LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO BASEADAS NO MODELO DE DELAY TIME PARA SISTEMAS DE DIFÍCIL ACESSO

Yan Ribeiro de Melo
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
yan.ribeiro@ufpe.br

Augusto José da Silva Rodrigues
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro Acadêmico do Agreste (CAA)
Av. Marielle Franco, s/n – Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55014-900
augusto.jsrodrigues@ufpe.br

Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
cristiano.avcavalcante@ufpe.br

RESUMO

Sistemas de difícil acesso são fundamentais para a sociedade, mas enfrentam desafios significativos devido aos altos custos e dificuldades operacionais. Este estudo propõe políticas de manutenção, aprimorando propostas da literatura, baseadas no modelo de delay-time, que considera comportamentos atípicos do sistema antes da falha. O estudo enfatiza a importância de desenvolver e implementar políticas de manutenção eficientes, reduzindo a lacuna entre teoria e prática. Foram desenvolvidos três produtos tecnológicos para calcular as métricas de decisão: taxa de custo, taxa de inatividade e tempo médio entre falhas operacionais, facilitando a implementação das políticas propostas. Esses produtos foram desenvolvidos em Python e implementados no Streamlit, permitindo replicar e adaptar as análises em diferentes contextos, melhorando a operacionalidade de sistemas de difícil acesso.

PALAVRAS-CHAVE. Manutenção. Sistemas de Difícil Acesso. Delay time.

Tópicos: POI – PO na Indústria; EST&MP – Estatística e Modelos Probabilísticos

ABSTRACT

Hard-to-reach systems are essential for society but face significant challenges due to high costs and operational difficulties. This study proposes maintenance policies that improve upon those suggested in the literature, based on the delay-time model, which considers atypical system behavior before failure. The study emphasizes the importance of developing and implementing efficient maintenance policies to bridge the gap between theory and practice. Three technological tools were developed to calculate decision metrics: cost rate, downtime rate, and mean time between operational failures, facilitating the implementation of the proposed policies. These tools were developed in Python and implemented on Streamlit, allowing for the replication and adaptation of analyses in different contexts, thereby improving the operability of hard-to-reach systems.

KEYWORDS. Maintenance. Hard-to-reach systems. Delay time.

Topics: POI – Operations Research in Industry; EST&MP – Statistics and Probabilistic Models

1. Introdução

Sistemas de difícil acesso são aqueles que apresentam barreiras significativas de natureza financeira, técnica e/ou operacional, resultando frequentemente em altos custos operacionais e de manutenção [Zhou e Yin 2019]. Exemplos desses sistemas incluem, mas não se limitam a, parques eólicos offshore [Kang e Soares 2020], redes de distribuição de água [Scarf et al. 2024] e poços artesianos [Algaydi et al. 2019].

Cada um desses sistemas é fundamental para o funcionamento pleno da sociedade e para o atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela [Organização das Nações Unidas 2015]. Os parques eólicos offshore, por exemplo, são alternativas promissoras em relação aos recursos convencionais de produção de energia. As redes de distribuição de água são vitais para assegurar o acesso à água potável, juntamente com os poços artesianos, que são especialmente importantes em áreas onde as fontes são limitadas [Sayre e Taraz 2019], contribuindo significativamente para a segurança hídrica.

Entretanto, várias barreiras contribuem para os altos custos de operação e manutenção (O&M) desses sistemas. Nos parques eólicos offshore, há a necessidade de barcos especializados ou até mesmo transporte aéreo para atividades de manutenção [Halvorsen-Weare 2013], além da exposição a ambientes adversos, como tempestades, ventos fortes e altas ondas [Lubing et al. 2020]. Nos sistemas de distribuição de água, a manutenção exige escavações, impactando a infraestrutura ao redor e reduzindo o desempenho do sistema [Tornyeviadzi et al. 2022]. Além disso, há a necessidade de equipamentos especializados e, dependendo da localização, o acesso a áreas remotas para a manutenção de poços artesianos.

A manutenção de sistemas de difícil acesso representa um desafio significativo para diversas infraestruturas essenciais. É necessário propor políticas de manutenção eficientes ou aprimorar as políticas já existentes para garantir a operacionalidade e a sustentabilidade desses sistemas. Além disso, é crucial reduzir a lacuna entre teoria e prática por meio do desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão específicos para essa área. Este trabalho tem como objetivo apresentar políticas existentes na literatura que são aplicáveis a sistemas de difícil acesso, destacando possíveis evoluções dos modelos. Adicionalmente, busca desenvolver e apresentar soluções tecnológicas que facilitem a implementação dessas políticas.

2. Descrição do Método e Contribuições

O método de delay time, proposto por [Christer 1987], baseia-se na suposição de que, antes de falhar, o sistema apresenta um comportamento atípico que resulta em uma redução de desempenho. Esse comportamento, caracterizado como defeito, pode manifestar-se de várias formas, como vibração excessiva, calor excessivo, odor, redução da produtividade, aumento da variação da qualidade, entre outros.

O método de delay-time tem sido amplamente explorado na literatura para a proposição de políticas de manutenção em diversos contextos, incluindo sistemas de difícil acesso. [Alotaibi et al. 2023] propuseram uma política de inspeção motivada por um estudo de caso em poços artesianos localizados remotamente. A política representa uma realidade em que inspeções oportunas podem ser realizadas durante missões em outros sistemas ou por conveniência, enquanto inspeções agendadas seguem regulamentações estatuárias ou de segurança.

[Scarf et al. 2009] propuseram uma política híbrida de inspeção e substituição para sistemas críticos, ou seja, aqueles em que as falhas são auto anunciadas. A principal contribuição deste estudo é a consideração da variabilidade na qualidade das ações de manutenção, um aspecto de grande relevância quando os sistemas estão sujeitos a ambientes adversos.

[Melo et al. 2023] propuseram uma política híbrida de inspeção e substituição preventiva e oportuna para sistemas geograficamente distribuídos com altos custos logísticos e acesso restrito, como é o caso dos parques eólicos offshore. A política proposta considera as restrições de intervalo entre visitas ao sistema para a realização das atividades de manutenção e a probabilidade de inadimplência das ações de manutenção. Além disso, também considera a variabilidade da

qualidade das ações de manutenção. O estudo toma como base os critérios de decisão taxa de custo (principal) (Equação 1) e taxa de inatividade (auxiliar) (Equação 2).

$$\text{taxa de custo} = \frac{\text{custo esperado de um ciclo de renovação}}{\text{duração esperada de um ciclo de renovação}} \quad (1)$$

$$\text{taxa de inatividade} = \frac{\text{tempo de inatividade esperado de um ciclo de renovação}}{\text{duração esperada de um ciclo de renovação}} \quad (2)$$

Tomando como base os estudos apresentados, esta pesquisa aponta algumas evoluções nas modelagens propostas. No contexto abordado por [Alotaibi et al. 2023], propõe-se a inclusão da inadimplência nas ações de manutenção oportunas, tornando o modelo de manutenção ainda mais realista. Esse ajuste reconhece que as inspeções oportunas podem não ser viáveis devido à indisponibilidade de sobressalentes.

Com base no estudo de [Scarf et al. 2009], está sendo desenvolvido um estudo de caso para bombas submersas em um sistema de distribuição de água. Este estudo incorpora inovações, como a consideração de modos competitivos de falha, que se referem a situações em que o sistema pode falhar de diversas maneiras. No caso das bombas submersas, elas estão sujeitas tanto a processos de degradação contínua, como desgaste mecânico e corrosão, quanto a processos de choque, como obstrução e cavitação.

Adicionalmente, esta pesquisa propõe a consideração de um novo critério de decisão para a avaliação da política de manutenção proposta por [Melo et al. 2023], especificamente o tempo médio entre falhas operacionais (Equação 3).

$$\text{tempo médio entre falhas operacionais} = \frac{\text{duração esperada de um ciclo de renovação}}{\text{prob. de ciclo de renovação encerrar em uma falha}} \quad (3)$$

3. Resultados

Nesta seção, são apresentados três produtos tecnológicos desenvolvidos pelos autores, os quais calculam a taxa de custo para cada uma das políticas de manutenção propostas. Para a última política apresentada, são também calculadas a taxa de inatividade e o tempo médio entre falhas operacionais. A importância desses protótipos reside em facilitar a implementação das políticas de manutenção propostas, ajudando a preencher a lacuna entre a teoria e a prática.

Os produtos tecnológicos foram desenvolvidos na linguagem de programação Python e implementados no framework de código aberto Streamlit. O objetivo é permitir que o usuário replique as análises realizadas por [Alotaibi et al. 2023], [Scarf et al. 2009] e [Melo et al. 2023] através da aplicação das políticas de manutenção, ou mesmo realize novas análises em estudos de caso que se adequem ao contexto das políticas propostas, como em sistemas de difícil acesso. Além disso, como mencionado anteriormente, os protótipos são evoluções das políticas de manutenção propostas, permitindo a avaliação de características não exploradas pelos autores originais.



(a) (b) (c)

Figuras 1. Política de Manutenção (a) GWH, (b) WDN e (c) OWT

A Figura 1 apresenta os produtos tecnológicos desenvolvidos, que podem ser acessados no website da aplicação [Melo et al. 2024]. É importante que o usuário esteja ciente das suposições e restrições das políticas de manutenção antes de aplicá-las, mas não é necessário compreender os

modelos matemáticos subjacentes, o que constitui uma vantagem significativa dos sistemas de apoio à decisão propostos.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

Referências

Algaydi, B.A.M., Subyani, A.M. e Hamza, M.H.M.M. (2019). Investigation of Groundwater Potential Zones in Hard Rock Terrain, Wadi Na'man, Saudi Arabia. Groundwater, 57:940-950.

Alotaibi, N. M., Scarf, P., Cavalcante, C. A., Lopes, R. S., Silva, A. L., Rodrigues, A. J. e Alyami, S. A. (2023). Modified-opportunistic inspection and the case of remote, groundwater well-heads. Reliability Engineering & System Safety, 237:109389.

Christer, A. H. (1987). Delay-time model of reliability of equipment subject to inspection monitoring. J. Oper. Res. Soc., 38(4):329-334.

Halvorsen-Weare, E.E., Gundegjerde, C., Halvorsen, I.B., Hvattum, L.M. e Nonås, L.M. (2013). Vessel fleet analysis for maintenance operations at offshore wind farms. Energy Procedia, 35:167-176.

Kang, J. e Soares, C.G. (2020). An opportunistic maintenance policy for offshore wind farms. Ocean Engineering, 216:108075.

Lubing, X., Xiaoming, R., Shuai, L. e Xin, H. (2020). An opportunistic maintenance strategy for offshore wind turbine based on accessibility evaluation. Wind Engineering, 44(5):455-468.

Melo, Y. R., Cavalcante, C. A., Scarf, P. e Lopes, R. S. (2023). A hybrid maintenance policy with fixed periodic structure and opportunistic replacement. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 237(3):579-591.

Melo, Y. R., Rodrigues, A. J. e Cavalcante, C. A. (2024). Web page. `https://sbpo2024-delaytime.streamlit.app/`. Acessado: 2024-05-26.

Organização das Nações Unidas. (2015). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU. Disponível em: `https://sdgs.un.org/2030agenda`. Acessado: 2024-05-26.

Sayre, S.S. e Taraz, V. (2019). Groundwater depletion in India: Social losses from costly well deepening. Journal of Environmental Economics and Management, 93:85-100.

Scarf, P. A., Cavalcante, C. A., Dwight, R. A. e Gordon, P. (2009). An age-based inspection and replacement policy for heterogeneous components. IEEE Transactions on Reliability, 58(4):641-648.

Scarf, P., Alotaibi, N., Cavalcante, C. A., Rodrigues, A. J. e Melo, Y. R. (2024). On periodic maintenance for a protection system. In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 1748006X241254420.

Tornyeviadzi, H.M., Mohammed, H. e Seidu, R. (2022). Dynamic segment criticality analysis: A precursor to scheduling of maintenance routines in water distribution networks. Alexandria Engineering Journal, 61(12):9261-9272.

Zhou, P. e Yin, P.T. (2019). An opportunistic condition-based maintenance strategy for offshore wind farm based on predictive analytics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109:1-9.