



METODOLOGIA DE AUMENTO DE VIDA ÚTIL: APLICAÇÃO EM ATIVOS DE ESCAVAÇÃO DE GRANDE PORTE

Methodology for extending service life: application to large-scale excavation assets

Metodología para extender la vida útil: aplicación a activos de excavación a gran escala

Marie Clayre Freitas Ferreira ^{1*}, Esmael de Miranda Magno ², Bruna Cristina da Silva ³

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná ² Centro Universitário Leonardo da Vinci ³ Universidade Federal de São Paulo
^{1*} marieclayre@gmail.com ² esmaelmagno@yahoo.com.br ³ brunacs.cristina@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 07.03.2026

Aprovado: 07.04.2026

Disponibilizado: 13.06.2026

PALAVRAS-CHAVE: Confiabilidade; mineração; escavadeira elétrica.

KEYWORDS: Reliability; mining; electric excavator.

PALABRAS CLAVE: Fiabilidad; minería; excavadora eléctrica.

*Autor Correspondente: Ferreira, M. C. F.

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação da Análise de Dados de Vida (Life Data Analysis - LDA) como ferramenta para avaliação da confiabilidade e otimização dos ciclos de substituição de componentes mecânicos em escavadeiras elétricas de grande porte utilizadas na mineração. A metodologia proposta é baseada na coleta e tratamento de dados históricos de movimentação, na modelagem estatística utilizando distribuições probabilísticas e na análise do impacto do aumento da vida útil dos ativos sobre a confiabilidade e custos operacionais. O estudo foi aplicado aos principais sistemas mecânicos (elevação, escavação, giro e locomoção) dos modelos de escavadeiras de grande porte da Caterpillar 7495HD e 7495HR, utilizando dados compreendidos entre 2020 e 2025. Os resultados indicam que na maioria dos componentes analisados é possível aumentar os ciclos de substituição mantendo os níveis de confiabilidade dentro de limites previamente estabelecidos. A aplicação da metodologia a um redutor de elevação evidenciou um aumento de 20% no ciclo de vida, com redução significativa no número de substituições preventivas. As projeções financeiras indicam ganhos potenciais expressivos, decorrentes da diminuição de custos com componentes, kits de instalação e perdas associadas à indisponibilidade dos equipamentos, demonstrando a viabilidade técnica e econômica da abordagem proposta.

ABSTRACT

This paper presents the application of Life Data Analysis (LDA) as a tool for reliability assessment and optimization of replacement cycles of mechanical components in large-scale electric excavators used in mining operations. The proposed methodology is based on the collection and treatment of historical operational data, statistical modeling using probabilistic distributions, and the analysis

of the impact of extending asset service life on reliability and operational costs. The study was applied to the main mechanical systems (hoisting, digging, swing, and propulsion) of Caterpillar 7495HD and 7495HR large-scale excavator models, using data from the period between 2020 and 2025. The results indicate that, for most of the components analyzed, it is possible to extend replacement cycles while maintaining reliability levels within previously established limits. The application of the methodology to a hoist gearbox demonstrated a 20% increase in service life, with a significant reduction in the number of preventive replacements. Financial projections indicate substantial potential gains resulting from reduced costs related to components, installation kits, and losses associated with equipment downtime, thereby demonstrating the technical and economic feasibility of the proposed approach.

RESUMEN

Este trabajo presenta la aplicación del Análisis de Datos de Vida (Life Data Analysis - LDA) como herramienta para la evaluación de la confiabilidad y la optimización de los ciclos de sustitución de componentes mecánicos en excavadoras eléctricas de gran porte utilizadas en la minería. La metodología propuesta se basa en la recopilación y el tratamiento de datos históricos de operación, en la modelación estadística mediante distribuciones probabilísticas y en el análisis del impacto del aumento de la vida útil de los activos sobre la confiabilidad y los costos operativos. El estudio se aplicó a los principales sistemas mecánicos (elevación, excavación, giro y locomoción) de los modelos de excavadoras de gran porte Caterpillar 7495HD y 7495HR, utilizando datos correspondientes al período comprendido entre 2020 y 2025. Los resultados indican que, para la mayoría de los componentes analizados, es posible aumentar los ciclos de sustitución manteniendo los niveles de confiabilidad dentro de límites previamente establecidos. La aplicación de la metodología a un reductor de elevación evidenció un incremento del 20 % en el ciclo de vida, con una reducción significativa en el número de sustituciones preventivas. Las proyecciones financieras indican ganancias potenciales expresivas, derivadas de la reducción de costos de componentes, kits de instalación y pérdidas asociadas a la indisponibilidad de los equipos, lo que demuestra la viabilidad técnica y económica del enfoque propuesto.

INTRODUÇÃO

A escavação constitui uma das etapas mais críticas do processo de mineração, sendo responsável pela movimentação de material estéril e de minério, viabilizando o acesso às frentes de lavra e assegurando a continuidade do processo produtivo. A eficiência dessa atividade impacta diretamente a produtividade global da operação, os custos operacionais, a estabilidade das frentes de lavra e a vida útil dos equipamentos empregados. Ademais, uma

escavação adequadamente planejada contribui para a otimização da fragmentação do material, a redução de retrabalhos, o aumento da confiabilidade operacional e a melhoria dos indicadores de segurança e desempenho da mina.

Nesse contexto, operações de mineração de grande porte utilizam amplamente escavadeiras elétricas de elevado porte e capacidade, como os modelos Caterpillar 7495HD e 7495HR. O modelo 7495HD apresenta peso operacional de aproximadamente 1.295.777 kg e capacidade de carga de 90 toneladas, enquanto o modelo 7495HR possui peso operacional de cerca de 1.382.400 kg e capacidade de 120 toneladas, configurando-se entre os maiores equipamentos disponíveis para movimentação de grandes volumes de minério. Esses equipamentos são amplamente empregados em operações minerárias ao redor do mundo, sobretudo em função de sua elevada produtividade, robustez e confiabilidade estrutural (Silva, 2024).

Considerando a elevada criticidade desses ativos no processo produtivo, o presente trabalho tem como foco os principais sistemas mecânicos dessas escavadeiras elétricas de grande porte. Tais sistemas exercem influência direta sobre os principais indicadores de desempenho operacional e sobre a disponibilidade física dos equipamentos. No entanto, a elevada complexidade operacional associada às condições severas de operação contribui para a recorrência de manutenções corretivas e substituições frequentes de componentes ao longo do ciclo de vida dos ativos, resultando em expressivos custos financeiros para as operações de mineração.

Tradicionalmente, os ciclos de substituição dos principais componentes mecânicos são definidos com base em recomendações técnicas dos fabricantes e em históricos consolidados de falhas. Embora amplamente adotada, essa abordagem pode conduzir tanto à realização de substituições prematuras, sem adequada previsibilidade técnica, quanto à postergação excessiva das trocas, aumentando o risco de falhas inesperadas, a indisponibilidade operacional e os custos associados. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de metodologias mais robustas e quantitativas que permitam compreender o comportamento de falha dos componentes ao longo do tempo e apoiar a tomada de decisão em manutenção.

Nesse cenário, a aplicação da Análise de Dados de Vida (*Life Data Analysis* - LDA) apresenta-se como uma ferramenta fundamental da engenharia de confiabilidade, possibilitando a modelagem estatística do tempo até a falha, a consideração de dados censurados e a estimativa da confiabilidade dos componentes ao longo do ciclo de vida. A utilização da LDA permite identificar padrões de falha, estimar a vida útil dos ativos e definir estratégias de manutenção mais assertivas, baseadas no comportamento real dos equipamentos em operação.

Para a aplicação da metodologia e verificação dos resultados, foram utilizados dados históricos de paradas corretivas e preventivas referentes ao período de 2020 a 2025, abrangendo os quatro principais sistemas mecânicos das escavadeiras: elevação, escavação, giro e locomoção. Adotou-se como critério de análise um intervalo de confiabilidade entre 60% e 70%, definido com base em estudos internos de engenharia e nas condições operacionais específicas dos ativos analisados. Esse intervalo foi selecionado por representar um equilíbrio entre risco operacional e otimização de custos ao longo do ciclo de vida.

No que se refere à avaliação econômica, foram considerados os custos de aquisição dos componentes, dos respectivos kits de instalação e o lucro cessante associado à indisponibilidade dos equipamentos. O lucro cessante foi definido como o volume de minério que deixou de ser lavrado durante o período em que o equipamento permaneceu indisponível para operação em função das intervenções de manutenção. Para sua estimativa, foram consideradas as horas previstas nos planos de manutenção associados a cada componente analisado. Dessa forma, o presente estudo busca demonstrar que a aplicação sistemática da Análise de Dados de Vida pode contribuir de maneira significativa para a ampliação da vida útil dos principais sistemas mecânicos das escavadeiras elétricas, a redução das falhas inesperadas e a mitigação dos custos operacionais e financeiros associados à manutenção, fornecendo subsídios técnicos consistentes para a tomada de decisão em ambientes de mineração de grande porte.

REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a confiabilidade de um item pode ser definida como a probabilidade deste desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período e sob condições ambientais predeterminadas. Um conjunto de dados de falha pode ser transformado em uma distribuição de dados que pode obedecer diferentes critérios e ter um formato único tais quais as distribuições normais, Gama, exponencial, Weibull, entre outras, sendo esta última a mais utilizada (Cruz, 2013). A distribuição Weibull é distribuição de confiabilidade utilizada para definir tempos até a falha de equipamentos ou sistemas. A função densidade de probabilidade é definida pela Equação 1.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (1)$$

Onde:

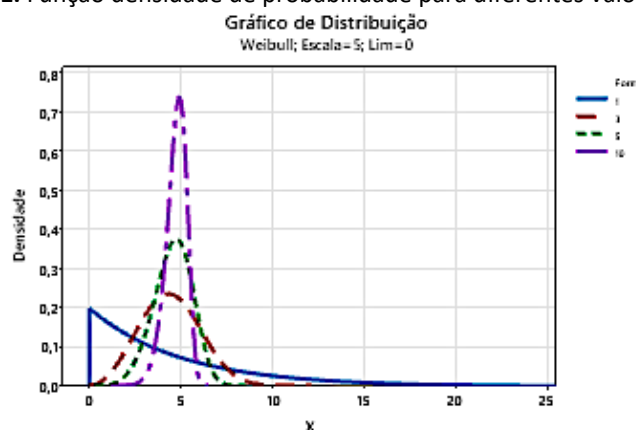
β : Parâmetro de forma

η : Parâmetro de escala/vida característica

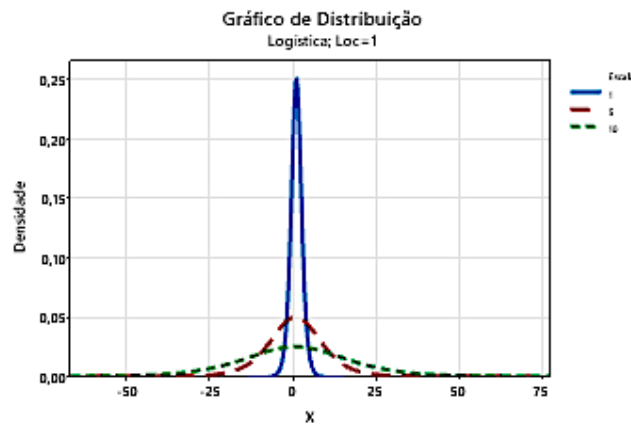
γ : Parâmetro de posição

Cada um desses parâmetros está associado a uma modificação específica na função densidade de probabilidade. O parâmetro de forma determina o formato da curva, podendo assumir configurações que se aproximam de distribuições como a exponencial, normal, entre outras. O parâmetro de escala controla a dispersão dos dados, influenciando se a curva será mais achatada ou mais alongada (Compass, 2022). Já o parâmetro de posição define o deslocamento da distribuição ao longo do eixo, indicando o ponto a partir do qual a curva se estabelece (Figuras 1, 2 e 3).

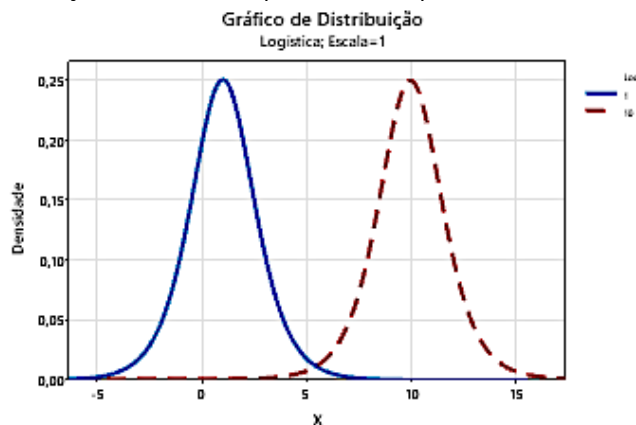
Figura 1. Função densidade de probabilidade para diferentes valores de β



Fonte: Minitab (2025).

Figura 2. Função densidade de probabilidade para diferentes valores de η 

Fonte: Minitab (2025).

Figura 3. Função densidade de probabilidade para diferentes valores de γ 

Fonte: Minitab (2025).

O parâmetro de escala está diretamente relacionado à vida característica do ativo. É o tempo no qual aproximadamente 63,2% dos itens já falharam, este parâmetro indica quanto maior o η , maior a vida útil típica do componente ou sistema, esse parâmetro também permite comparar os cenários antes e depois de melhorias operacionais. Já o parâmetro de inclinação define o modo de falha dominante, mostrando como a taxa de falhas evolui ao longo do tempo. Por exemplo, se $\beta < 1$ as falhas estão concentradas em defeitos iniciais tais quais problemas de montagem do ativo, se $\beta = 1$ indica que as falhas são aleatórias e se $\beta > 1$ as falhas ocorrem por desgaste.

A distribuição de Weibull é amplamente utilizada em estudos de confiabilidade por conta da elevada flexibilidade paramétrica que essa distribuição oferece. Essa característica permite que a distribuição se ajuste a diferentes comportamentos probabilísticos, sendo capaz de representar ou se aproximar de distribuições clássicas tais como a exponencial e a normal, entre outras (OZAWA, 2017). A versatilidade dessa distribuição a torna especialmente adequada para modelar dados com diferentes padrões de variabilidade e risco. Em síntese, o entendimento do conceito de confiabilidade aliado com a distribuição de dados referentes aos dados que são inseridos na análise de LDA é um processo de suma importância para posterior definição do aumento de vida útil de um ativo.

METODOLOGIA

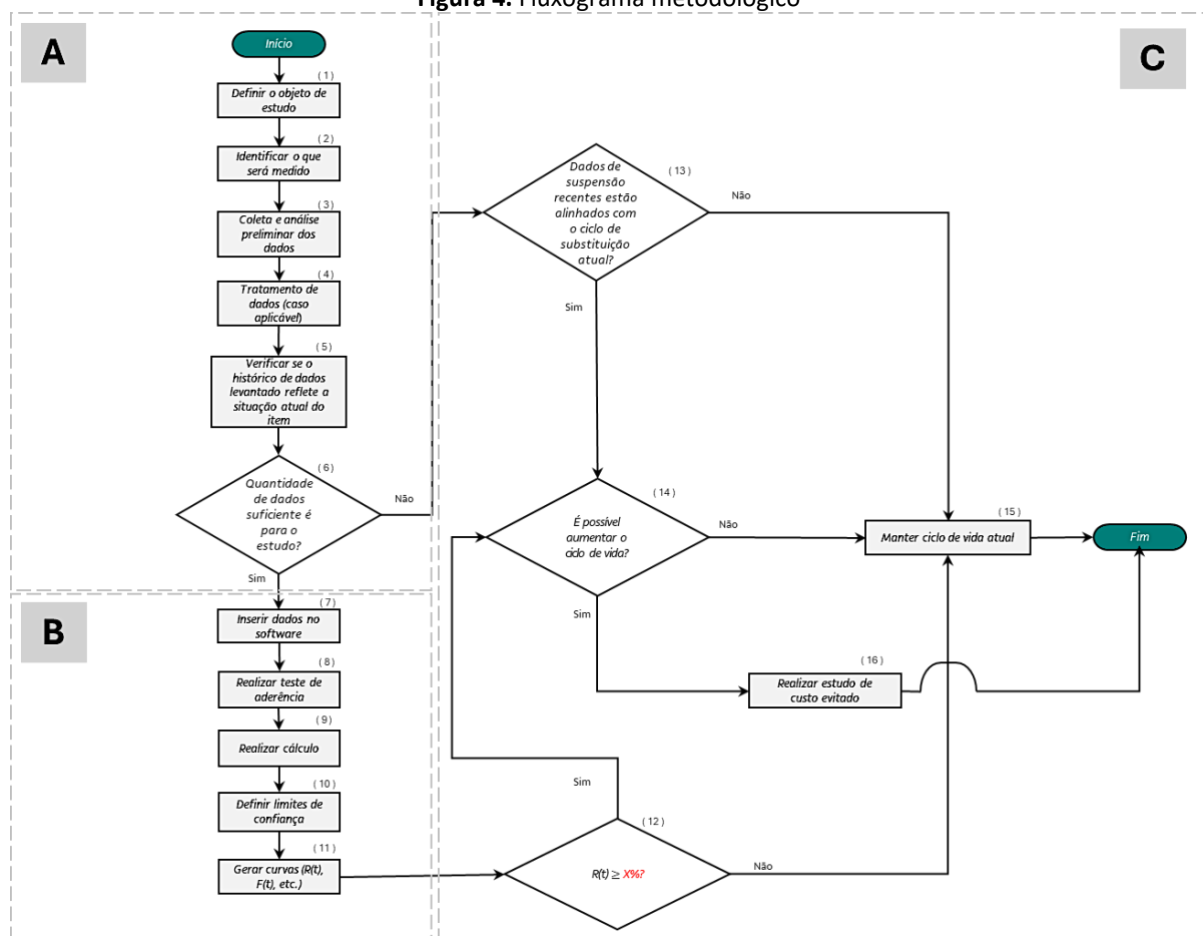
Para este documento é utilizado o método de pesquisa aplicada, quantitativa e exploratório-descritiva, uma vez que são utilizados métodos estatísticos para gerar resultados práticos, aumentar a vida útil do ativo e estimar ganhos financeiros, além disso este estudo é baseado em dados numéricos de falha e movimentação dos componentes estudados.

O objeto de estudo é definido como a vida útil do ativo e a área de estudo equivalente está relacionada a engenharia de confiabilidade com interface com a engenharia de manutenção e produção especialmente no contexto de definição de estratégias de substituições do ativo com base em condição temporal.

Diversos métodos podem ser utilizados para a análise estatística de confiabilidade, sendo um deles o método de Análise de Dados de Vida (LDA, *Life Data Analysis*, em inglês). Essa técnica desempenha um papel fundamental na chamada engenharia de confiabilidade, pois permite estimar a vida útil e a probabilidade de falha a nível de sistemas, componentes e item. Por meio da LDA, é possível identificar a ocorrência de falhas e caracterizar a distribuição de vida do ativo estudado, dessa forma é possível definir estratégias de manutenção preventiva e baseada em condição temporal (Luz et al., 2025).

Essa abordagem contribui na otimização de uso de recursos, redução de custos operacionais e aumento da segurança e eficiência operacional. Dessa forma, a LDA constitui uma ferramenta essencial para a iniciação de estudos de confiabilidade, fornecendo a base necessária para avaliar o comportamento dos equipamentos ao longo do ciclo de vida, identificando o percentual de confiabilidade em um determinado tempo. Assim, elaborou-se metodologia fundamentada na aplicação da LDA, com objetivo de analisar o potencial aumento da vida útil do ativo e estimar o ganho financeiro decorrente do aumento. Dividida em três partes: **A.** Coleta, tratamento dos dados de falha e suspensão; **B.** Realização de cálculos utilizando *software* estatístico; **C.** Análise do aumento da vida útil (Figura 4).

Figura 4. Fluxograma metodológico



Fonte: Autores (2025).

Na **etapa A** define-se a coleta e tratamento dos dados utilizados conforme os passos abaixo:

1. **Definir o objeto de estudo:** Nesta etapa identifica-se o sistema, componente ou item a ser avaliado no estudo de LDA;
2. **Estabelecer os parâmetros a serem medidos:** Define-se os indicadores relacionados à confiabilidade que serão analisados;
3. **Coletar e analisar os dados:** Nesta fase, são coletados os dados de tempo até a falha e as suspensões necessárias para o estudo;
4. **Tratar dados:** Conforme a base de dados obtida, é feito o tratamento de dados para eliminar valores discrepantes (outlier), corrigir erros, calcular o tempo até a falha, entre outras ações quando necessário;
5. **Analisar o histórico de dados:** Neste passo é necessário avaliar se os dados coletados de tempos até a falha refletem as condições atuais do objeto de estudo;
6. **Confirmar a quantidade de dados:** Nesta etapa é verificado se existe na base de dados levantada ao menos 3 dados de falha, uma vez que para estudos de LDA, é necessário ter pelo menos 3 dados de falha para garantir a consistência da análise.

Seguindo para a próxima etapa, na **etapa B** tem-se:

7. **Inserir os dados no software:** Se a saída do *bloco 6* for **positiva**, é carregada a base de dados de falhas e suspensões em um software dedicado à análise estatística;
8. **Realizar o teste de aderência:** Nesta etapa é feito o teste de aderência, este passo tem como objetivo determinar a melhor distribuição estatística (Normal, Weibull, exponencial, dentre outros) para o conjunto de falhas. Para realização deste teste, antes é necessário definir o método de estimativa de parâmetros;
9. **Realizar cálculos:** Após a distribuição ser determinada, os cálculos são efetuados;
10. **Determinar os limites de confiança:** Inserir limites de confiança (unilateral ou bilateral) para analisar resultados, caso haja necessidade;
11. **Gerar curvas do estudo:** Gerar curvas de confiabilidade vs tempo, taxa de falha vs tempo, por exemplo.

Na **etapa C** seguinte, é onde os resultados dos estudos são validados, conforme os seguintes passos:

12. **Medir a confiabilidade em relação a um valor X:** É analisado se o percentual de confiabilidade estimado é maior que um valor **X**, sendo esse valor podendo estar na mediana, limite inferior ou limite superior e podendo ser definido de acordo com normas técnicas, recomendação do fabricante, engenheiros, dentre outros. Se positivo, segue para o bloco 14 e caso negativo, segue para o bloco 17;
13. **Verificar dados de suspensão:** Nesta fase, caso a saída do bloco 6 seja **negativa**, é verificado se dados de suspensão (S) recentes estão próximos ao ciclo de substituição atual, pois em caso positivo isso significa que o ativo está atingido a vida útil atual;
14. **Aumentar o ciclo de vida:** Nesta fase, é essencial verificar se a **taxa de falhas está aumentando**, indicando que o ativo entrou na etapa de desgaste natural. Esse é o momento da vida útil em que há maior oportunidade para substituição por tempo, visando a otimização de custo e substituição. Caso a saída do bloco 12 e do bloco 13 seja **positiva**, é verificado se é possível o aumento de vida útil;
15. **Manter o ciclo de vida atual:** Caso a saída do bloco 12 e 14 sejam **negativas** é mantido o ciclo de vida atual do objeto de estudo;
16. **Realizar estudo de custo evitado:** Caso a saída do bloco 14 seja **positiva** é realizado o estudo de custo evitado.

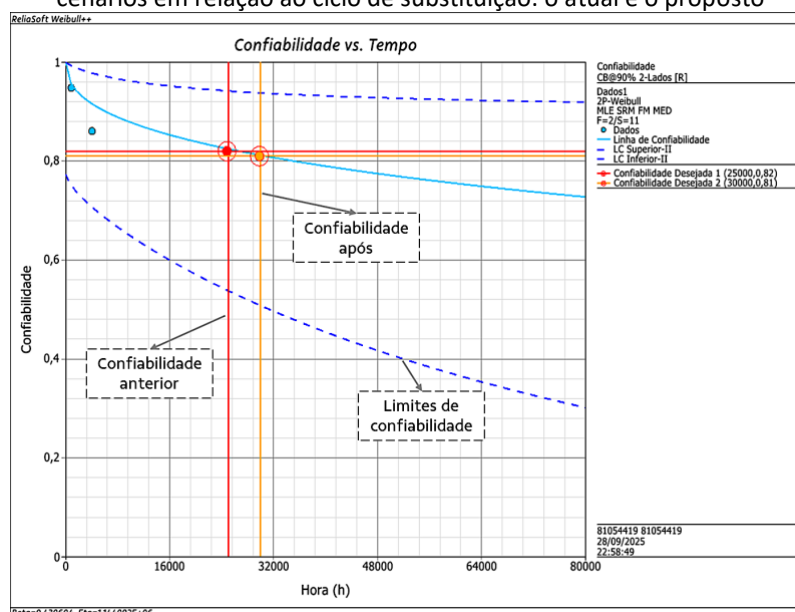
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes analisados nos quatro sistemas analisados apresentam ciclo de substituição atual e nível de confiabilidade, obtido através da aplicação do LDA (Tabela 1).

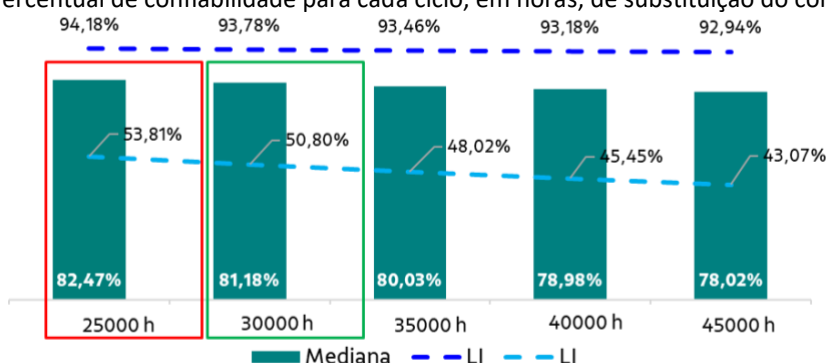
Tabela 1. Percentual de confiabilidade atual para componentes da frota 7495HD/HR

Componente	Confiabilidade Inferior	Confiabilidade Mediana	Confiabilidade Superior	Ciclo Atual (h)
Redutor de Escavação	48,86%	72,13%	86,15%	20.000
Motor de locomoção	83,74%	73,37%	99,95%	25.000
Redutor de elevação	53,81%	82,47%	94,18%	25.000
Motor de elevação	39,39%	66,55%	83,69%	25.000
Redutor de giro	49,71%	68,72%	81,76%	25.000
Motor de giro	47,27%	81,33%	92,37%	25.000

Conforme a análise da tabela, ao observar a confiabilidade dos componentes na mediana verifica-se que os valores obtidos oferecem viabilidade da aplicação da metodologia proposta com o objetivo do aumento da vida útil dos ativos considerando o ciclo de substituição atual. Para fins de validação do método e análise dos resultados gráficos, a metodologia proposta foi aplicada a um redutor de elevação, considerado como estudo de caso (Figura 5).

Figura 5. Curva de confiabilidade gerada por um software estatístico especialista, com as marcações dos dois cenários em relação ao ciclo de substituição: o atual e o proposto

Conforme visto, o ciclo atual de substituição do componente é de 25.000 horas com cerca de 53,81% de confiabilidade e o ciclo proposto é de 30.000 horas com confiabilidade de 50,80% estando aderente a faixa de percentual de confiabilidade estimada para este ativo e com um aumento de 20% em relação ao ciclo atual (Figura 6).

Figura 6. Percentual de confiabilidade para cada ciclo, em horas, de substituição do componente

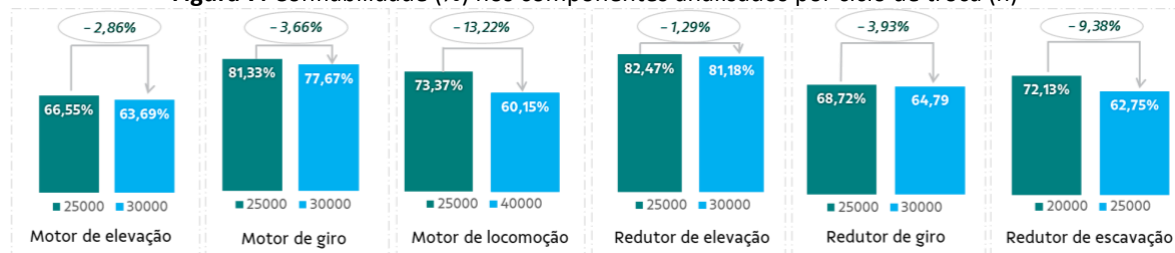
O aumento do ciclo de vida resulta em um ganho financeiro potencial estimado em aproximadamente três vezes os custos associados aos componentes e ao kit de instalação ao longo de um horizonte de planejamento de cinco anos, entre 2026 e 2031. A projeção é baseada na redução do número de substituições preventivas em 3 vezes, uma vez que o aumento do ciclo de substituição implica diretamente em menor frequência de trocas preventivas ao longo do período analisado.

Os resultados, para todos os componentes analisados, exibidos na Tabela 2, percebe-se que há aumento do ciclo de substituição para todos os componentes propostos e consequentemente substituições evitadas ao longo do horizonte de planejamento, conforme observado na última coluna. Também, observa-se o percentual de confiabilidade nos dois cenários de ciclo de substituição (Figura 7).

Tabela 2. Projeção de troca por ciclo de substituição

Componentes	Qte. de anos	Ciclo Atual	Ciclo Proposto	Qte. de Substituições evitadas
Motor de elevação	5	25.000h	30.000h	3
Motor de giro		25.000h	30.000h	4
Motor de locomoção		25.000h	40.000h	9
Redutor de giro		25.000h	30.000h	3
Redutor de elevação		25.000h	30.000h	5
Redutor de escavação		20.000h	25.000h	0

Figura 7. Confiabilidade (%) nos componentes analisados por ciclo de troca (h)



As alterações nos ciclos de substituição dos componentes resultam em um ganho financeiro potencial significativo, decorrente da redução no consumo de componentes e de kits de instalação, bem como do aumento do tempo disponível para a lavra de minério. Considerando a junção desses fatores, estima-se que os ganhos financeiros potenciais sejam na ordem de 36% do custo associado a essa frota toda no ano de 2025. Logo, tem-se que com o aumento de vida útil dos componentes dessa frota os percentuais de confiabilidade mantem-se dentro dos limites pré-definidos, dessa forma não apresentando risco para a manutenção e gera ganho financeiro potencial para a companhia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstra da LDA como uma ferramenta eficaz para a avaliação da confiabilidade e otimização dos ciclos de substituição de componentes em escavadeiras elétricas de grande porte no ramo da mineração. A metodologia desenvolvida permitiu analisar o comportamento de falha dos principais sistemas mecânicos dos equipamentos estudados, fornecendo embasamento técnico para a tomada de decisão em manutenção baseada em confiabilidade.

A partir desta análise, é possível ajustar distribuições estatísticas adequadas e estimar os níveis de confiabilidade associados aos ciclos de substituição atualmente praticados. Os resultados indicam que, para a maioria dos componentes avaliados, os percentuais de confiabilidade na mediana permanecem dentro da faixa estabelecida como aceitável viabilizando o aumento dos ciclos de substituição sem comprometer a confiabilidade dos ativos.

A aplicação da metodologia ao redutor de elevação evidencia o potencial de aumento de vida útil do componente, bem como os impactos positivos dessa alteração ao longo do horizonte de planejamento. A redução do número de substituições preventivas, o aumento do tempo disponível para a lavra, resulta em ganhos financeiros expressivos, reforçando a importância da integração entre análises de confiabilidade e avaliações econômicas no contexto da gestão de ativos industriais.

De maneira geral, os resultados obtidos para os componentes analisados indicam que a adoção de ciclos de troca aderentes ao comportamento real de falha dos ativos gera benefícios significativos, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro. Além da redução dos custos associados à aquisição de componentes e kits de instalação, observa-se também a mitigação de perdas relacionadas à indisponibilidade dos equipamentos, contribuindo para a melhoria dos indicadores de desempenho da operação como Disponibilidade Física (DF).

Por fim, conclui-se que a metodologia proposta se apresenta como uma abordagem consistente e replicável para estudos de confiabilidade em equipamentos de mineração, podendo ser aplicada a outros ativos e contextos operacionais.

REFERÊNCIAS

Compass. (2022). Conceitos de Confiabilidade. Recuperado de <https://www.ctscompass.com/2022/05/17/conceitos-de-confiabilidade/>

Cruz, W. P. (2013). Análise estatística usando a distribuição de Weibull de ensaios de fadiga axial em juntas soldadas pelo processo GMAW e GMAW-CW mineração (Trabalho de Conclusão de Curso). *Universidade Federal do Pará*, Marabá, PA, Brasil.

Fogliatto, F. S. & Ribeiro, J. L. D. (2009). Confiabilidade e manutenção industrial. 1ª ed. Rio de Janeiro: *GEN LTC*.

Luz, J. V. P. & Viana, H. R. C. (2025). Desenvolvimento de uma ferramenta em *python* para análise de dados de tempo de falha com aplicações em engenharia de manutenção.

Revista

Aracê.

<https://doi.org/10.56238/arev7n7-175>

Minitab. (2025). Parâmetros. Recuperado de <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/parameters/shape/>

Ozawa, M. T. (2017). Aplicação de parâmetros da distribuição de Weibull na análise do potencial energético de um microgerador eólico em cidades do estado do Paraná (Trabalho de Conclusão de Curso). *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, Ponta Grossa, PR, Brasil.

Silva, M. P. B. (2024). Estudo sobre a viabilidade da implementação do carregamento bilateral em escavadeiras de grande porte na mineração (Trabalho de Conclusão de Curso). *Universidade Federal de Catalão*, Catalão, GO, Brasil.
