, capacitação e alinhamento são fundamentais na agenda de atuação do Comitê de Gestão de Ativos.

A missão da Embasa: “prestar serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com excelência e sustentabilidade, contribuindo para universalização e melhorando a qualidade de vida”.

E a visão 2025: “Ser reconhecida como a melhor opção em serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário para o estado da Bahia”, apontam para um comprometimento na busca da excelência gerencial e operacional, e da satisfação dos clientes”.



Nesse sentido, a Embasa se tornou uma das pioneiras empresas prestadoras de serviços de saneamento no Brasil a se mobilizar na implantação de um Sistema de Gestão de Ativos.

Com esta implantação em curso, a Embasa visa atingir a excelência operacional através da integração e coordenação das diversas funções e processos de negócio, buscando a eficiência, a eficácia e a efetividade. Além disso, esse movimento potencializa a credibilidade da instituição e o reconhecimento público, aumentando seu valor intangível.

Agradecimentos

Agradeço a todos os colegas que trabalharam e trabalham conjuntamente no comitê para a implantação de um sistema de Gestão de Ativos dentro da Embasa, em especial a Rinaldo Camurugy pela parceria e Leonardo Góes, Presidente da Embasa pela liderança e patrocínio em todo esse processo.

A família e amigos pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste artigo.

Referências

ABNT (2014a). Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos (ABNT. NBR ISO 55001). Associação Brasileira de Normas Técnicas. <https://www.abntcatalogo.com.br/>

ABNT (2014b). Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia (ABNT. NBR ISO 55000). Associação Brasileira de Normas Técnicas. <https://www.abntcatalogo.com.br/>

ABNT (2020). Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001 (ABNT. NBR ISO 55002). Associação Brasileira de Normas Técnicas. <https://www.abntcatalogo.com.br/>

Alegre, H. (2010). Is strategic asset management applicable to small and medium utilities? *Water Science and Technology*, 62(9), 2051–2058. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.509>

Alegre, H., Amaral, R., Brito, R., & Baptista, J. (2020). Public policies as strategic asset management enablers: The case of Portugal. *H2Open Journal*, 3(1), 428–436.

Alegre, H., Coelho, S. T., Covas, D. I. C., Almeida, M. do C., & Cardoso, A. (2013). A utility-tailored methodology for integrated asset management of urban water infrastructure. *Water Supply*, 13(6), 1444–1451. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.108>

Almeida, M., & Cardoso, M. (2010). Gestão Patrimonial de infraestruturas de águas residuais e pluviais: Uma abordagem centrada na reabilitação. *ERSAR e LNEC*. ISBN 978-989-8360-05-2.

Brandão, A. M., Furlaneto, E. R., Junior, M. O. F., Conceição, N. S., Monteiro, T., & Tosta, V. (2022). A importância da gestão de ativos no saneamento. *Revista Regulação em Foco*, 2(1), 19–25.

Cardoso, M. A., Almeida, M. C., & Santos Silva, M. (2016). Sewer asset management planning: Implementation of a structured approach in wastewater utilities. *Urban Water Journal*, 13(1), 15–27. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2015.1076859>

Cardoso, M. J., Silva, M. C., Coelho, S. T., Almeida, M., & Covas, D. (2012). Urban water infrastructure asset management: A structured approach in four water utilities. *Water Science & Technology*, 66(12), 2702–2711. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.509>

EMBASA — Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (2021). Relatório da administração, de sustentabilidade e demonstrações financeiras.

EMBASA — Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (2022). COPAE — Controle Operacional de Água e Esgoto. <https://www.embasa.ba.gov.br/>



EMBASA (2024). Quem somos. <https://www.embasa.ba.gov.br/a-embasa/quem-somos/apresentacao>

Halim, M., & Mohammed, A. (2014). Identification of critical level of assets by using analytic hierarchy process for water assets management. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2(3), 54–58. <https://www.ijtra.com/special-issue-download.php?paper=identification-of-critical-level-of-assets-by-using-analytic-hierarchy-process-for-water-assets-management>

ISO (2018). Asset management: Achieving the UN Sustainable Development Goals.

KPMG (2021). Quanto custa universalizar o saneamento no Brasil? <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2020/06/quanto-custa-universalizar-o-saneamento-no-brasil.html>

Leitão, J. P., Caradot, N., Cherqui, F., Tscheikner-Gratl, F., Ahmadi, M., Langeveld, J. G., Le Gat, Y., Scholten, L., Roghani, B., Rodríguez, J. P., Lepot, M., Stegeman, B., Heinrichsen, A., Kropp, I., Kerres, K., Almeida, M. do C., Bach, P. M., Moy de Vitry, M., Sá Marques, A., & Simões, N. E. (2019). Sewer asset management: State of the art and research needs. *Urban Water Journal*, 16(9), 662–675. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2020.1713382>

Lombana Cordoba, C., Perez Penalosa, F., Saltiel, G., & Sdik, N. (2021). Utility of the future: Taking water and sanitation utilities beyond the next level. A methodology to ignite transformation in water and sanitation utilities. *The World Bank*.

Mohammadifardi, H., Knight, M., & Unger, A. (2022). Sustainability assessment of strategic asset management decisions on municipal water infrastructure systems: Framework and application. *AWWA Water Science*, 4(4). <https://doi.org/10.1002/aws2.1297>

SNIS (2020). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

Wied, M., Oehmen, J., & Welo, T. (2019). Conceptualizing resilience in engineering systems: An analysis of the literature. *Systems Engineering*, 23(1), 3–13. <https://doi.org/10.1002/sys.21491>

Yang, Z., Barroca, B., Alexandre Weppe, A. B.-D., Laffréchine, K., Daclin, N., November, V., Omrane, K., Kamissoko, D., Benaben, F., Dolidon, H., Tixier, J., & Chapurlat, V. (2023). Indicator-based resilience assessment for critical infrastructures: A review. *Safety Science*, 160, 106049. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106049>

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.

Indicadores de desempenho de pavimentos em sistemas de gestão de ativos para os países em vias de desenvolvimento

Pavement performance indicators for asset management systems in developing countries

[10.29073/rae.v3i1.930](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.930)


Recebido: 23 de julho de 2024.

Aprovado: 10 de janeiro de 2025.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a 1: José Vaz , Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, jc.vaz@campus.fct.unl.pt.

Autor/a 2: Simona Fontul , Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, simona@lnec.pt.

Autor/a 3: Paula Couto , Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, pcouto@lnec.pt.

Resumo

As organizações rodoviárias necessitam de avaliar, com precisão, as condições dos pavimentos para tomarem as decisões mais adequadas de manutenção. A utilização de um grande número de parâmetros técnicos e indicadores de desempenho na avaliação do estado dos pavimentos, permite uma definição mais precisa na intervenção de manutenção / reabilitação. Por isso, a seleção e utilização destes fatores desempenham um papel fundamental no processo de gestão de pavimentos. Entretanto, a recolha de dados obtidos exclusivamente por meio do processo de monitorização dos pavimentos é uma das etapas mais dispendiosas na gestão desses ativos.

O principal objetivo deste trabalho é identificar os indicadores de desempenho em sistemas de gestão de ativos para os países em vias de desenvolvimento. A metodologia passa pela escolha dos parâmetros técnicos utilizados na avaliação do seu desempenho funcional e estrutural, incluindo o processamento de dados de monitorização, normalmente recolhidos com recurso a equipamentos, dos mais simples aos mais sofisticados, com diferentes potencialidades e limitações.

Pretende-se, ainda, contribuir para a identificação de técnicas alternativas, que possam ser aplicadas nos países em vias de desenvolvimento, na avaliação das condições dos pavimentos rodoviários. Nesses países, com a escassez de equipamentos de ensaio e a falta de campanhas para a avaliação, os pavimentos não são sujeitos a medidas atempadas e adequadas de manutenção e acabam por ter um ciclo de vida bastante reduzido.

Palavras-Chave: Gestão de Ativos; Indicadores de Desempenho; Monitorização de Pavimentos.

Abstract

Road organisations need to accurately assess the condition of pavements to make the most appropriate maintenance decisions. The use of many technical parameters and performance indicators in the assessment of pavement condition allows for a more precise definition of the maintenance / rehabilitation intervention. Therefore, the selection and use of these factors plays a fundamental role in the pavement management process. However, collecting monitoring data is one of the most expensive stages in the management of these assets.

The main objective of this work is to identify performance indicators for asset management systems in developing countries. The methodology involves choosing the technical parameters used to assess their functional and structural performance, including the processing of monitoring data, usually acquired using equipment, from the simplest to the most sophisticated, with different potential and limitations.

The aim is also to help identify alternative techniques that can be applied, in developing countries, to assess the condition of road pavements. In these countries, with the scarcity of testing equipment and the lack of evaluation campaigns, pavements are not subject to timely and adequate maintenance actions and, consequently, have a shorter life cycle.

Keywords: Asset Management; Pavement Monitoring; Performance Indicators.

1. Introdução

O conceito de Gestão de Ativos (GA) surgiu no início dos anos 90 no Reino Unido, na sequência da evolução da indústria e da implementação de processos de otimização dos ativos, por forma a não representarem risco para as organizações no que toca à sua funcionalidade e sustentabilidade. A GA é um processo que envolve o equilíbrio entre diversas variáveis, como custos, riscos, oportunidades, benefícios de desempenho, etc., visando a otimização de recursos. Neste sentido, existe um conjunto de práticas que devem ser seguidas pelas organizações que permitem inventariar, registar e avaliar os ativos tangíveis (Santos, 2018).

Assim, surge a série de Normas Internacionais ISO 55000 que define os princípios, orientações e requisitos, que permitem garantir o bom desempenho da GA de uma organização. A ISO 55000:2014 oferece uma visão abrangente de como gerir ativos e implementar sistemas de gestão, a ISO 55001:2014 estabelece os requisitos para um sistema de gestão de ativos, enquanto a ISO 55002:2018 pormenoriza os requisitos técnicos específicos para setores, ativos ou atividades.

A GA visa otimizar o valor dos ativos e envolve a tomada de decisões estratégicas sobre aquisição, utilização, manutenção / reabilitação ou eliminação dos ativos para garantir que os mesmos contribuem positivamente para os objetivos da organização. Assim, procura maximizar o retorno do investimento efetuado, reduzir os custos operacionais e prolongar a vida útil dos ativos (Hastings, 2015). A GA assegura o alcance dos objetivos da organização por meio de uma gestão eficaz e eficiente dos seus ativos, de forma consistente e sustentável ao longo do tempo. Os quatro princípios fundamentais da gestão de ativos são: Valor, Alinhamento, Liderança e Garantia, devendo ser orientados para todo o ciclo de vida dos ativos na tomada de decisões (IAM, 2015).

Os pavimentos rodoviários, deterioram-se devido à solicitação do tráfego, à exposição às ações climáticas, e à falta de manutenção. Como resultado, a sustentabilidade dessas infraestruturas torna-se uma preocupação central (Uddin et al., 2013), dado que os gastos com a manutenção representam uma parcela significativa dos orçamentos destinados às infraestruturas, evidenciando a importância de investimentos contínuos nessa área.

A prática eficaz de gestão das infraestruturas é fundamentada na avaliação de desempenho, para definir parâmetros de referência, de modo a determinar quais as melhorias que devem ser priorizadas num dado momento. O cumprimento dos objetivos e critérios de desempenho pode ser medido por meio de índices específicos que caracterizam as infraestruturas, designados por indicadores de desempenho (Hastings, 2015).

No sentido de ajudar na tomada de decisão, relativamente às intervenções, as administrações rodoviárias podem utilizar diversos tipos de indicadores de desempenho, como: económicos, sociais, ambientais e de serviço (Deluka-Tibljajš et al., 2013). A análise das características dos pavimentos baseia-se exclusivamente nos indicadores de desempenho de serviço, denominados de indicadores funcionais e estruturais. Os indicadores funcionais têm por finalidade avaliar a segurança, o conforto e a economia, enquanto os indicadores estruturais avaliam a capacidade de carga dos pavimentos. Esses dois tipos de indicadores (funcionais e estruturais) são essenciais para avaliar o estado geral do pavimento, e a conjugação da informação obtida permite uma descrição eficiente das condições do pavimento, facilitando na definição de intervenções de manutenção e reabilitação.

Este trabalho tem como objetivo contribuir para identificação de indicadores de desempenho e de técnicas de monitorização alternativas para a avaliação de pavimentos em países em desenvolvimento. Nessas regiões, a escassez de equipamentos e a ausência de campanhas regulares de monitorização resultam numa manutenção insuficiente, comprometendo a durabilidade dos pavimentos e reduzindo significativamente o seu ciclo de vida.

2. Gestão de Ativos em Infraestruturas de Transporte

2.1. Sistema de Gestão de Ativos

Um Sistema de Gestão de Ativos (SGA) planeia e controla as atividades relacionadas com os ativos durante todo o seu ciclo de vida, para garantir que o seu desempenho vai ao encontro das estratégias competitivas pretendidas

pela organização (El-Akruti & Dwight, 2010). Segundo a Norma Portuguesa NP ISO 55000:2016, o SGA é composto por ferramentas e elementos inter-relacionados que sustentam a GA. O ativo é definido como sendo “um bem, uma coisa ou uma entidade, que tem um valor potencial ou real para uma organização”. Este valor do ativo pode variar de acordo com a organização em questão e as partes interessadas, podendo ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro.

2.2. Planeamento de Gestão de Ativos

A GA de qualquer organização abrange uma ampla área, que pode ir desde a identificação das expectativas dos clientes, até às operações rotineiras pré-definidas como um objetivo de serviço a ser atingido (IIMM, 2006). Assim, o planeamento é fundamental na gestão dos ativos das organizações e deve ser feito a três níveis: Estratégico, Tático e Operacional (Alegre & Covas, 2010).

O Plano Estratégico (longo prazo) da organização é definido pela sua administração e corresponde ao ponto de partida para o desenvolvimento da política, estratégia, objetivos e planos de gestão de ativos, que direcionam a combinação ideal de atividades do ciclo de vida, a serem aplicadas em todo o portfólio. O Plano Tático (médio prazo) define as opções de intervenção a serem implementadas e as suas prioridades temporais, nas quais os recursos financeiros, físicos e humanos disponíveis são distribuídos por cada departamento, visando alcançar níveis de serviço ou objetivos gerais. O Plano Operacional (curto prazo) identifica as ações imediatas a serem implementadas por cada unidade operativa, definindo os locais exatos e a cronologia de intervenção, bem como as tecnologias e os recursos a serem usados, e deve incluir um sistema de avaliação e desempenho internos.

2.3. SGA de Infraestruturas de Transporte

Um SGA de infraestruturas de transporte é constituído por conjuntos organizados de processos, tecnologias e estratégias, utilizados para gerir e otimizar as redes de transporte. Estes sistemas visam melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade das infraestruturas, envolvendo planeamento, monitorização e manutenção / reabilitação, de modo a responder às necessidades de mobilidade de pessoas e mercadorias e a promover o desenvolvimento económico. Avaliar e comunicar o desempenho dos ativos que se encontram sob a sua gestão é uma responsabilidade vital e amplamente aceite pelas organizações, conforme estabelecido na ISO 55001:2014. As entidades gestoras das infraestruturas de transportes partilham dessa responsabilidade, já que a avaliação do desempenho dos seus ativos auxilia em diferentes processos, como por exemplo, na análise de falhas e não conformidades, na análise de mecanismos de degradação, na garantia do cumprimento dos níveis de serviço estabelecidos e na identificação das necessidades de intervenção e sua priorização.

Salienta-se que, existe uma influência significativa e de longa data, inclusive ao nível da normalização, na área das infraestruturas rodoviárias, entre Portugal e os países em vias de desenvolvimento dos PALOP (Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa), no que se refere a: traçado dos pavimentos, dimensionamento dos mesmos, formulação das misturas betuminosas, classificação das patologias e níveis de severidade, desenvolvimento de cadernos de encargos, etc. Assim, optou-se por escolher como exemplo o SGA da Infraestruturas de Portugal (IP), a fim de ser adaptado às condições dos países em vias de desenvolvimento.

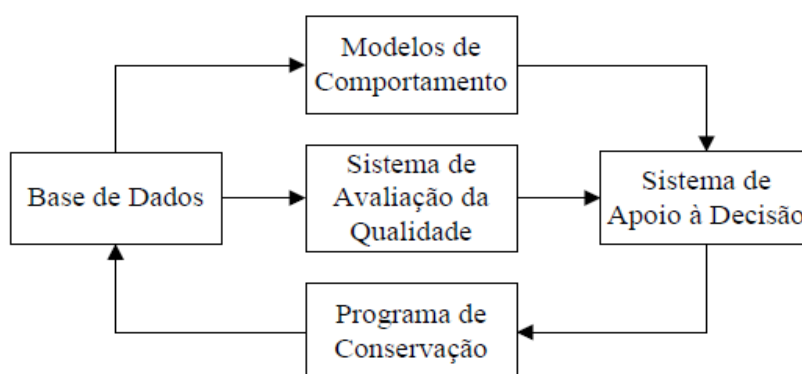
A IP é responsável por um vasto portfólio de ativos, onde se incluem infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, que constitui um desafio significativo ao nível da sua gestão integrada e harmonizada. Nas infraestruturas rodoviárias consideram-se os seguintes grupos de ativos: Estruturas de Contenção, Pavimentos Rodoviários, Obras de Arte, Equipamentos de Sinalização e Segurança, entre outros (Morgado et al., 2022). Relativamente aos pavimentos rodoviários, existe o Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP), cujo desenvolvimento ocorreu entre 2003 e 2007. Desde 2007, as inspeções principais em toda a rede de pavimentos são realizadas anualmente, com recursos humanos e de equipamentos da IP (Morgado et al., 2022). A metodologia de avaliação utiliza um Índice de Qualidade para descrever o estado do pavimento num determinado trecho, com base nos parâmetros obtidos na sua monitorização (Picado-Santos & Ferreira, 2008). Este sistema dispõe de modelos de previsão do comportamento dos pavimentos, que ajudam na identificação das necessidades de intervenção.

3. Gestão de Pavimentos Rodoviários

3.1. Sistema de Gestão de Pavimentos

O SGP é um conjunto coordenado de atividades, integrado com planejamento, construção, manutenção, avaliação e pesquisa, associado a uma base de dados, com o objetivo de otimizar os recursos disponíveis, para estabelecer programas de manutenção / reabilitação. O SGP é constituído por uma Base de Dados Rodoviários (BDR); um Sistema de Avaliação da Qualidade dos pavimentos (SAQ) e um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), como se ilustra na Figura 1 (Picado-Santos & Ferreira, 2008).

Figura 1: Estrutura de um Sistema de Gestão de Pavimentos.



Fonte: (Picado-Santos & Ferreira, 2008).

3.2. Base de Dados Rodoviários

A BDR é o ponto de partida principal e a sua fiabilidade condiciona todo o SGP, sendo uma ferramenta imprescindível. A base é configurada segundo as políticas de administração das rodovias, quer seja ao nível da rede ou do projeto, para responder às necessidades específicas relacionadas com a avaliação da qualidade dos pavimentos e a aplicação da ferramenta de apoio à decisão. Na BDR deve estar contida informação relevante sobre os pavimentos, como a geometria do perfil transversal, o histórico dos pavimentos, o tráfego, o tipo de intervenções de manutenção e os respetivos custos, e ainda informação complementar relacionada com a utilização dos modelos de previsão da evolução da degradação nos pavimentos (Picado-Santos & Ferreira, 2008).

3.3. Monitorização e Exigências dos Pavimentos

A monitorização é essencial para o planeamento da manutenção e reabilitação dos pavimentos, incluindo a monitorização e o processamento dos dados recolhidos, para identificar a necessidade de intervir e a forma de o fazer. A monitorização consiste em três vertentes principais: a inspeção visual, a caracterização funcional e a caracterização estrutural (Pereira & Miranda, 1999; Fontul, 2004; Branco et al., 2011).

A inspeção das degradações pode ser obtida a partir de três tipos de técnicas: Manual, Semiautomática e Automática. Na inspeção visual manual, o operador desloca-se a pé, ao longo do trecho, e regista as degradações observadas segundo o catálogo de patologias numa ficha de inspeção visual (Fontul, 2021). Na técnica semiautomática, o levantamento é feito por inspeção direta, por meio de um veículo, onde os registos dos resultados são feitos em suporte magnético ou em fichas de inspeção. Na técnica automática, o levantamento é feito através de filmagem vídeo, sendo o tratamento dos dados feito manualmente ou automaticamente. Na última década regista-se um desenvolvimento significativo de metodologias avançadas nesta área, tais como: Laser LiDAR (*Light Detection and Ranging*) ou filmagens com recurso a Drone (Solla et al., 2021; Fontul et al., 2023).

A avaliação das características funcionais dos pavimentos tem por objetivo definir a qualidade global do pavimento, nomeadamente ao nível do conforto, economia e segurança (Pereira & Miranda, 1999). Os principais parâmetros avaliados e os respetivos métodos de ensaio geralmente utilizados (Branco et al., 2011; Fontul, 2021), são os seguintes: «



- Irregularidade longitudinal, avaliada com Perfilómetro Laser ou Perfilómetro Inercial;
- Irregularidade transversal, avaliada com Perfilómetro Laser ou Régua (de 3 m);
- Coeficiente de atrito, avaliado com: Pendulo Britânico (atrito pontual); *GripTester* (atrito longitudinal); e *Side-way force Coefficient Routine Investigation Machine* (SCRIM) ou Mu-Meter (atrito transversal);
- Profundidade de textura, avaliada com Perfilómetro Laser ou método de Mancha de Areia.

As exigências funcionais da camada de desgaste, estão vinculadas à segurança, conforto, economia e ambiente, que afetam diretamente os utentes da rodovia, conforme indicado na Tabela 1 (Fontul, 2021).

Tabela 1: Exigências funcionais da camada de desgaste.

Características Superficiais	Segurança	Conforto	Economia	Ambiente
Regularidade Longitudinal	XX	XXXX	XXX	XX
Regularidade Transversal	XXX	XX	X	
Resistência ao Rolamento			XX	
Ruído Pneu / Pavimento		XXX		XXXX
Propriedades Refletoras	XX	XX	XX	
Aderência	XXXX		XX	X

Fonte: (Fontul, 2021).

Os principais objetivos da avaliação estrutural dos pavimentos recaem nos seguintes aspetos: identificação de zonas com comportamentos estruturais distintos, avaliação da capacidade de carga, e dimensionamento do reforço do pavimento, se necessário (Fontul et al., 2023). A avaliação estrutural pode ser feita através de métodos não destrutivos, sendo os equipamentos geralmente usados listados de seguida:

- Equipamentos de carga rolante: *Viga Benkelman*, *Deflectógrafo Lacroix*, *Curviâmetro*, *Traffic Speed Deflectometer* em que a carga é induzida pela passagem de um veículo pesado e as deflexões são medidas num ponto fixo ou em vários pontos da superfície;
- Equipamentos de carga estacionaria estática: ensaios de carga com placa;
- Equipamentos de carga estacionaria dinâmica: Defletómetro de Impacto (*Falling Weight Deflectometer*), sendo este o equipamento mais usado nos países desenvolvidos.

3.4. Avaliação da Qualidade dos Pavimentos

A avaliação da condição do pavimento é uma etapa essencial na sua gestão, uma vez que as estratégias eficazes de manutenção e reabilitação dependem de avaliações precisas e indicação da decisão a tomar (Uddin et al., 2013). Esta avaliação consiste em descrever as suas condições técnicas, considerando características físicas como deformação, rugosidade, atrito e estado estrutural. Segundo Marcelino et al. (2018), diversos indicadores são utilizados na tomada de decisões sobre intervenções em pavimentos, sendo os mais populares: o Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index — PCI*), o Índice de Serviço do Pavimento (*Pavement Serviceability Index — PSI*) da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e o Índice de Qualidade do Pavimento (IQP) da IP.

Neste trabalho serão abordados o IQP e os Indicadores de Desempenho da Ação COST 354, uma vez que são indicadores para a avaliação do estado do pavimento de particular interesse para os PALOP. A expressão usada para o IQP em Portugal é dada pela Equação (1), com os coeficientes adaptados a Portugal, a partir do IPQ aplicado no Estado do Nevada dos Estados Unidos da América (Picado-Santos & Ferreira, 2008).

$$IQP_t = 5 * e^{-0.0002598 * \frac{IRI_t}{2}} - 0.002139 * R_t^2 - 0.03 * (C_t + S_t + P_t)^{0.5} \quad (1)$$



IQP_t = Índice de Qualidade do Pavimento no ano t ; IRI_t = irregularidade longitudinal do pavimento (*International Roughness Index* — IRI) no ano t (mm/km); R_t = profundidade média das rodeiras no ano t (mm); C_t = área com fendilhamento no ano t (m²/100m²); S_t = área com degradação superficial de materiais (covas e peladas) no ano t (m²/100m²); P_t = área com reparações no ano t (m²/100m²).

O IQP_t pode variar entre 0 (pior estado) e 5 (melhor estado), considerando-se que as secções do pavimento: com IQP_t inferior a 1,5 estão em "Mau" estado e necessitam de intervenção; com IQP_t entre 1,5 e 2,5 estão em "Mau" estado; com IQP_t entre 2,5 e 3,5 estão em "Razoável" estado; e com IQP_t superior a 3,5 estão em "Bom" estado (Horta et al., 2013). Este índice pode fazer uma avaliação geral do estado da rede, permitindo a identificação de segmentos rodoviários em que as intervenções de manutenção / reabilitação são necessárias.

3.5. Indicadores de Desempenho dos Pavimentos

No âmbito da Ação COST 354 (Litzka et al., 2008), o Indicador de Desempenho (*Performance Indicator* — PI) é uma representação do estado de um pavimento, podendo ser expresso através de um parâmetro técnico dimensional ou através de um índice adimensional. Um parâmetro técnico é uma característica física do estado do pavimento, obtida através de medições ou outros métodos, enquanto um índice de desempenho é um número adimensional obtido a partir do parâmetro técnico, utilizando uma função de transferência.

Os Indicadores de Desempenho Individuais (*Individual Performance Indicator* — IPI) representam um único parâmetro técnico e podem ser combinados para formar PI Pré-Combinados e Combinados (PCPI e CPI), representando o desempenho funcional e estrutural de um pavimento. Um PI é "pré-combinado" se estiver relacionado com duas ou mais características físicas semelhantes (por exemplo, "fendilhação isolada" e "fendilhação pele de crocodilo"), e é "combinado" se estiver relacionado com duas ou mais características físicas diferentes, isto é, não semelhantes. Na combinação dos PCPI e dos CPI obtém-se os PI Globais ou Gerais (GPI) (Litzka et al., 2008).

A Ação COST 354 define os IPI: Irregularidade longitudinal (**IRI-PI_E**), Irregularidade transversal (**RD-PI_R**), Macrotextura ou textura superficial (**MPD-PI_T**), Atrito ou microtextura (**SFC-PI_F**) e Capacidade de carga (**PI_B**); os PCPI: Fendilhamento (**PI_{CR}**) e Defeito da superfície (**PI_{SB}**); e os CPI: Conforto, Segurança e Condição estrutural (Litzka et al., 2008).

3.5.1. Indicadores de Desempenho Individuais

Os IPI vinculados às exigências funcionais, propostos para descreverem o estado dos pavimentos da IP, são apresentadas na Tabela 2, onde estão referenciados os parâmetros técnicos, o nome do indicador e respetiva unidade, bem como as funções de transferência da Ação COST 354 (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018). No âmbito desta ação: cada parâmetro técnico possui um indicador de desempenho correspondente; o desenvolvimento das funções de transformação é essencial, para criar um procedimento aplicável a uma grande diversidade de utilizadores; a seleção do indicador de desempenho mais adequado, para um parâmetro técnico específico, é feita de acordo com um conjunto de critérios definidos pelos peritos.

Tabela 2: Indicadores de desempenho individuais funcionais.

Parâmetro Técnico	Indicador e Unidade	Função de Transferência
Irregularidade Longitudinal	IRI (mm/m)	$PI_E = \text{Max} (0 ; \text{Min} (5 ; 0,1733 \times IRI^2 + 0,7142 \times IRI - 0,0316))$
Irregularidade Transversal	RD (mm)	$PI_R = (-0,0015 \times RD^2) + 0,2291 \times RD$ [se $RD < 26,4\text{mm}$] $PI_R = 5$ [se $RD \geq 26,4\text{mm}$]
Textura Superficial	MPD (mm)	$PI_T = 6,6 - 5,3 \times MPD$
Resistência à Derrapagem (Atrito)	SFC (0 a 1) a 60 km/h	$PI_F = \text{Max} (0; \text{Min} (5; - 17,6 \times SFC + 11,205))$

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).



As funções de transferência têm a finalidade de transformar os parâmetros técnicos em indicadores de desempenho adimensionais, os quais avaliam os parâmetros técnicos numa escala de 0 (melhor estado) a 5 (pior estado), como é ilustrado Tabela 3.

Tabela 3: Avaliação dos indicadores de desempenho individuais funcionais.

Indicador e Unidade	Avaliação e Valor dos: (PI _E), (PI _R), (PI _T), (PI _F)				
	Muito Bom (0-1)	Bom (1-2)	Médio (2-3)	Pobre (3-4)	Muito Pobre (4-5)
IRI (mm/m)	0 - 1,1	1,1 - 1,9	1,9 - 2,6	2,6 - 3,2	3,2 - 3,7
RD (mm)	0 - 4,7	4,7 - 9,9	9,9 - 15,5	15,5 - 21,8	21,8 - 29,0
MPD (mm)	1,25 - 1,06	1,06 - 0,87	0,87 - 0,68	0,68 - 0,49	0,49 - 0,30
SFC (0 a 1) a 60 km/h	0,64 - 0,58	0,58 - 0,52	0,52 - 0,47	0,47 - 0,41	0,41 - 0,35

Fonte: (Litzka et al., 2008).

Os IPI estruturais, propostos para serem considerados, são o Índice de Curvatura Superficial (SCI_{300}), ou a Relação entre Vida Residual e Vida de Projeto (R/D), dependendo da disponibilidade de dados (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018), conforme apresentado na Tabela 4 e avaliado de acordo com a Tabela 5.

Tabela 4: Indicadores de desempenho individuais estruturais.

Parâmetro Técnico	Indicador e Unidade	Função de Transferência
Condição Estrutural	SCI_{300} (μm)	$PI_B = SCI_{300} / 129$
	R/D	$PI_B = \text{Max} (0; \text{Min} (5; 5 \times (1-R/D)))$

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).

O valor do SCI_{300} é calculado como a diferença normalizada entre as deflexões d_0 e d_{300} , obtidas em ensaios de carga com Defletômetro de Impacto, com uma força de impacto de 65 kN. Na ausência de defletômetro de impacto, a deflexão pode ser obtida a partir do ensaio de carga com Viga *Benkleman*. A Vida Residual pode ser calculada utilizando a Equação (2), sendo definida como o número de passagens de um eixo de referência, necessário para que um pavimento atinja o estado de ruína, num determinado momento da sua vida útil. Este cálculo em cada momento é influenciado pelo tráfego passado e pelo critério de ruína (Freitas & Pereira, 2001).

$$R = N_a - N_p \tag{2}$$

R = vida residual; N_a = número admissível de passagens correspondente ao critério de dimensionamento condicionante; N_p = número de passagens correspondentes ao tráfego passado.

Tabela 5: Avaliação dos indicadores de desempenho individuais estruturais.

Indicador e Unidade	Avaliação e valor do (PI _B)				
	Muito Bom (0-1)	Bom (1-2)	Médio (2-3)	Pobre (3-4)	Muito Pobre (4-5)
SCI_{300} (μm)	0 - 129	129 - 258	258 - 387	387 - 516	516 - 645
R/D	1,0 - 0,8	0,8 - 0,6	0,6 - 0,4	0,4 - 0,2	0,2 - 0,0

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).



3.5.2. Indicadores de Desempenho Pré-Combinados

Os parâmetros técnicos Fendilhamento e Defeito da superfície são divididos em subcategorias, por isso a Ação COST 354 definiu PCPI que conjugam as respectivas subcategorias num valor único para cada tipo. Assim, estes parâmetros são calculados como a soma ponderada de diferentes tipos e dimensões de fendilhamento e de defeitos da superfície, em relação à área de referência, resultando numa taxa de fendilhamento (*cracking rate* – CR) e em defeitos da superfície (*surface defects* – SD) (Marcelino et al., 2018). Na Tabela 6 apresentam-se os dois parâmetros técnicos, o nome e respetiva unidade dos indicadores, bem como as funções de transferência.

Tabela 6: Indicadores de desempenho pré-combinados.

Parâmetro Técnico	Indicador e Unidade	Função de Transferência
Fendilhamento	Taxa de Fendas (%)	$PI_{CR} = \text{Max} (0; \text{Min} (5; 0,16 \times CR))$
Defeito da Superfície	PI_{SD} (%)	$PI_{SD} = \text{Max} (0; \text{Min} (5; 0,1333 \times SD))$

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).

No caso do fendilhamento, os diferentes tipos de fendas (linear, ramificada, pele de crocodilo, etc.) são combinados de modo a obter o parâmetro de fendilhamento (TP_{CR}), e o mesmo acontece no caso do defeito da superfície (TP_{SD}), de acordo com o expresso nas Equações 3 a 6.

$$TP_i = \min (100; TP_{i,L}; TP_{i,A}; TP_{i,E}) \quad (3)$$

$$TP_{i,L} = \min (100; \frac{1}{A_{ref}} * \sum_n [W_n * I_l * \sum_i (S_i * L_i)] * 100) \quad (4)$$

$$TP_{i,A} = \min (100; \frac{1}{A_{ref}} * \sum_m [W_m * I_l * \sum_i (S_i * A_i)] * 100) \quad (5)$$

$$TP_{i,E} = \min (100; \frac{1}{A_{ref}} * \sum_0 [W_0 * I_A * \sum_i (S_i * E_i)] * 100) \quad (6)$$

$TP_{i,L}$ = taxa de comprimento de degradação (%); $TP_{i,A}$ = taxa de área de degradação (%); $TP_{i,E}$ = taxa de elemento de degradação (%); A_{ref} = área de referência; W_m = peso da área de degradação; S_i = nível de severidade de degradação tipo i ; A_i = área de degradação tipo i ; W_n = peso do comprimento de degradação; I_l = largura de influência padrão de fendas lineares (0,5 m); L_i = comprimento de degradação tipo i ; W_0 = peso de elemento de degradação; I_A = área padrão de elementos com degradação; E_i = número de elementos com degradação tipo i .

3.5.3. Indicadores de Desempenho Combinados

Os CPI são calculados considerando os indicadores de segurança, de conforto e de condição estrutural, podendo ainda ser incorporados indicadores ambientais. Estes índices são determinados usando a Equação 7.

$$CPI = \min (5; I_1 + \frac{P}{100} * \mu (I_2, I_3; \dots \dots \dots, I_n)) \quad (7)$$

CPI = indicador de desempenho combinado; I_1 = máximo ponderado de indicador de desempenho individual (IPI); P = fator de influência que controla a influência total dos IPI (%); $\mu (I_2, I_3, I_4, \dots, I_n)$ = valor médio ponderado dos restantes IPI.

Cada CPI é obtido da combinação de diferentes IPI nos seguintes três níveis de aplicação específicos: mínimo, padrão e ótimo, conforme ilustrado na Tabela 7.



Tabela 7: Parâmetro de entrada para indicadores de desempenho combinados.

Indicadores	Nível		
	Mínimo	Padrão	Ótimo
Conforto	PI _E	PI _E , PI _R , PI _{SD}	PI _E , PI _R , PI _T , PI _{CR} , PI _{SD}
Segurança	PI _F	PI _F , PI _R , PI _T	PI _F , PI _R , PI _T , PI _{SD, cat1} *, PI _{SD, cat2} *
Estrutural	PI _B	PI _B , PI _{CR}	PI _B , PI _{CR} , PI _E , PI _R
Ambiental			PI _E ou pa, PI _T ou r, PI _{SD, cat2}

*apenas exsudação; pa — poluição do ar; r — ruído

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).

A Ação COST 354 propõe um conjunto de ponderações para a avaliação de cada CPI, que indica o grau de importância de cada parâmetro técnico, sendo 0 de importância nula e 1 de importância máxima, como indicado na Tabela 8, e recomenda um fator de influência (P) com uma variação entre 10 e 20 (ver Equação 7).

Tabela 8: Ponderações dos indicadores de desempenho combinados no nível ótimo.

Parâmetro Técnico	Conforto	Segurança	Estrutural
Irregularidade Longitudinal (PI _E)	1,0	0,0	0,6
Irregularidade Transversal (PI _R)	0,7	0,9	0,5
Textura Superficial (PI _T)	0,4	0,6	0,0
Resistência a Derrapagem (PI _F)	0,0	0,9	0,0
Condição Estrutural (PI _B)	0,0	0,0	1,0
Fendilhamento (PI _{CR})	0,5	0,0	0,9
Defeitos de Superfície (PI _{SD})	0,6	0,6	0,0

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).

3.5.4 Indicadores de Desempenho Geral

O GPI avalia a condição global dos pavimentos e pode ser usado para analisar futuras estratégias de Manutenção / Reabilitação. O cálculo do GPI segue uma abordagem semelhante ao CPI, conforme descrito pela Equação 8.

$$GPI = \min \left(5; I_1 + \frac{P}{100} * \mu * (I_2, I_3 \dots \dots \dots, I_n) \right) \quad (8)$$

GPI = indicador de desempenho global ou geral; I₁ = máximo ponderado de indicador de desempenho combinado (CPI); P = fator de influência que controla a influência total dos CPI; μ (I₂, I₃, I₄, ..., I_n) é o valor médio ponderado dos restantes CPI

Na Tabela 9 são apresentadas as ponderações dos GPI para cada categoria de rodovia (autoestrada, estrada principal, estrada secundária e outras). Recomenda-se que estes valores de ponderação, propostos pela Ação COST 354, sejam avaliados relativamente à sua plausibilidade, conforme o contexto de utilização, os objetivos e as demais condições prévias, antes de serem aplicados.

Tabela 9: Ponderações dos GPI ao nível ótimo.

GPI	Autoestrada	Estrada Principal	Estrada Secundária e Outras
Conforto	1,00	1,00	1,00
Segurança	0,70	0,70	0,65
Estrutural	0,65	0,80	1,00
Ambiental	0,25	0,30	0,35

Fonte: (Litzka et al., 2008; Marcelino et al., 2018).



4. Aplicação em Países em Vias de Desenvolvimento

No âmbito do trabalho desenvolvido, e no que diz respeito à inspeção visual, concluiu-se que a técnica semiautomática ou automática seria a ideal para ser implementada nos Países em Vias de Desenvolvimento (PVD), uma vez que fornece resultados credíveis e a um baixo custo.

Na avaliação das características funcionais, é de salientar que as alternativas aos meios de ensaios automáticos, que recorrem a equipamentos dispendiosos, passam pela utilização de: Pendulo Britânico na avaliação do atrito, Régua (de 3 m) na avaliação da irregularidade transversal, e Mancha de Areia na avaliação de textura superficial. Na ausência de equipamento, dedicado, com recurso a laser para medição do IRI, este poderá ser calculado com base nos resultados da inspeção visual, no caso dos pavimentos flexíveis, a partir da Equação 9, e estimado de acordo com os critérios apresentados na Tabela 10.

$$IRI = \frac{Nível * Comprimento afetado}{Comprimento total do troço em estudo} \quad (9)$$

IRI = irregularidade longitudinal; Nível = Nivel de gravidade das patologias existentes (Nível 1, Nível 2 e Nível 3); Comprimento afetado = comprimento que é afetado por cada nivel de gravidade; Comprimento total do troço em estudo = comprimento total do troço em estudo.

Tabela 10: Valores para o cálculo do IRI.

Degradação	Intervalo	Condição	Nível	IRI
Fendilhamento, Rodeiras, Peladas, etc.	≤1,25	≤	1	Tipo 1 IRI = 1500mm/km
		≤	1	
		≤	1	
Fendilhamento, Rodeiras, Peladas, etc.	>1,25 e <2,25			Tipo 2 IRI = 2500mm/km
Fendilhamento, Rodeiras, Peladas, etc.	≥2,25	=	3	Tipo 3 IRI = 3500mm/km
		=	3	
		≥	2	

Fonte: Adaptado de (Picado-Santos, 2011).

No caso da avaliação da capacidade de carga, a técnica do ensaio de carga com placa é considerada a alternativa mais adequada, pois é a mais simples e mais económica em relação às demais, mesmo sendo mais morosa. Salienta-se, ainda, que é possível obter uma indicação da capacidade estrutural do pavimento a partir do conhecimento do *California Bearing Ratio* (CBR) do solo de fundação (conhecendo o CBR estima-se o modulo de elasticidade).

O método de avaliação apresentado pela Ação COST 354 proporciona uma análise mais profunda na avaliação da qualidade dos pavimentos, uma vez que engloba vários indicadores de desempenho, sendo considerado o mais indicado. Na Tabela 11 apresenta-se a correlação entre os indicadores de desempenho descritos e a monitorização. Nesta tabela são mencionados os equipamentos de alta resolução usados para a monitorização e as alternativas que podem ser aplicadas nos países em via de desenvolvimento. Contudo, é de salientar que, independentemente de existirem técnicas alternativas para monitorização, não se pode descurar o investimento em equipamentos mais modernos e expeditos para tal efeito, uma vez que, para além de fornecer resultados imediatos, contribui também para a segurança dos técnicos que efetuam o levantamento das degradações existentes nas rodovias em avaliação.



Tabela 11: Correlação entre indicadores e monitorização de pavimentos.

	Indicador	Equipamentos	Alternativas PVD	Indicadores									
				IQP	PSI _{est}	PI _E	PI _R	PI _T	PI _F	PI _{CR}	PI _{SD}	PI _B	
Monitorização de Pavimento	IRI	Laser	Inspeção Visual	√		√							
	Rodeiras	Laser	Inspeção Visual Régua de 3m	√									
	Textura	Laser	Mancha de Areia					√					
	Atrito	Grip-Tester	Pendulo Britânico						√				
	Fendilhamento	Videografia, LiDAR	Inspeção Visual	√			√			√			
	Reparações	Videografia, LiDAR	Inspeção Visual	√									
	Degradações Superficiais	Videografia, LiDAR	Inspeção Visual	√								√	
	Deflexões/ Capacidade de Suporte	FWD, TSD	Ensaio de Carga com Placa			√							√
	Espessuras das Camadas	GPR	Carotes, Poços			√							
	CBR	Laboratório				√							

Fonte: Adaptado de (Brito, 2021).

5. Conclusão

Este estudo teve como objetivo analisar indicadores de desempenho e técnicas alternativas de monitorização de pavimentos, a ser aplicadas nos países em vias de desenvolvimento, tendo em consideração que a inspeção de pavimentos é essencial para o apoio à tomada de decisão dentro de um sistema de gestão de pavimentos. Assim, apresenta-se uma correlação entre os indicadores de desempenho e a monitorização, especificando as técnicas alternativas a ser implementadas em países em vias de desenvolvimento.

As alternativas apresentadas podem ser consideradas adequadas, dado que se trata da utilização de equipamentos simples, apesar de se tratar de métodos mais morosos e com resultados localizados, mas que apresentam resultados fiáveis na avaliação da qualidade dos pavimentos.

Nos países em vias de desenvolvimento, normalmente, os investimentos são direcionados para outras vertentes, esquecendo que as infraestruturas de transporte são o pilar de desenvolvimento económico de qualquer país. Verificou-se que, com alternativas simples e de baixo custo, é possível contribuir para uma melhor manutenção e reabilitação dos pavimentos rodoviários.

Agradecimentos

Agradece-se o apoio financeiro da FCT — Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., no âmbito da Bolsa de Doutoramento PRT/BD/151572/2021.

Referências

Alegre, H., & Covas, D. (2010). *Gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água: Uma abordagem centrada na reabilitação*. ERSAR, LNEC e IST. ISBN: 978-989-8360-04-5.

Branco, F., Pereira, P., & Santos, L. P. (2011). *Pavimentos rodoviários*. Edições Almedina. ISBN: 9789724026480.

Brito, R. G. (2021). *Gestão de infraestruturas rodoviárias — Importância de monitorização e dos indicadores de desempenho para as tomadas de decisão* [dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa].

- Deluka-Tibljša, A., Karleuša, B., & Dragičević, N. (2013). Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure. *Građevinar*.
- El-Akruti, K. O., & Dwight, R. (2010). Research methodologies for engineering asset management. In *ACS PRI Social Science Methodology Conference*. University of Wollongong.
- Fontul, S. (2004). *Structural evaluation of flexible pavements using non-destructive tests* [tese de doutoramento, Universidade de Coimbra]. Repositório Científico da Universidade de Coimbra. <https://hdl.handle.net/10316/15738>
- Fontul, S. (2021). *Infraestruturas rodoviárias e ferroviárias* [apontamentos da disciplina]. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Fontul, S., Neves, J., & Gomes, S. V. (2023). Monitoring of pavement structural characteristics. In C. Chastre, J. Neves, D. Ribeiro, M. G. Neves, & P. Faria (Eds.), *Advances on testing and experimentation in civil engineering* (pp. 143–156). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05875-2_8
- Freitas, E., & Pereira, P. (2001). Estado da evolução do desempenho dos pavimentos rodoviários flexíveis. *Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho*, (11).
- Hastings, N. A. J. (2015). *Physical asset management: With an introduction to ISO 55000* (2.ª ed.). Springer.
- Horta, C. S., Pereira, F. C., Lopes, S., & Morgado, J. (2013). O sistema de gestão de conservação de pavimentos da Estradas de Portugal, S.A.: Balanço de uma implementação consolidada. In *Proceedings of the 7th Portuguese Road Congress*.
- IAM. (2015). *Asset management — An anatomy* (Vol. 3). The Institute of Asset Management.
- IIMM. (2006). *International infrastructure management manual* (Version 3.0). Association of Local Government Engineering NZ Inc. (INGENIUM).
- Instituto Português da Qualidade. (2016). *NP ISO 55000: Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia*.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology*.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55001: Asset management — Management systems — Requirements*.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 55002: Asset management — Management systems — Guidelines for the application of ISO 55001*.
- Litzka, J., Leben, B., La Torre, F., Weninger, A., Antunes, M. L., Kokot, D., Mladenovic, G., Brittain, S., & Viner, H. (2008). The way forward for pavement performance indicators across Europe. *COST Action 354: Performance Indicators for Road Pavements*. <http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/17659>
- Marcelino, P., Antunes, M., & Fortunato, E. (2018). Comprehensive performance indicators for road pavement condition assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(11), 1433–1445. <https://doi.org/10.1080/15732479.2018.1446179>
- Morgado, J., Serra, M., Amado, J., & Pinheiro, M. M. (2022). Indicadores de desempenho dos ativos das redes rodo e ferroviárias como ferramenta para a otimização da sua gestão. In *10.º CRP — Congresso Rodoferroviário Português*. LNEC.
- Pereira, P., & Miranda, C. M. V. (1999). *Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários*. Tipografia Barbosa & Xavier.



Picado-Santos, L. (2011). *Gestão da conservação de pavimentos de infraestruturas de transportes*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura.

Picado-Santos, L., & Ferreira, A. (2008). Contributions to the development of the Portuguese Road Administration's Pavement Management System. In *Proceedings of the 3rd European Pavement and Asset Management Conference* (Paper 1138).

Santos, J. M. (2018). *Aplicação da norma ISO 55000 na gestão de ativos de um empreendimento de ecoturismo* [dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto]. Repositório P.PORTO. <http://hdl.handle.net/10400.22/14057>

Solla, M., Pérez-Gracia, V., & Fontul, S. (2021). A review of GPR application on transport infrastructures: Troubleshooting and best practices. *Remote Sensing*, 13(4), 672.

Uddin, W., Hudson, W. R., & Haas, R. (2013). *Public infrastructure asset management* (2.^a ed.). McGraw Hill.

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Bolsa de Doutoramento PRT/BD/151572/2021 da FCT. **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.

Aplicación del Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) alineado a un proceso integral de Gestión de Activos. Caso de estudio: SINEA Perú

Application of the Maintenance Management Model (MGM) aligned with an Asset Management process. Case study: SINEA Peru

[10.29073/rae.v3i1.968](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.968)

Recebido: 2 de junho de 2024.

Aprovado: 27 de janeiro de 2025.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a 1: Carlos Parra, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, carlos.parram@usm.cl.

Autor/a 2: Carlos Morán, SMI, Planta SINEA, Peru, amoran@sv.smi.com.pe.

Autor/a 3: Andrés Aránquiz, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, andres.aranguiz@usm.cl.

Autor/a 4: Félix Pizarro, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, felix.pizarro@usm.cl.

Autor/a 5: Pablo Duque, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, pablo.duque@usm.cl.

Autor/a 6: Vicente González-Prida, Universidad de Sevilla, Espanha, vgonzalezprida@us.es.

Autor/a 7: Jorge Parra, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, jorpe.parra@utp.ac.pa.

Resumo (ES)

La efectividad de un proceso integral de gestión del mantenimiento y de la confiabilidad, puede ser evaluada, a partir del análisis detallado de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la aportación del mantenimiento a los procesos de operación y producción de un activo industrial. No hay fórmulas simples que permitan diseñar un modelo integral de mantenimiento y confiabilidad dentro de un proceso de gestión de activos (bajo el enfoque del estándar ISO 55001), tampoco hay reglas fijas o inmutables con validez para siempre y aplicables de la misma forma para todos los activos de producción. En función de los argumentos expuestos, el objetivo principal de este artículo consiste, en presentar un resumen del proyecto de implantación de la herramienta AMORMS (Asset Management, Operational Reliability Survey), basada en el Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM) desarrollado por INGEMAN, en la Planta SINEA PERÚ, empresa líder en Latinoamérica en la fabricación industrial de envases de plástico reciclado para bebidas comerciales (preformas PET — Tereftalato de Polietileno).

A continuación, se describen los aspectos de mayor relevancia desarrollados en el proyecto y que serán analizados en el presente artículo:

- Identificación de los factores claves que ayuden a mejorar el desempeño de los activos a partir de la aplicación de técnicas de optimización de gestión del mantenimiento y de ingeniería de confiabilidad, integradas a un modelo de Gestión de Activos.
- Evaluación de los procesos críticos del Modelo de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad (MGM) propuesto, bajo el marco de referencia de un proceso de Gestión de Activos (normas relacionadas: UNE 16646 e ISO 55001).
- Propuesta de conformación de un grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad, orientado a implementar las acciones propuestas a partir de la aplicación del MGM.
- Análisis de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS: Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey); y de las técnicas de RCA (Root Cause Analysis) y RCM (Reliability Centered Maintenance), en un área piloto de la Planta SINEA PERÚ.

Finalmente, se describen las recomendaciones y planes de acción de mayor impacto, que ayudarán a la organización SINEA PERÚ, a consolidar la eficacia de sus procesos de gestión del mantenimiento y de la confiabilidad y a optimizar de forma eficiente, el valor de sus activos industriales a lo largo del ciclo de vida útil.

Palavras-Chave: Activos; Confiabilidad; Gestión; Mantenimiento; Riesgos.

Abstract

The effectiveness of a comprehensive maintenance and reliability management process can be evaluated through a detailed analysis of a wide variety of factors that, together, constitute the contribution of maintenance to the operation and production processes of an industrial asset. There are no simple formulas that allow the design of a comprehensive maintenance and reliability model within an asset management process (under the ISO 55001 standard). There are also no fixed or immutable rules that are universally valid and applicable in the same way to all production assets. Based on the arguments presented, the main objective of this article is to present a summary of the implementation project of MGM: Maintenance Management Model developed by INGEMAN, at the SINEA PERÚ Plant, a leading company in Latin America in the industrial manufacturing of recycled plastic containers for commercial beverages (PET — Polyethylene Terephthalate preforms).

Next, the most relevant aspects developed in the project and that will be analyzed in this article are described:

- Identification of key factors that help improve asset performance through the application of maintenance management optimization techniques and reliability engineering, integrated into an Asset Management Model.
- Evaluation of critical processes of the proposed Maintenance and Reliability Management Model (MGM) under the framework of an Asset Management process (related standards: UNE 16646 and ISO 55001).
- Proposal for the formation of a Reliability Engineering support group aimed at implementing the proposed actions based on the application of the MGM.
- Analysis of the results obtained from the application of the diagnostic tool AMORMS: Asset Management, Operational Reliability, and Maintenance Survey); and from the techniques of RCA (Root Cause Analysis) and RCM (Reliability Centered Maintenance), in a pilot area of the SINEA PERÚ Plant.

Finally, the recommendations and action plans with the greatest impact are described, which will help the SINEA PERÚ organization consolidate the effectiveness of its maintenance and reliability management processes and efficiently optimize the value of its industrial assets throughout their life cycle.

Keywords: Assets; Maintenance; Management; Reliability; Risks.

1. Introducción a un Proceso Integral de Gestión de Mantenimiento

Tal como se define en las normas europeas UNE EN 16646: 2014 y UNE EN 13306: 2002, la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que: determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permitirá luego, en el día a día, implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización [1].

Se puede demostrar [1, 2] que, para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, es posible conseguir los anteriores puntos entendiendo bien los dos siguientes aspectos:

El proceso de gestión de mantenimiento, que tiene un curso de acción, es decir una serie de pasos a seguir y;

El modelo general de referencia para la gestión, es decir la estructura básica de soporte constituida por una serie de herramientas que conforman un sistema básico, que es necesario para una gestión avanzada del mantenimiento y de la confiabilidad [2].

El proceso de gestión de mantenimiento podemos dividirlo en dos partes principales [3]:



- La definición de la estrategia de mantenimiento;
- La implementación de la estrategia de mantenimiento.

La primera de estas partes, el proceso de definición de la estrategia de mantenimiento requiere la definición de los objetivos de mantenimiento como “input” del mismo. Obviamente, los objetivos de mantenimiento emanan directamente del plan de negocio de la organización en cuestión. Diseñar estrategias de mantenimiento que estén alineadas con los planes de negocio es un aspecto clave y condiciona la consecución de los objetivos del mantenimiento y en última estancia los reseñados en el plan de negocio de la organización [4, 5].

La segunda parte del proceso, la implementación de la estrategia tiene un distinto nivel de importancia y tienen que ver con nuestra habilidad para asegurar niveles adecuados de formación del personal, de preparación de los trabajos, con la selección de las herramientas adecuadas para realizar las diferentes tareas o, por ejemplo, con el diseño y consecución de la ejecución a tiempo de los diferentes programas de mantenimiento [6].

2. Propuesta de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)

A continuación, se concreta lo anteriormente comentado de forma sencilla y práctica, pensando siempre en facilitar a los gestores de mantenimiento la aplicación de los conceptos anteriores. Se presenta una propuesta de modelo genérico de gestión del mantenimiento (MGM) desarrollado por INGEMAN, España [1, 2, 7, 8], que tiene en cuenta e integra muchos de los modelos encontrados en la literatura hasta la fecha, o de los empleados en la práctica en empresas de amplia tradición y excelencia en este campo [9, 10, 11]. El modelo de gestión del mantenimiento (MGM) propuesto está compuesto por ocho bloques (Figura 1), que distinguen y caracterizan acciones concretas a seguir en los diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento. Es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado que intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en este proceso de gestión para asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo [12, 13, 14].

Tal y como se indica en la figura de referencia del MGM, los primeros tres bloques condicionan la eficacia de la gestión, los siguientes bloques aseguran la eficiencia y su mejora continua de la siguiente forma: Los bloques 4 y 5 incluyen acciones para la planificación y programación del mantenimiento, incluyendo por supuesto la planificación de la capacidad del departamento de mantenimiento. Los bloques 6 y 7 están dedicados a la evaluación y control del mantenimiento y del coste de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Finalmente, el bloque 8 se centra en acciones para asegurar la mejora continua de la gestión.

Figura 1: Modelo de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad (MGM) [1, 2].





3. Caso de Estudio: Aplicación del MGM en la Organización SMI - Planta SINEA Perú

En los párrafos siguientes se presenta el caso práctico de aplicación del MGM en la Planta SINEA Perú (planta de envases PET (Tereftalato de Polietileno)). El proceso de implementación del MGM en la planta de envases PET, se inició con la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS: Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey [15, 16], la cual, permite evaluar y definir las áreas de oportunidad de la Planta SINEA con respecto a las 8 fases propuestas en el MGM.

En la Planta SINEA PERÚ — SMI, actualmente, existen instaladas 15 líneas de compresión en la planta matriz de SINEA Perú, éstas se dedican a fabricación de tapas de plástico a través del proceso de compresión. Asimismo, el 100% de las máquinas pertenecen a la marca italiana SACMI. Las cuales se agrupan en función a la cantidad de herramientas que poseen, se puede encontrar de 24, 32, 48 y 64 moldes.

3.1. Procedimiento General de la Auditoría AMORMS

La auditoría denominada AMORMS: ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY, desarrollada por Parra y Crespo [2], está diseñada bajo el enfoque de la gestión de activos y permite evaluar las 8 fases propuestas por el modelo de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad (MGM) (table 1). Las áreas a ser revisadas con la herramienta AMORMS son:

1. Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIs) y organización de soporte
2. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)
3. Análisis de problemas (manejo de fallas)
4. Procesos de programación y planificación
5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico
6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM
7. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida
8. Procesos de revisión y mejora continua

El proceso de análisis de las 8 áreas a diagnosticar se realiza a partir de un cuestionario guía de 150 preguntas. Cada participante evaluará cada una de las preguntas propuestas, asignando puntuaciones que irán desde el 0 hasta el 5, en función de la siguiente escala:

Tabla 1: Escala de evaluación Auditoría AMORMS.

Puntuación	Evaluación
0–1	Proceso muy deficiente
1–2	Proceso debajo del promedio
2–3	Proceso estándar promedio
3–4	Proceso con muy buenas prácticas
4–5	Proceso a nivel de Clase Mundial

3.1. Resultados Generales de la Auditoría AMORMS en la Planta SINEA Perú — SMI

La Figura 2 y la Tabla 2 presenta un resumen de los resultados de la auditoría AMORMS, ejecutada durante el período Enero–Mayo del 2023.



Figura 2: Resultados de la Auditoría AMORMS en Planta SINEA PERÚ.

Resultados Auditoría AMORMS
Organización: SMI
PLANTA SINEA PERÚ / MAYO 2023

Áreas Evaluadas	Calificación	Escala de calificación
1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	2,16	0 – 1 Proceso muy deficiente 1 – 2 Proceso debajo del promedio 2 – 3 Proceso estándar promedio
2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	2,23	3 – 4 Proceso con muy buenas prácticas 4 – 5 Proceso a nivel de Clase Mundial
3. Análisis de problemas (manejo de fallas)	1,96	•Puntuación promedio obtenida desviación estándar muestra: 0,19): 2.032 de un máximo de 5 puntos - Categoría obtenida: Proceso estándar promedio (5 categorías, se obtuvo la categoría 2 - 3)
4.Procesos de programación y planificación	1,87	
5.Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2,19	
6.Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	1,89	
7.Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	1,78	
8.Procesos de revisión y mejora continua	2,18	

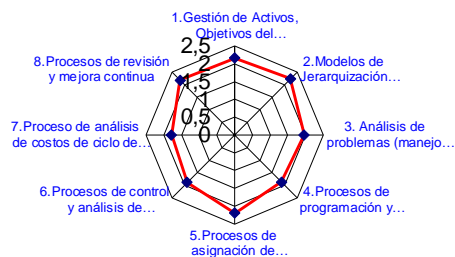


Tabla 2: Resumen de las preguntas “peor y mejor” evaluadas Auditoría AMORMS.

Tema de evaluación	Resultados
Resumen de resultados	Puntuación promedio obtenida: 2.032 de un máximo de 5 puntos Categoría obtenida: Proceso estándar promedio (5 categorías, se obtuvo la categoría 2–3) (muestra 16 personas diferentes áreas, desviación estándar de la muestra 0,19)
Preguntas peor evaluadas	# 7.1.3. ¿Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos? (valor promedio: 1,39) # 6.1.2. ¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos? (valor promedio: 1,47) # 3.1.4. ¿El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por equipos interdisciplinarios que permitan validar con hechos reales las causas encontradas? (valor promedio: 1.52) # 6.1.3. ¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente? (valor promedio: 1,71)
Preguntas mejor evaluadas:	# 8.1.1. ¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento? (valor promedio: 2.39) # 5.1.1. ¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento? (valor promedio: 2.37)
Resultados por área	1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte (valor obtenido: 2,16) Preguntas peor evaluadas: # 1.5.2. ¿Los procesos de control financiero, se aplican a partir del análisis de los KPIS claves de forma continua y no de forma eventual? (valor: 1,86) # 1.5.5. ¿El proceso de análisis y control de los KPIS financieros, está integrado con el análisis de los indicadores técnicos y económicos de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?? (valor: 1,82) Pregunta mejor evaluada: # 1.4.1. ¿Existe de forma general una estructura organizacional bien definida? (valor: 2.21) 2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos) (valor obtenido: 2,23) Pregunta peor evaluada: # 2.2.3. ¿La información utilizada para estimar la frecuencia de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz? (valor: 1,98) Pregunta mejor evaluada: # 2.3.2. ¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente? (valor: 2.25) 3. Análisis de problemas (manejo de fallas) (valor obtenido: 1,96)

Pregunta peor evaluada:

3.1.4. ¿El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por equipos interdisciplinarios que permitan validar con hechos reales las causas encontradas? (valor: 1,52)

Pregunta mejor evaluada:

3.2.3. ¿Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos? (valor: 2,12)

4. Procesos de programación y planificación (valor obtenido: 1,87)

Pregunta peor evaluada:

4.1.5. ¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias? (valor: 1,76)

Pregunta mejor evaluada:

4.4.2. ¿La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento? (valor: 2,16)

5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico (valor obtenido: 2,19)

Pregunta peor evaluada:

5.1.5. ¿El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones? (valor: 1,81)

Pregunta mejor evaluada:

5.1.1. ¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento? (valor promedio: 2,37)

6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM (valor obtenido: 1,89)

Preguntas peor evaluadas:

6.1.2. ¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos? (valor promedio: 1,47)

6.1.3. ¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente? (valor: 1,71)

Pregunta mejor evaluada:

6.3.2. ¿Se relacionan los procesos operacionales con todas las actividades de producción? (valor: 2,12)

7. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida (valor obtenido: 1,78)

Pregunta peor evaluada:

7.1.3. ¿Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos (Modelos Woodward, Willians and Scott, etc.)? (valor: 1,39)

Pregunta mejor evaluada:

7.3.1. ¿Las detenciones mayores son implementadas en forma ordenada bajo un modelo de gestión de grandes paradas de plantas? (valor: 2,01)

8. Procesos de revisión y mejora continua (valor obtenido: 2,18)

Pregunta peor evaluada:

8.2.4. ¿El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad? (valor: 1,74)

Pregunta mejor evaluada:

8.1.1. ¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento? (valor promedio: 2,39)

4. Análisis de las Oportunidades Encontradas por la Aplicación de la Metodología AMORMS

4.1. Aspectos Claves en Relación a la Estructura Organizacional

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos claves identificadas, en relación a la estructura organizacional de las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento, en la Planta SINEA PERÚ.

La organización cuenta con un buen nivel de “Know How” con respecto al negocio de manufactura de productos PET. Adicionalmente, se ha seleccionado un personal motivado, que cuenta con un muy buen conocimiento técnico (altamente especializado) en los procesos de operación y mantenimiento de Plantas de Envases de Plástico.

La estructura organizacional, partiendo de la línea superior (Gerencia Corporativa de Mantenimiento) junto con sus grupos de soporte en las diversas plantas, está diseñada para facilitar la aplicación práctica de las diferentes herramientas de optimización de ingeniería de confiabilidad, mantenimiento y riesgo (TPM, 5S, RCA, RCM, LEAN, SIX SIGMA, RAM, etc.). Es importante, ajustar (el número de personas necesarias) y definir de forma más precisa las responsabilidades en la organización actual (asociadas a procesos de mantenimiento y confiabilidad), de tal forma de garantizar la eficacia de los procesos de mantenimiento (definir de forma correcta lo que se debe hacer para garantizar la función de los equipos en la planta) y en segundo lugar, garantizar la eficiencia (definir los recursos humanos y económicos que garanticen los costos óptimos del mantenimiento). Se destaca también, la visión que tiene la organización para identificar, seleccionar y sacarle provecho a las tecnologías de última generación, enfoque que aporta al mejoramiento continuo de todos procesos relacionados con las áreas de mantenimiento y confiabilidad.

A continuación, se presenta algunas recomendaciones que ayudarán a consolidar el grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad dentro de la Planta SINEA PERÚ– SMI, de tal forma que sea capaz de promover y ejecutar las principales actividades de mejora asociadas a las 8 fases del modelo tomado como referencia para la auditoría AMORMS.

4.1.1. Recomendaciones para consolidar el grupo de soporte de ingeniería de confiabilidad alineado al MGM

- **Área evaluada: 1. Gestión de Activos, Objetivos y Estructura Organizacional.**
- **Calificación obtenida: 2,16 = Promedio / Nivel máximo = 5**

Con el objetivo de poder disminuir las brechas identificadas por la técnica AMORMS en la etapa 1 y para lograr cubrir las diferentes actividades a ser desarrolladas dentro de cada uno de las 8 fases del MGM, se recomienda a la organización SMI/SINEA/PERÚ, consolidar el grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad dentro de la Planta SINEA PERÚ– SMI, de tal forma que sea capaz de promover y ejecutar las principales actividades de mejora asociadas a las diferentes etapas del modelo presentado en la Figura 1 (MGM). Dentro de los roles recomendados a ser desarrollados por este grupo, el mismo deberá administrar el uso del sistema informático (SAP PM) y analizar la información generada por dicho sistema para generar planes de acción, a partir del uso eficaz y eficiente de herramientas de optimización de Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad.

Para el tamaño de la Planta SINEA PERÚ, se recomienda incluir al menos de 1 a 2 Ingenieros de Confiabilidad, a dedicación exclusiva, para dar soporte al proceso de implantación y consolidación del MGM.

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar los grupos técnicos de Ingeniería de Confiabilidad son: i) UNE-EN 60300-1:2015. Gestión de la Confiabilidad. Directrices para su gestión y aplicación; ii) EN 15628:2014. Maintenance - Qualification of Maintenance Personnel (German Version); iii) EN 16646:2014. Maintenance within physical asset management; iv) EN 17007-2017-MAN.1. Maintenance process and associated indicators (establish the maintenance and reliability policy, strategy and development actions).

4.2. Aspectos Claves en Relación al Software de Soporte de Mantenimiento SAP PM

A continuación, se describen algunos factores a considerar, en relación al análisis realizado sobre el sistema de soporte informático: SAP PM, en la Planta SINEA PERÚ:

- El software SAP PM, en la Planta SINEA PERÚ, debe ayudar a consolidar el proceso mantenimiento preventivo y evitar las consecuencias de los fallos sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones (costos o pérdidas por producción). Actualmente el SAP PM, genera actividades que alimentan los procesos básicos de planificación y programación del mantenimiento preventivo y que a futuro deberían ser la base de la optimización de los presupuestos anuales de mantenimiento.
- En la estructura actual del SAP PM, el mantenimiento preventivo hace referencia a un proceso relacionado con actividades específicas de mantenimiento asignadas a equipos de la planta. Para realizarlo, se establecen algunos de planes genéricos de mantenimiento. Hay espacio para mejorar la definición de las hojas de ruta de las actividades más importantes de mantenimiento.
- Las actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas y registradas en el SAP PM, generan una base de datos de costes y elementos necesarios para definir las futuras actividades de mantenimiento (ayuda a estimar los presupuestos anuales). Las tareas identificadas en el SAP PM se pueden aprovechar y analizar previamente con el área de operaciones para no afectar el rendimiento de los procesos de producción.
- Las mejoras en el módulo SAP PM, ayudarán a generar de forma eficiente los avisos que se planifican y programan para su ejecución en el corto plazo. Las órdenes de mantenimiento correctivo o de reparación de averías, se pueden aprovechar para los futuros análisis de falla, mejorando la recolección de los datos claves del evento imprevisto (síntomas, modos de fallas y posibles causas).

En resumen, actualmente en la Planta SINEA PERÚ, el sistema SAP PM, tiene un potencial para ser mejorado y poder desarrollar órdenes de mantenimiento para los diferentes mantenimientos (preventivos y correctivos), que faciliten la asignación de recursos y la aplicación adecuada de las tareas de mantenimiento que necesitan ser planificadas, programadas y ejecutadas.

4.2.1. Recomendaciones generales para mejorar el uso del software SAP PM

- **Área evaluada: 2. Modelos de Jerarquización y proceso de Análisis de Criticidad.**
- **Calificación obtenida: 2,23 = Promedio / Nivel máximo = 5**
- **Área evaluada: 6. Proceso de control y análisis de indicadores técnicos y económicos**
- **Calificación obtenida: 1,89 = Debajo del promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el software SAP PM son: i) UNE-EN-ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de los equipos; ii) UNE-EN 60300-1:2015. Gestión de la Confiabilidad. Directrices para su gestión y aplicación; iii) EN 17007-2017-MAN.1. Maintenance process and associated indicators (establish the maintenance and reliability policy, strategy and development actions)

A continuación, se resumen las recomendaciones con mayor oportunidad de mejora, con respecto al uso del sistema informático SAP PM (fases 2, 4, 5 y 6 del MGM).

- Mejorar los formatos de recolección de datos en la orden de trabajo en el SAP PM (descripción del problema, síntomas, modos de fallas (asociados a ítem mantenibles)).
- Mejorar en el proceso de captura de datos y análisis de la información generada por el software SAP PM, este proceso presenta una oportunidad de mejora muy grande, adicionalmente, el uso de esta herramienta de gestión, está muy limitada sólo a un grupo mínimo de personas del área de mantenimiento, falta transmitir de forma más eficiente la información del impacto del proceso de planificación y programación a las áreas operacionales, adicionalmente, falta difundir mucho más el uso del SAP PM y mejorar la interpretación y el proceso de toma de decisiones a partir del análisis de la

información (técnica y económica) que se puede generar dentro del proceso de mantenimiento (no se ha consolidado el uso de versión de SAP PM instalada).

- Desarrollar y generar de forma automática dentro del SAP PM en los diferentes niveles jerárquicos (Planta, Proceso, Sistema, Equipos y llegar al ítem mantenible, según el enfoque de la ISO 14224), los indicadores técnicos de gestión (TPO: tiempo promedio operativa hasta el fallo, TPFS: tiempo promedio fuera de servicio, TPPR: tiempo promedio para reparar, FF: frecuencia de fallas y Costos por indisponibilidad: CIF). En el mediano plazo se puede relacionar el indicador propuesto (CIF), con otros indicadores como: Back log, % actividades de mantenimiento ejecutadas contra las planificadas, Preventivo vs. Correctivo.
- Promover dentro del SAP PM, un modelo estándar de evaluación de criticidad de los modos de fallas asociados a el ítem mantenible, basado en el indicador de “CIF: Costos de indisponibilidad por fallas” (frecuencia de fallas (fallas/año) x consecuencias (\$/fallas) = \$/año). Este modelo debe ser aceptado por toda la organización y además debe ser el criterio que permita priorizar los procesos de: planificación, ejecución de las actividades de mantenimiento y definición de los repuestos críticos (desarrollos internos dentro del SAP PM, podrían ayudar a mejorar esta parte del proceso de gestión del mantenimiento).
- Corregir el cálculo del indicador Confiabilidad, el indicador que se calcula actualmente, es un cálculo de Disponibilidad asociado a fallas. El cálculo correcto de Confiabilidad (Rt, probabilidad de funcionamiento), se debe realizar con técnicas estadísticas, por ejemplo, con la Distribución Weibull (técnica estadística analizada en el curso de certificación ICOGAM desarrollado en el mes de Octubre 2022).
- Promover un mayor el interés por el uso del SAP PM a nivel de las diferentes jefaturas de mantenimiento (mayor compromiso con el uso del SAP PM) y tomar decisiones a partir del uso de los indicadores técnicos y económicos generados a partir del SAP PM (mostrar el valor agregado del uso de la herramienta SAP PM).
- Promover un cambio cultural en los usuarios del SAP PM, en relación al proceso de gestión de los datos técnicos y económicos a ser ingresados en el SAP PM (garantizar un buen nivel de calidad y veracidad de los datos).
- Utilizar el SAP PM para promover mejoras en los procesos de planificación y programación de las estrategias de mantenimiento, utilizar el indicador propuesto CIF, a el nivel del ítem mantenible, para impulsar el proceso de optimización del mantenimiento preventivo PM y mejorar los presupuestos anuales de mantenimiento.
- Revisar a ajustar para los equipos críticos, los procedimientos detallados de ejecución de mantenimientos preventivos (revisar el paso a paso de los planes de mantenimiento e inspección de los modos de fallas críticos).
- Revisar el proceso de priorización de las órdenes de trabajo dentro del SAP PM (se recomienda utilizar el indicador CIF: Costos de indisponibilidad por fallas, para ajustar la priorización de las órdenes de trabajo de las actividades preventivas y correctivas).
- Propiciar el escenario para que se generen las órdenes de trabajo dentro de SAP PM, por las personas que están más cerca de los equipos (parametrizar el SAP PM para que su uso sea sencillo y de fácil de utilización).
- Diseñar formatos estándares o mejorar los formatos existentes dentro del SAP PM), de tal forma que permitan registrar la siguiente información: modos de fallas (catálogo de fallas asociados a ítem mantenibles, obtenidos a partir de las aplicaciones de RCM), tiempos promedios operativos, tiempos promedios fueras de servicio, impacto económico (costos directos de las fallas más el costo de penalización).
- Diseñar un procedimiento dentro de SAP PM, que permita integrar los criterios entre logística y mantenimiento con el objetivo de poder establecer máximos y mínimos óptimos de repuestos basados en el factor Riesgo.

- Difundir la información generada por el SAP PM; y no limitarla sólo al personal de mantenimiento (aprovechar e introducir al personal de operaciones para comenzar a corregir el proceso de definición de modos de fallas, sobre todo comenzar a exigir la creación de la base de datos de los modos de fallas).
- Desarrollar un procedimiento dentro del SAP PM que permita jerarquizar de forma automática tanto los equipos como las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, en función del impacto que podrían provocar los modos de fallas dentro del contexto operacional.
- Desarrollar un programa de adiestramiento básico de indicadores técnicos de Confiabilidad y Mantenimiento, integrado con el proceso de formación en el uso de la herramienta SAP PM, en el cual se involucre al personal de campo tanto a operadores como mantenedores, no limitar el conocimiento y uso de los indicadores a ser generados por el SAP PM, sólo al grupo de personas que conforman el área de Mantenimiento, es necesario involucrar al personal de operaciones.
- Promover en el mediano y largo plazo, el desarrollo dentro del SAP PM de las herramientas de Análisis Causa Raíz (RCA) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), como módulos integrados dentro del SAP PM, que alimenten directamente los procesos de planificación, programación y el desarrollo de los presupuestos anuales del mantenimiento.

En esta etapa se recomienda que SMI desarrolle y consolide el indicador CIF (Costos por indisponibilidad por fallas) a nivel el ítem mantenible (tomando como referencia la estructura de la ISO 14224).

4.3. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Análisis de Criticidad

A continuación, se describen algunos de los aspectos claves a mejorar, en relación al proceso de análisis de criticidad desarrollado e implementado actualmente en la Planta SINEA PERÚ:

- El proceso de análisis de criticidad de activos físicos a ser desarrollado por la organización SMI/SINEA/PERÚ, debe sustentarse en un modelo de Riesgo, basado en una Matriz Semi-Cuantitativa. Este tipo de herramientas, permitirán establecer de forma eficiente las jerarquías o prioridades en las instalaciones de la Planta SINEA PERÚ a nivel de sistemas y equipos y dispositivos. El modelo de criticidad a desarrollar basado en Riesgo, debe incluir factores claves del negocio de manufactura de productos PET (Seguridad, Ambiente, Producción, Inocuidad y Calidad) [14].

4.3.1. Recomendaciones para consolidar proceso de priorización (CA: Criticality Analysis)

- **Área evaluada: 2. Modelos de Jerarquización y proceso de Análisis de Criticidad.**
- **Calificación obtenida: 2,23 = Promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de priorización: CA son: i) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines); ii) NORZOK Z-008:2017 (Risk based maintenance and consequence classification); iii) UNE-EN-ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de los equipos.

El proceso de Priorización (CA: Criticality Analysis), es una etapa que ofrece una línea base, sobre la cual establecer decisiones a la hora de clasificar los activos productivos de acuerdo con la importancia de su función para la consecución de los objetivos del negocio. La técnica de jerarquización propuesta (desarrollada en las aplicaciones pilotos), se sustenta en el *Análisis de Criticidad basado en Riesgo* y permite identificar por su importancia, los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir el mayor de los esfuerzos (humanos, económicos y tecnológicos); en otras palabras, el proceso de análisis de criticidad, ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan. A continuación, para consolidar el modelo de criticidad a ser desarrollado en SINEA PERÚ, se presentan algunas recomendaciones para consolidar la fase 2 del MGM (proceso de análisis de criticidad basado en Riesgo):

- Actualizar y confirmar los factores claves que integran actualmente el proceso de análisis de criticidad (procesos de criticidad desarrollados en las aplicaciones pilotos de RCA y RCM), es importante que los factores incluidos en la Matriz de Riesgo, ayuden 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 en la Planta SINEA PERÚ.
- Revisar y ajustar el modelo de Matriz de Riesgo de Activos Físicos, de forma que permita evaluar con una mirada sistémica e integral los parámetros: Confiabilidad, Mantenibilidad, Costos por indisponibilidad, Calidad, Inocuidad, Salud, Medioambiente, Seguridad, Vulnerabilidad y Reputación, alineados con los objetivos de un proceso integral de Gestión de Activos.
- Entender que el método semicuantitativo de priorización por Riesgo, genera un alto nivel de incertidumbre, por lo cual hay que tener mucho cuidado con los criterios a evaluar y con las decisiones a ser tomadas a partir de los resultados de criticidad a obtener con esta metodología (es recomendable que al menos una vez al año, se revisen y actualicen los criterios que estén incluidos en la matriz de criticidad basada en Riesgo).
- Consolidar la ejecución de las recomendaciones que se obtienen del proceso de análisis de criticidad, promoviendo la implantación real y efectiva de las acciones a ser propuestas a partir de la aplicación de los métodos de Confiabilidad y Riesgo: RCA (Root Cause Analysis), RCM (Reliability Centered Maintenance), etc., comparar al menos una vez al año, como se mueven los niveles de criticidad de los equipos dentro de la matriz de Riesgo, una vez que se hayan ejecutado los planes de acción recomendados (relacionar el nivel de importancia de los sistemas obtenido a partir de la matriz de criticidad con el indicador CIF, propuesto en la sesión anterior, comparar el CIF antes y después de las recomendaciones ejecutadas).
- Asegurar la veracidad de la información disponible en el proceso de definición de los factores de las frecuencias y consecuencias de fallas (aspecto clave, contar con personas “expertas” en los factores a evaluar en la matriz de Riesgo), a tal punto, que, si no se cuenta con personal “experto”, pueden omitirse factores de riesgo de alto impacto, generando resultados de criticidad erróneos o incompletos, que generen soluciones ineficientes y de poco valor agregado.

Finalmente, los resultados obtenidos de la aplicación efectiva de la metodología de Criticidad Basada en Riesgo (matriz de criticidad), ayudará a los gerentes de las diferentes áreas, 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 en la Planta SINEA PERÚ.

4.4. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Análisis de Fallas

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos a considerar, en relación al proceso de análisis de fallas (Método de Análisis Causa Raíz (RCA)), a ser desarrollado en la Planta SINEA PERÚ:

La organización SMI debe consolidar de forma efectiva la implementación de la técnica de Análisis Causa Raíz (RCA) desarrollada en las aplicaciones pilotos (RCA.V1.RISK). Su implementación, debe ser un proceso intuitivo y ordenado, que permita identificar, la causa originaria de los fallos, tomando en cuenta básicamente dos aspectos, la evaluación de los hechos reales que generan la pérdida de la función (indisponibilidad); y el impacto que pueden provocar estos eventos sobre: el ambiente, la seguridad humana y las operaciones. La metodología de RCA a implementar debe ayudar a los ingenieros de confiabilidad a orientarse, en los pasos a seguir para definir: las causas de los eventos de fallas y las consideraciones que deben tomarse para la obtención de soluciones efectivas. En resumen, la aplicación del Método RCA propuesta, ayudará a la organización SMI a:

- Analizar de forma fácil todas las perspectivas que pueden provocar los eventos de fallas críticos.
- Eliminar la frustración y las discusiones ineficientes de los procesos de RCA.
- Crear una realidad común de los problemas analizados.

- Asegurar la aceptación por parte de todos los interesados de las soluciones propuestas.
- Incorporar en el día a día de los procesos operacionales y de mantenimiento, una aplicación común de RCA, fácil de usar, que permite determinar las causas, los efectos de las fallas y los planes de acción, basados en evidencias reales.

4.4.1. Recomendaciones para consolidar el proceso de análisis de fallas (RCA: Root Cause Analysis)

- **Área evaluada: 3. Análisis de problemas manejo de fallas.**
- **Calificación obtenida: 1,96 = Por debajo del Promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de análisis de fallas (RCA) son: i) UNE EN 62740:2015 (RCA: Root Cause Analysis); ii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines).

El proceso de Análisis de Fallas (RCA: Root Cause Analysis), constituye la fase 3 del MGM. Esta etapa permite de forma sistemática, identificar las causas raíz primarias de los problemas, para luego aplicar correctivos que pretenda eliminarlas de forma definitiva. Como parte de la definición de las estrategias de mejora continua, es necesario analizar los posibles modos de fallos repetitivos, crónicos, cuya frecuencia de aparición pueda incluso ser excesiva. Si somos capaces de encontrar, e incluso eliminar, las causas de los fallos podemos ofrecer un alto retorno inicial a la inversión en nuestro programa de gestión de mantenimiento; por lo tanto, el objetivo principal de la aplicación de la técnica de RCA es minimizar el impacto de los fallos y maximizar la confiabilidad operacional de los activos. A partir de las brechas identificadas en la auditoría AMORMS, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para consolidar la fase 3 del MGM (proceso de análisis de fallas) en la Planta SINEA PERU:

- Cuantificar de forma detallada, las mejoras obtenidas a partir de la ejecución de las recomendaciones generadas por el proceso de RCA. Se propone que se calculen y analicen (antes y después de la aplicación de RCA), los índices técnicos tales como: tiempos promedios operativos, tiempos promedios fuera de servicio y la frecuencia de fallos.
- Introducir el indicador CIF (costos de indisponibilidad por fallos), calcular este indicador antes de la aplicación del RCA y compararlo con el obtenido después que se apliquen las recomendaciones generadas a partir de los RCA, de tal forma de medir los valores reales de ahorros o pérdidas obtenidos.
- Diseñar formatos estándares de RCA para toda la organización (caso ideal incluir este formato dentro del software SAP PM). Los formatos a desarrollar deben registrar la siguiente información: modos de fallos y sus causas raíz (más importantes), tiempos promedios operativos, tiempos promedios fuera de servicio, impacto económico (indicador CIF). Utilizar como base del diseño de los formatos, el utilizado en las aplicaciones de RCA ejecutadas.
- Aprovechar las experiencias y los resultados obtenidos de los RCA (en las aplicaciones pilotos), con el fin de crear una base de datos de conocimientos compartida (el caso ideal es que esta base de datos quede dentro del SAP PM, a futuro se pueden digitalizar todos los RCA e integrar herramientas de la Industria 4.0 por ejemplo, aplicación de Gemelos digitales en los procesos de análisis de fallas).
- Propiciar el intercambio de información y el análisis de los casos de RCA resueltos, entre el personal de las distintas áreas de mantenimiento y operaciones (aprovechar el análisis de los RCA anteriores). Generar las lecciones aprendidas: “no es necesario cometer los errores dos veces”.
- Difundir la información generada por los resultados de los RCA; y no limitarla sólo al personal de mantenimiento (aprovechar la información recopilada para la creación de la base de datos de los modos de fallos).
- Desarrollar un programa de adiestramiento básico de Análisis de Fallas, en el cual se involucre a todo el personal de operaciones y mantenimiento, no limitar el conocimiento de la técnica de RCA sólo al grupo de mantenimiento, es necesario involucrar al personal de operaciones, producción, proyectos y logística (compras).
- Asignar responsables para la ejecución de las recomendaciones propuestas (definir fechas de ejecución para cada una de las recomendaciones desarrolladas y establecer un plan de trabajo para implantar las

recomendaciones en un período inferior a 6 meses). Al inicio, se propone calcular un indicador que permita medir el porcentaje de RCA finalizados a nivel metodológico, es decir, sin implantar las recomendaciones generadas a partir del RCA. Para el cálculo de este indicador, se toma en cuenta la última reunión, en la cual el grupo de trabajo define las acciones propuestas (recomendaciones) que ayudarán a eliminar o minimizar las causas raíces del evento de falla analizado durante el proceso de aplicación del RCA (el nivel de éxito de este indicador no debe ser menor a un 75%, por ejemplo de un total de 20 RCA, propuestos e iniciados, como mínimo, se deben finalizar 15 de los 20 RCA (serían 15 RCA finalizados metodológicamente, es decir sin haber aún implantado las recomendaciones propuestas). Posteriormente, después de haber finalizado los RCA, se debe hacer seguimiento al proceso de implantación y ejecución de las recomendaciones generadas a partir de los RCA, para esto, se recomienda calcular un segundo indicador, específicamente el CIF, indicador que permitirá, evaluar el nivel de efectividad económica de las recomendaciones ejecutadas (el nivel de ahorros a obtener una vez implementadas las recomendaciones del RCA, no debería ser menor a un 35%).

Finalmente, la implementación de un proceso efectivo de RCA debe garantizar que se cubran las siguientes 5 etapas del proceso de mejora continua: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. El éxito de la implementación, depende del esfuerzo del equipo multidisciplinario de trabajo y como tal requiere de cierta experiencia para vencer los paradigmas que tradicionalmente se encuentran en los procesos de análisis de fallos.

4.5. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Optimización de Planes de Mantenimiento e Inspección (RCM)

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos identificados, en relación al proceso de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento e inspección (Métodos RCM: Reliability Centered Maintenance), en la Planta SINEA PERÚ:

- La organización SMI debe considerar el aplicar de forma efectiva el método RCM (desarrollado en las aplicaciones pilotos). Esta metodología sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento e inspección con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes dentro del proceso de producción.
- Los procedimientos a desarrollar en SMI para aplicar la herramienta RCM, ayudará a definir los programas de mantenimiento e inspección que alimentan los procesos de planificación y programación de los módulos SAP PM, ajustando las estrategias de mantenimiento e inspección a las necesidades reales de los activos de la Planta SINEA PERÚ.
- Para el desarrollo de los planes de mantenimiento e inspección, se toma como base el nivel de riesgo (frecuencia x consecuencias: seguridad/ambiente/operaciones), que generan los modos de fallos y los procesos de deterioro de los activos de la Planta SINEA PERÚ. Dentro del procedimiento de RCM, se propone calcular el REMF (Riesgo Económico del Modo de Falla) en el análisis de los modos y efectos de falla (FMECA).

En resumen, la aplicación del método RCM, ayudará a la organización SMI a:

- Crear un espíritu altamente crítico en todo el personal (operaciones-mantenimiento) frente a los efectos y consecuencias que pueden generar los diversos fallos en la planta.
- Ajustar las tareas de mantenimiento e inspección a las necesidades reales del contexto operacional, relacionando los modos de fallos y los procesos de deterioro con los efectos que provocan los mismos a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.
- Optimizar la aplicación de las actividades de mantenimiento e inspección tomando en cuenta el nivel de riesgo de los activos dentro del contexto operacional, alimentando de forma efectiva los procesos de planificación y programación del mantenimiento (preventivo, condición y correctivo).
- Desarrollar un sistema efectivo de registro y manejo de datos de confiabilidad asociados a los modos de fallos y a los procesos de deterioro.

- Aumentar el conocimiento del personal tanto de operaciones como de mantenimiento con respecto a los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.

4.5.1. Recomendaciones para consolidar el proceso de definición y optimización de planes de mantenimiento e inspección (RCM)

- **Área evaluada: 4. Proceso de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento**
- **Calificación obtenida: 1,87 = Por debajo del Promedio / Nivel Máximo = 5**
- **Área evaluada: 5. Proceso de asignación de recursos y soporte logístico**
- **Calificación obtenida: 2,19 = Promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de optimización de planes de mantenimiento e inspección son: i) RCM SAE 1011-1012 (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad); ii) UNE-EN-ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de los equipos; iii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines); iv) EN 17007-2017-MAN.1. Maintenance process and associated indicators (establish the maintenance and reliability policy, strategy and development actions).

El proceso de definición y optimización de planes de mantenimiento (RCM: Reliability Centered Maintenance) e inspección se desarrolla entre las fases 4 y 5 del MGM. El diseño del plan óptimo de mantenimiento e inspección para un determinado sistema requiere inicialmente, de la identificación de sus funciones, modos de fallas, procesos de deterioro y efectos de las fallas, además del establecimiento de una serie de tareas efectivas y eficientes de mantenimiento e inspección, basadas en consideraciones que tienen que ver con la seguridad, el ambiente y las operaciones. La metodología RCM, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional y minimizar el riesgo de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento e inspección, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad al ambiente y a las operaciones. A partir de las brechas identificadas con la herramienta AMORMS, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para consolidar las fases 4 y 5 del MGM (proceso de definición y optimización de planes de mantenimiento e inspección) en la Planta SINEA PERÚ:

- Continuar con las aplicaciones de RCM (a partir del método utilizado en las aplicaciones pilotos) en todos los equipos críticos de la Planta y realizar una revisión detallada de los programas de mantenimiento e inspección actuales (utilizar el indicador CIF, para evaluar el factor riesgo económico por cada modo de falla y ajustar los planes de mantenimiento e inspección).
- Codificar los modos de fallas y generar los órdenes de trabajo con los modos de fallas obtenidos a partir de las aplicaciones de RCM (incluir estos modos de fallas como ubicaciones técnicas en el catálogo dentro del SAP PM a nivel de ítem mantenible, Norma ISO 14224).
- Desarrollar para los modos de fallas y procesos de deterioro críticos obtenidos a partir del RCM, un proceso de análisis costo riesgo beneficioso (aplicar las técnicas de optimización de confiabilidad: métodos de Weibull y Log Normal integrados al indicador de optimización CIF – explicados en el taller de certificación ICOGAM, realizado en los meses de Febrero – Mayo del 2023).
- Actualizar la efectividad de los planes de mantenimiento e inspección generados a partir del RCM; y analizar: antes y después, el desempeño de los siguientes indicadores técnicos (MTTF: mean time to failure y MDT: mean down time) y los indicadores de costos (mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y el CIF: costos por indisponibilidad por fallas).
- Ajustar el procedimiento interno de revisión de los planes de mantenimiento e inspección definidos bajo el enfoque de la metodología RCM con el fin de controlar los tiempos promedios operativos, los tiempos de reparación, las frecuencias de fallas y los costos por indisponibilidad fallas (CIF), al menos una vez cada 12 a 18 meses.



- Integrar los resultados del RCM dentro del SAP PM, de tal forma de tener una base de datos común de planes optimizados de mantenimiento e inspección.

4.6. Aspectos claves en relación al proceso de análisis de costos de ciclo de vida (LCCA: Life-Cycle Cost Analysis)

A continuación, se describen algunas de los principales aspectos identificados, en relación al proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCCA: Life-Cycle Cost Analysis) implementados actualmente en la Planta SINEA PERÚ:

- La organización SMI, debe incluir el análisis del impacto económico de los factores de Confiabilidad y Mantenibilidad, en el área de ingeniería de proyectos, es decir desarrollar un proceso integral de análisis de los costos totales de ciclo de vida desde la fase inicial de desarrollo de un activo. El proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida, a ser implementado por el área de proyectos de SMI, debe mejorar de forma progresiva, incluyendo el proceso de cuantificación del impacto económico de la confiabilidad y de la mantenibilidad, para lograr disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones de áreas de vital importancia tales como: diseño, desarrollo, sustitución y adquisición de activos. Es importante mencionar, que, en este proceso, la organización SMI, tiene una gran oportunidad de mejora, particularmente en el área que corresponde a el análisis de los factores “Confiabilidad y Mantenibilidad”; desde la fase de diseño, ya que este aspecto, tiene una gran influencia sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influye en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los sistemas de producción a costes razonables.

4.6.1. Recomendaciones para consolidar el proceso de análisis de costos de ciclo de vida (LCCA: Life-Cycle Cost Analysis)

- **Área evaluada: 7. Procesos de Análisis de Costos de Ciclo de Vida.**
- **Calificación obtenida: 1,78 = Debajo del Promedio / Nivel máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida son: i) ISO 15663:2021 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Life cycle costing); ii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines).

La orientación de este apartado, hacia el estudio y el análisis del factor Confiabilidad y su impacto en los costos, se debe, a que gran parte del incremento de los costes totales durante el Ciclo de Vida útil esperado de un sistema de producción, es ocasionado en su mayoría, por la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallos, escenario provocado básicamente por el desconocimiento y por la ausencia de una evaluación técnica en la fase de diseño de los aspectos relacionados con la confiabilidad (fase 7 del MGM). Esta situación trae como resultado un incremento en los costes de totales de operación (costes que no fueron considerados en un principio) afectando de esta forma la rentabilidad del proceso de producción (ver Figura 3). En el proceso de Análisis de los Costes a lo largo del Ciclo de Vida de un activo, existen muchas decisiones y acciones, que deben ser tomadas, siendo de interés particular para este trabajo, aquellos aspectos relacionados con el proceso de mejoramiento de la confiabilidad (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos, tienen un gran impacto sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costes razonables.

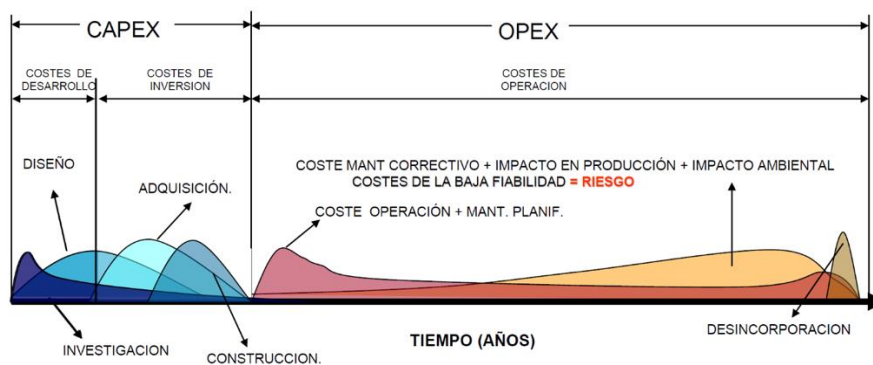
En términos generales, esta etapa del MGM, justamente fue la que presento la mayor brecha en la auditoría AMORMS llevada a cabo en la Planta SINEA PERÚ. A continuación, como punto de partida, se propone la implantación del Modelo de LCCA desarrollado por Woodward [2], el cual permite calcular el impacto de los costes de fallos en el ciclo de vida de un activo industrial.

A continuación, se resumen el procedimiento general de LCCA (Modelo de Woodward [2], explicado en el curso de certificación ICOGAM desarrollado en la Planta SINEA PERÚ, entre Febrero y Abril del 2023):

- Establecer las condiciones operacionales del sistema. Describir los modos de operación del sistema (carga completa, media carga, sin carga) y las capacidades de producción a satisfacer.
- Establecer los factores de utilización. Estos factores deben indicar el estado de funcionamiento dentro de cada modo de operación.
- Identificar las distintas opciones a ser evaluadas. Seleccionar las alternativas existentes que pueden cubrir con las necesidades de producción exigidas.
- Identificar para cada alternativa todas las categorías de costes básicos: inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado, reposición.
- Determinar para cada alternativa los costes totales por Confiabilidad (TCPF). Identificar los principales tipos de fallos y la frecuencia de ocurrencia en el tiempo, la cual será un valor constante a lo largo del ciclo de vida del activo.
- Determinar los costes críticos. Identificar las categorías de costes de mayor impacto, y analizar los factores que propician los altos costes (proponer estrategias de control).
- Calcular todos los costes en valor presente (P) para cada alternativa. Definir el factor de descuento y el período de vida útil esperado y estimar los costes totales en valor presente por cada alternativa evaluada.
- Seleccionar la alternativa ganadora. Comparar los costes totales de las alternativas evaluadas y seleccionar la opción que menor coste genere para el período de vida útil esperado.

En relación a la cuantificación de los costes por Confiabilidad (CTPF), el modelo de Woodward propone evaluar el impacto de los principales fallos sobre la estructura de costes de un sistema de producción, a partir de un proceso sencillo, el cual se resume a continuación: primero, se determinan los tipos de fallos más importantes, luego, se asigna a cada tipo de fallo un valor constante de frecuencia de ocurrencia por año (este valor no cambiara a lo largo de la vida útil esperada), posteriormente, se estima el impacto en costes por año, generado por los fallos en la producción, las operaciones, el ambiente y la seguridad, y finalmente, se estima en valor presente a una tasa de descuento específica, el impacto total en costes de los fallos para los años de vida útil esperada.

Figura 3: Variación de Costos a lo Largo del Ciclo de Vida [2].



4.7. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Mejora Continua

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos identificados, en relación al proceso de Mejora Continua, implementado actualmente en la Planta SINEA PERÚ:

- La organización SMI, ha realizado esfuerzos en consolidar en los últimos años un proceso de Gestión de Calidad que garantice la mejora continua, promoviendo la cultura a la excelencia de forma constante. El proceso de mejora continua de SMI fomenta la implementación de planes de acción que generan cambios adaptados a las necesidades reales de la planta (ajustados a la medida, más que las innovaciones de gran escala, promoviendo e introduciendo de forma ordenada, el camino hacia el uso de mejores herramientas de producción).

- El proceso de mejora continua involucra a todo el personal de la planta y la dirección de la empresa influye de manera directa en la implementación de las recomendaciones que se generan a partir del uso de las diferentes metodologías de optimización aplicadas en las áreas de mantenimiento, confiabilidad y riesgo: RCA, RCM, LEAN, SIX SIGMA RAMS, etc.). La gerencia lidera con el ejemplo y motiva lo suficiente a todo el personal de la Planta SINEA PERÚ.

4.7.1. Recomendaciones para Consolidar el Proceso de Mejora Continua

- **Área evaluada 8: Procesos de revisión y mejora continua.**
- **Calificación obtenida: 2,18 = Promedio / Nivel máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de Mejora Continua son: i) EN 16646:2014 (Maintenance within physical asset management); ii) ISO 55001:2014 (Asset Management - Management Systems – Requirements); iii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines).

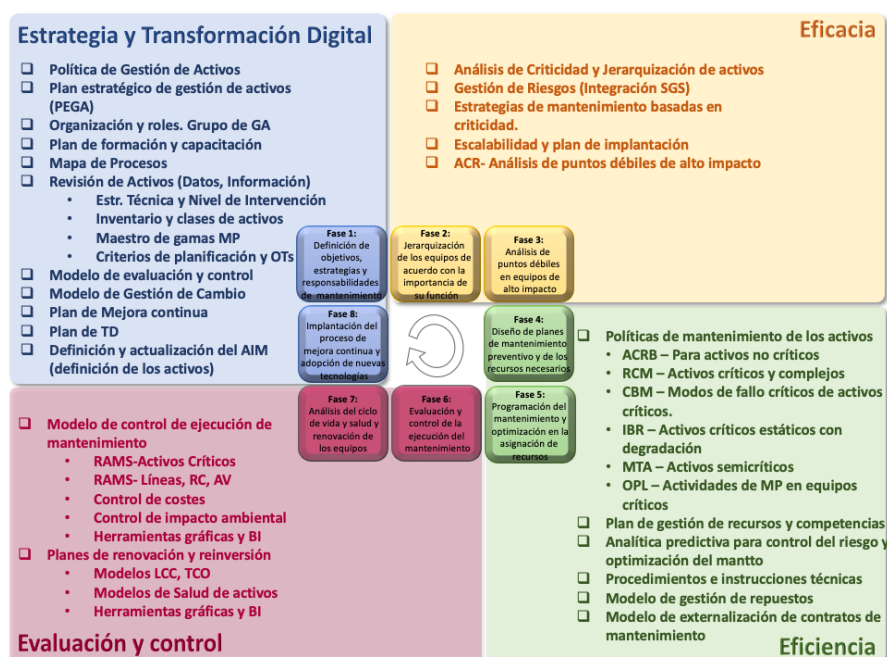
El proceso de mejora continua propuesto en la fase 8 del MGM, será posible utilizando técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto como resultados de los estudios realizados en fases anteriores del proceso de gestión. Por lo que respecta a la aplicación de nuevas tecnologías de mantenimiento, los conceptos de “mantenimiento 4.0”, “e-maintenance”, “e-manufacturing”, entre otros, emergen como componentes del concepto de la “industria 4.0”, el cual promueve el beneficio de las nuevas tecnologías de la información y comunicación para crear entornos corporativos y distribuidos multiusuario [17]. “Maintenance 4.0” puede ser definido como un soporte de mantenimiento que incluye recursos, servicios y gestión necesarios para permitir la ejecución de un proceso proactivo de toma de decisiones en mantenimiento, proceso que se puede consolidar, mejorando el uso del SAP PM – integrar toda la información de los procesos de gestión del mantenimiento dentro del SAP PM. Esta parte, permitirá consolidar a futuro, la utilización de las herramientas de la Industrial 4.0 aplicadas al área de mantenimiento. Este proceso permitirá incluir tecnologías de Internet (i.e. ICT, Web-based, wireless, infotronic technologies) y actividades “e-maintenance” (operaciones y procesos) como los de “e-monitoring”, “e-diagnosis”, “e-prognosis”, que pueden ayudar a consolidar la versión del SAP-HANA 4.0 (versión del SAP que integra diversas herramientas de la Industria 4.0).

Además de las nuevas tecnologías para el mantenimiento, la participación de la gente de mantenimiento dentro del proceso de mejora será un factor crítico para el éxito. Desde luego, requerirán los niveles más altos de conocimiento, experiencia y educación (entrenamiento), pero al mismo tiempo, las técnicas simples que permitan la involucración de operadores en la realización de tareas de mantenimiento serán sumamente importantes para alcanzar los niveles más altos de calidad de mantenimiento y la eficacia total del equipo. En el escenario actual, el uso y análisis efectivo de tecnologías emergentes bajo el enfoque de la industria 4.0, puede mejorar de forma exponencial los procesos de gestión industrial. El gran desafío de un modelo integral de Mantenimiento, es proveer un camino que permita optimizar el uso de las herramientas de la industria 4.0 (IOT, ML, NN, DT, etc..) con los objetivos de: mejorar el funcionamiento técnico y ayudar a maximizar la rentabilidad de los activos a lo largo del ciclo de vida útil (ver Figura 6. Conexión práctica del MGM con la transformación digital y Figura 4. Una perspectiva funcional del nuevo marco digital para la Gestión Inteligente de Activos [17].

Es importante promover la mejora continua empoderando a todos los colaboradores de la organización, y otorgándoles herramientas simples de gestión, ya que se precisa consolidar los procesos básicos de operaciones y mantenimiento, que permitan involucrar a el personal de todos los niveles de la organización en la realización de las diferentes actividades relacionadas con la Gestión de Activos. Dentro el proceso de mejora continua se deben analizar las repercusiones de la incorporación de las diversas técnicas y tecnologías de la Industria 4.0 [17, 18]: “e-maintenance”-“e-manufacturing”, nuevas tecnologías de información y comunicación para crear entornos corporativos y distribuidos multiusuario, “internet of the things”, “e-monitoring”, “e-diagnosis”, “e-prognosis”, “Big data”, “Digital twins”, etc., para robustecer el Sistema de Gestión de Activos a desarrollar dentro

de la organización y así alcanzar estándares de Clase Mundial exigidos por los requerimientos de la norma ISO 55001.

Figura 4: Conexión Práctica del MGM con la Transformación Digital [17].



5. Recomendaciones Generales para la Implementación del MGM

A partir de las brechas identificadas en la auditoría AMORMS, a continuación se presentan algunas recomendaciones claves para consolidar la fase 8 del MGM (proceso de mejora continua) en la Planta SINEA PERÚ [18]:

- Ajustar el proceso de medición de la ejecución de las recomendaciones que se obtienen a partir del proceso de análisis de criticidad, promoviendo la implantación efectiva de las acciones propuestas a partir de la aplicación de los métodos de mejora: RCA (Root Cause Analysis) y RCM (Reliability Centered Maintenance). Desarrollar dentro del SAP PM, el indicador “CIF: Costos de indisponibilidad por fallas” (frecuencia de fallas (fallas/año) x consecuencias (\$/fallas) = \$/año), a nivel de equipos y modos de fallas.
- Consolidar el perfil del Ingeniero Integral de Confiabilidad, que este en capacidad de facilitar y desarrollar aplicaciones de las metodologías: CA: Criticality Analysis, RCA: Root Cause Analysis, TPM: Total Productive Maintenance, RCM: Reliability Centered Maintenance, CRBA: Cost Risk Benefit Analysis, LCC: Life Cycle Cost.
- Actualizar y revisar de forma detallada el impacto real de los planes de mantenimiento e inspección de los sistemas críticos. En este momento, los planes de mantenimiento están sustentados en las recomendaciones del fabricante y en función de la experiencia del personal de mantenimiento y operaciones de la organización SMI/SINEA/PERÚ. Es el momento de realizar una actualización de los planes de mantenimiento e inspección (aprovechando el uso de las metodologías RCA y RCM). Considerar inicialmente los modos de fallas críticos y de media criticidad y aplicar las técnicas de optimización costo riesgo beneficio para ajustar las frecuencias de mantenimiento e inspección (el indicador CIF puede ayudar en este proceso).
- Cuantificar el impacto de las acciones de mejora de mantenimiento y confiabilidad en términos de indicadores financieros. Es importante considerar que el proceso de mejora continua abarque planes de acción a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de los activos físicos (desde la ingeniería conceptual, diseño, selección, compra, instalación, operación, mantenimiento y desincorporación).

- Consolidar un proceso en el SAP PM que integre los indicadores técnicos con los indicadores de optimización costo riesgo beneficio a nivel del ítem mantenible (propiciando el escenario para analizar el impacto económico que podrían generar las fallas en el mediano y largo plazo dentro del proceso operacional).
- Desarrollar un proceso integral de evaluación de indicadores sistémicos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad y analizar el impacto económico de estos indicadores, en los costos totales de ciclo de vida de los activos críticos.
- Promover que la Gerencia de Ingeniería de Confiabilidad aplique de forma ordenada el Modelo de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad (MGM), explicado en la Figura 3, orientar los roles y las funciones del personal de Confiabilidad, para cubrir las 8 fases del MGM, teniendo como objetivo final ayudar a maximizar el valor de los activos de SMI/SINEA/PERÚ. Para poder cubrir esta recomendación, “la gerencia de recursos humanos junto a la Gerencia de Integridad de Activos”, deben evaluar la posibilidad de ejecutar un proyecto piloto de implantación del MGM, que cubra las 8 fases del modelo (tiempo estimado de ejecución 2- 3 años).

En resumen, con el fin de garantizar el éxito de los procesos de mejora de las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento, integrados a un proceso de Gestión de Activos, es importante que la dirección de la organización: SMI/SINEA/PERÚ, tenga presente las siguientes consideraciones:

- Enmarcar el uso de las diferentes metodologías de optimización de Confiabilidad y Mantenimiento, dentro de un proceso integral de mejora de la Gestión de Activos de toda la organización; y no como una iniciativa aislada del área de mantenimiento.
- El éxito de la implantación de las metodologías de optimización de Confiabilidad y Mantenimiento dependerá fundamentalmente del recurso humano involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de inducción y en la formación del personal que participará en este proceso. “Activos son diseñados para hacer cosas, las personas hacen que estas cosas sucedan”. Los aspectos técnicos, por sí solos, no son suficientes para poder alcanzar el máximo potencial de las organizaciones. Es necesario fortalecer los aspectos humanos: confiabilidad humana, motivación, entrenamiento, equipos naturales de trabajo, comunicación, etc.
- No se debe limitar el proceso de mejora de la gestión del mantenimiento y de la confiabilidad, a simples modas pasajeras, la organización debe convertir el proceso de implantación de técnicas de confiabilidad y mantenimiento, en prácticas rutinarias de trabajo, que ayuden a optimizar la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida útil de los activos industriales.

Finalmente, una de las ventajas principales del MGM, es que provee una estructura alineada a un proceso de Gestión de Activos y un proceso efectivo de seguimiento de todas las recomendaciones propuestas a partir de la implantación de las herramientas de mejora de mantenimiento y confiabilidad, involucrando a todas aquellas personas que tenga que ver con el diseño, la instalación, la operación, el mantenimiento y el retiro de los activos durante todo su ciclo de vida. El MGM, otorga resultados a corto, mediano y largo plazo, con una mayor seguridad sobre las personas, una mayor armonía con el ambiente y con una mejor relación costo-beneficio para el dueño del activo.

Referencias

[1] Crespo Márquez, A. (2007). *The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance*. Springer Verlag.

[2] Parra, C., & Crespo, A. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)* (2nd ed.). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29363.66083>



- [3] Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- [4] Campbell, J. D., & Jardine, A. K. S. (2001). *Maintenance excellence*. Marcel Dekker.
- [5] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1), 71–79.
- [6] González-Prida, V., Parra, C., Gómez, J. F., & Crespo, A. (2012). Audit to a specific study scenario according to a reference framework for the improvement of guarantee management. In *Advances in Safety, Reliability and Risk Management* (pp. 1–8). Berenguer, Grall & Guedes Soares (Eds.). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35353.65123>
- [7] López, M., Parra, C., & Crespo, A. (2011). La gestión de activos y la PAS 55. In *XIII Congreso de Confiabilidad* (1st ed., Vol. 1, No. 8). Asociación Española para la Calidad, Zaragoza, España.
- [8] Parra, C., & Crespo, A. (2019). Nota técnica 4: Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de gestión del mantenimiento. INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10169.60003>
- [9] 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 Crespo Márquez, A., Komljenovic, D., & Amadi-Echendu, J. (Eds.), *14th WCEAM Proceedings. WCEAM 2019* (Lecture Notes in Mechanical Engineering). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_17
- [10] Reyes-Picknell, J. (2007). An introduction to PAS 55 — Optimal management of physical assets. *Works Management Tutorial*.
- [11] Pintelon, L. M., & Gelders, L. F. (1992). Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, 58, 301–317.
- [12] Parra, C., & Crespo, A. (2006). On the consideration of reliability in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA): A review of basic models. In Guedes Soares & Zio (Eds.), *Safety and Reliability for Managing Risk* (pp. 2203–2214). Taylor & Francis Group.
- [13] Parra, C., Viveros, P., Kristjanpoller, F., Crespo Márquez, A., & González-Prida, V. (2020). Modelos de auditoría para los procesos de gestión de activos, mantenimiento y confiabilidad: Caso de estudio: Sector de transmisión de electricidad. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32132.14721/1>
- [14] 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, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10422.52802/2>
- [15] Parra, C., Viveros, P., Kristjanpoller, F., Crespo, A., González-Prida, V., & Gómez, J. (2021). Técnicas de auditorías para los procesos de mantenimiento, fiabilidad operacional y gestión de activos (AMORMS & AMS-ISO 55001). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35842.61124/4>
- [16] Parra, C., & Crespo, A. (2020). Nota técnica 1: Introducción a un modelo integral de gestión del mantenimiento (MGM). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13046.63049>



[17] Crespo Márquez, A. (2022). Driving the introduction of digital technologies to enhance the maintenance management process and framework. In *Digital Maintenance Management: Guiding Digital Transformation in Maintenance* (Springer Series in Reliability Engineering, pp. 25–30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97660-6_3

[18] 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>

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