



Simulação da manutenção utilizando software FlexSim

Maintenance simulation using flexsim software

Rogério Dezem Silva^{1,3}, Gabriel Inácio Pontin¹, Cleusimar Cardoso Alves Almeida², Sandra Menezes de Carvalho Abreu², Nelson José Peruzzi³

¹ Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB);

² Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP);

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP);

Resumo

Na planta industrial, há equipamentos que sofrem alterações no seu processo produtivo, devido a falha. Estas falhas estão relacionadas com erro operacional, falha de equipamento e demora da manutenção em solucionar o defeito. Assim, para trabalhar com a manutenção e suas estatísticas, é necessário um banco de dados com informações para auxiliar na possibilidade de quebra do equipamento, o que requer uma visão técnica do operador. Dentro da engenharia de manutenção, é possível controlar o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo de manutenção (MTTR). Com o avanço tecnológico, ferramentas são desenvolvidas para efetuar simulação e, neste caso, o software FlexSim permite este tipo de serviço. Dessa forma, a simulação mostrará se a estratégia de melhorias da empresa permite ser utilizada sem correr riscos ou haver imprevistos, possibilitando assim que as empresas ou indústrias tomem uma decisão de forma a melhor satisfazer a necessidade e atendendo à missão de produzir 48,5 produtos em média por hora. Assim, a simulação é a melhor forma de visualizar os resultados para se tornar uma decisão mais assertiva.

Palavras-chave: Confiabilidade operacional; modelagem; otimização.

Abstract

In the industrial plant, there are equipment that undergoes changes in their production process, due to failure. These failures are related to operational error, equipment failure, and maintenance delays in solving the defect. Thus, working with maintenance and its statistics requires a database with information to assist in the possibility of equipment breakdown, which requires a technical view of the operator. Within maintenance engineering, it is possible to control the mean time between failures (MTBF) and maintenance time (MTTR). With technological advancement, tools are developed to perform simulation, in this case, the FlexSim software allows this type of service. In this way, the simulation will show whether the company's improvement strategy can be used without taking risks or having unforeseen events. This enables companies or industries to decide on a better way to satisfy the need and meet the mission of producing 48.5 products on average per hour. So, the simulation is the best way to visualize the results for better decision-making.

Keywords: Operational reliability; modeling; optimization.

Autor para correspondência: Rogério Dezem Silva, E-mail rogerio.silva@unifeb.edu.br ou rogerio.dezem@unesp.br

Recebido em: 26 de agosto de 2022

Aceito para publicação em: 17 de março de 2023

Introdução

Em uma planta industrial, as suas instalações estão sempre sujeitas a ocorrências de problemas que afetam seu funcionamento. Dessa forma, isto acarreta prejuízos para os empresários industriais, diminuindo a qualidade, a produtividade e a lucratividade.

A terminologia *manutenção* surgiu no cenário militar, sendo definida como conservação das unidades de combate. A manutenção é classificada em corretiva, preventiva e preditiva (Oliveira et al., 2017). Utilizando-se os dados da manutenção corretiva, preventiva e preditiva, consegue-se melhorar o gerenciamento de manutenção.

Os planos de manutenção são elaborados embasados em análises quantitativas, para melhor entender o tipo e o intervalo de manutenção mais adequado (Komninakis et al., 2018). A manutenção é responsável por conservar e restaurar peças, equipamentos, máquinas ou sistemas para estabelecer uma condição operável (Lavor Filho et al., 2018). As práticas de manutenção interrompem diretamente a produção porque a disponibilidade do equipamento está vinculada ao projeto da linha de produção e à resposta à demanda (Leme & Silva, 2018). Diante dessa situação, a interseção efetiva do departamento de manutenção com o departamento de produção é de grande importância, pois afeta diretamente a qualidade e a produtividade (Teixeira, 2022).

Dessa forma, os empresários buscam uma maior vantagem competitiva, quando as indústrias necessitam de investimento em inovação, melhorando assim o processo de gestão de manufatura (Birk & Andrade, 2018).

As empresas industriais têm buscado medir a eficiência de seus sistemas, para identificar e eliminar as perdas de modo a manter a competitividade dos seus sistemas produtivos (Biehi & Sellitto, 2015). Dentro da indústria, a atividade de manutenção já foi considerada um mal necessário, mas, atualmente, ela é uma importante ferramenta de gestão estratégica (César & Cavalcante, 2018). Trabalhar com questões relacionadas à confiabilidade da planta e ao desempenho, como receita de produção, custos de reparo e manutenção, requer utilizar ferramenta de gestão para gerenciar as complexidades da manutenção (Teixeira, 2022).

Um modo de aumentar o desempenho da manutenção é formular e implementar uma estratégia do controle da manutenção (Biehi &

Sellitto, 2015). O estudo do tempo entre as falhas nos permite ter uma confiabilidade na manutenção através das análises diferentes de distribuição e probabilidades (Campos, 2018).

Na simulação de eventos discretos, utilizam-se modelos que permitem a análise do processo com pouca ou nenhuma interferência (Cantão et al., 2018). O uso da simulação é essencial na tomada de decisão, pois gargalos e fontes de erros, problemas ou desperdícios são encontrados no processo e, de acordo com o resultado, confere-se maior confiança na tomada de decisão (Lavor Filho et al., 2018).

Nas empresas modernas, trabalhar com manutenção é um desafio muito promissor, uma vez que esta área pode ser considerada um problema no sistema produtivo. Nos mercados nacional e internacional, existem várias empresas, principalmente no ramo industrial, que utilizam técnicas de manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Cada filosofia de manutenção tem uma ideologia e atende aos diversos tipos de segmentos (Teixeira, 2022). A utilização de softwares de simulação permite ter uma melhor análise de resultados antes de uma tomada de decisão, para que esta venha mais embasada em vez de somente resultar da tentativa de acertos e erros. A reengenharia tem disponíveis e utiliza ferramentas de grande exatidão que auxiliam na simulação, minimizando os custos e conseguindo ser mais proativo nas mudanças a serem tomadas.

No processo produtivo de uma empresa, as linhas de produção trabalham com um sistema de produtividade elevado, o qual sempre sofre alterações devidas a alguns fatores, como o da manutenção.

Para conseguir efetuar uma previsão de quebra ou parada indesejada no processo produtivo, é necessário trabalhar com dados estatísticos de manutenção, utilizando um banco de dados com informações sobre o que foi o defeito, como foi solucionado, quanto tempo o equipamento ficou parado e quanto tempo levou para resolver o defeito, e o que se deixou de produzir. O defeito pode acarretar, assim, ineficiência produtiva durante o processo operacional, não satisfazendo o que foi planejado.

O processo de simulação permite mostrar resultados desejados ou indesejados antes de realmente efetuarem-se as alterações no meio físico da empresa. Analisando-se os resultados obtidos na simulação, verifica-se que a produção

terá um aumento de produtividade com a redução das paradas por manutenção, permitindo assim uma melhor tomada de decisão por meio de gestão.

Com isso, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise de simulação através do software FlexSim, verificando se há a possibilidade de simular as paradas por MTBF e MTTR, além de verificar a utilização de técnicas relacionadas a Engenharia de Produção para levantar dados para simulação da manutenção em software. A criação de um cenário, dentro do simulador, no qual alocam-se três operadores para avaliação, o que possibilitará, no processo de tomada de decisão, contratar colaboradores para a função.

Material e Métodos

A simulação é apresentada como metodologia pouco utilizada na engenharia, como forma de superar a dificuldade de realização de experimentos, sendo ela um “experimento virtual” representado num todo (ou em parte) por um sistema ou processos que o caracterizem. Na Figura 1, demonstramos o procedimento operacional no qual buscamos as informações para que sejam determinados os MTTR e MTBR para, posteriormente, introduzi-los no simulador, o qual gerará dados para análise.

Nesta secção, apresenta-se a seleção das amostradas e a construção do modelo de simulação para verificar o processo e sua performance.

Passo 1 - Coleta de dados

Do trabalho de Komninakis et al. (2018), foram retirados os dados com os quais determinou-se a confiabilidade como a probabilidade com que

um componente – ou sistemas – deve funcionar durante um determinado período.

Passo 2 - Determinação do MTTR e MTBF

Para conseguir verificar o MTTR e MTBF, temos de executar as etapas de cálculos com os quais determinamos o $R(t)$, a confiabilidade em um intervalo de tempo “t”.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

A taxa de falhas (λ) é a quantidade de falhas por unidade de tempo.

$$\lambda = \frac{\text{QUANTIDADE DE FALHA}}{\text{TEMPO DE OPERAÇÃO}} \quad (2)$$

A disponibilidade pode ser uma medida da probabilidade de um equipamento estar produzindo ou pronto para produzir.

$$\text{Disponibilidade Inerente}(\%) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100 \quad (3)$$

Vale lembrar que a disponibilidade do tempo médio entre falhas (TMEF) e o tempo médio para reparos (TMPR) são utilizados junto à disponibilidade para análise de resultados da atuação da manutenção.

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

$$TMPR = \frac{\text{Tempo total de reparos efetuados}}{\text{Quantidade de reparos}} \quad (5)$$

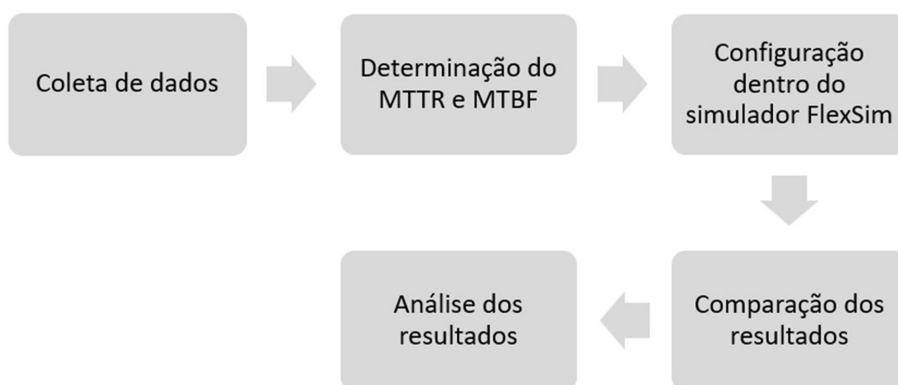


Figura 1 - Procedimento operacional.

Fonte: Própria autoria, 2023.

Manutenibilidade refere-se ao esforço necessário para realizar uma atividade de manutenção, portanto, o tempo médio de reparo (MTTR) inclui o tempo necessário para reparar e testar os equipamentos (Kominakis et al., 2018). Assim, a manutenção da confiabilidade baseia-se em indicadores como MTBF (*Mean Time Between Failures*) e MTTR (*Mean Time to Repair*) para o cálculo da disponibilidade (Birk & Andrade, 2018).

Passo 3 - Configuração do simulador dentro do FlexSim

No simulador FlexSim, vamos montar um processo em que temos cinco linhas, cada uma com sua chegada e com operador para o processo produtivo e para equipe de manutenção, conforme demonstrado na Figura 2.

Através dos dados do MTTR e MTBF, vamos efetuar a configuração do processo no ícone breakdowns, conforme Figura 3.

Assim, podemos destacar a simulação como uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo, cujo objetivo é descrever o comportamento de um sistema utilizando um software (Carreira et al., 2015). A simulação de eventos discretos envolve o estudo de modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado momentaneamente em pontos específicos no tempo (Costa & Paiva, 2018).

A simulação computacional fornece à administração/gestão de serviços, segundo Fitzsimmons & Fitzsimmons (2010), um laboratório experimental, que possibilita o estudo do modelo de um sistema real, determinando como esse sistema pode reagir às mudanças políticas, de níveis de recursos, ou às variações na demanda de clientes (Pereira & Dantas, 2017).

No sistema de manutenção, a modelagem computacional vai além de buscar novos modos de pensar, permitindo que técnicos e administrativos incorporem estratégias usuais de gerenciamento, bem como conceitos originados na confiabilidade (Faria et al., 2016).

Segundo Chung (2004), simulação de sistemas é o processo de criação e teste de um sistema usando um modelo matemático baseado em computador. Quando estudamos as filas que se formam devido a uma parada de manutenção, sendo esta programada ou não, podemos perceber o quanto este gargalo pode afetar nos custos operacionais de uma empresa (Lopes Júnior et al., 2018).

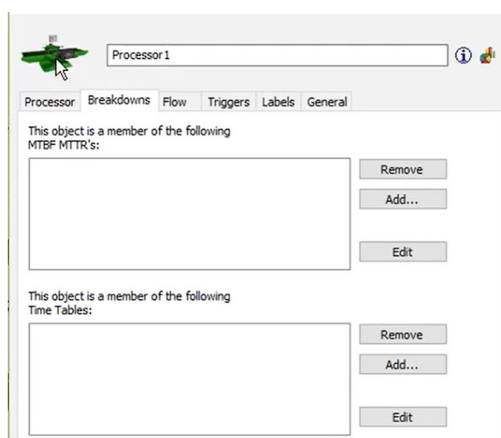


Figura 2 - Janela processo ícone breakdowns
Fonte: Própria autoria, 2023.

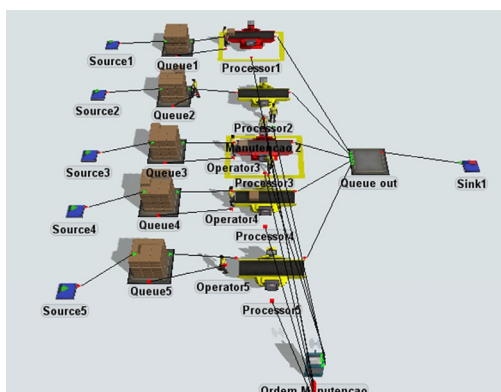


Figura 3 - Modelo de simulação com dados MTBF e MTTR.

Fonte: Própria autoria, 2023.

O processo de simulação visa garantir a utilização do software na área da engenharia em que temos a manutenção com técnicas de confiabilidade. A complexidade dos processos, produção, gestão e manutenção há muito ultrapassa os limites da experiência e das decisões rotineiras dos gestores (Faria et al., 2016).

Resultados e Discussão

A industrial 4.0 trata de novos métodos e tecnologias (simulações), permitindo um acerto antes da aplicabilidade real concreta. Do ponto de vista da pesquisa, a abordagem é quantitativa, pois utiliza simulação com dados estatísticos (dos tempos de falhas e tempos de reparos), com o

objetivo de obter a confiabilidade da simulação antes da aplicação prática em campo.

A simulação é uma forma de analisar possíveis erros no processo de forma barata e rápida, evitando as perdas que ocorreriam em testes em escala real (Reis et al., 2018). Os dados obtidos para a realização da simulação foram retirados do artigo de Komninakis et al. (2018), apresentados na Tabela 1.

No simulador, consideramos cada máquina com sua entrada independente e saídas finais em comum, conforme mostrado na Figura 3.

A simulação mostra em destaque (vermelho) quando existe uma parada por falha e o operador de manutenção trabalhando no processo de reparo. A máquina na coloração em amarelo indica que ela está em condições de trabalho. Na simulação, configuraram-se o MTBF e o MTTR, conforme a Tabela 2.

Na simulação, foi gerado um gráfico após tempo de 24 horas de uma jornada de trabalho, mostrado na Figura 4.

Através do gráfico da Figura 2, confeccionaram-se as informações demonstradas na Tabela 3, em forma numérica percentual.

Alterando o valor do MTTR com os valores da Tabela 1, obtemos as seguintes informações, conforme demonstrado na Tabela 4.

Dentro da simulação, podemos comparar os resultados que permitem visualizar as diferenças para a operação, como mostra a Figura 5.

Tabela 1- Frequência de falhas, MTTR e MTBF

Máquina	Frequência de Falhas	MTTR	MTBF
1	314	0,27	63,34
2	205	0,26	101,74
3	236	0,21	82,37
4	233	0,26	86,89
5	220	0,22	91,48

Fonte: Komninakis et al., 2018.

Tabela 2 - Tabela de máquina com MTTR e MTBF

Máquina	MTTR	MTBF
1	0,50	63,34
2	0,50	101,74
3	0,50	82,37
4	0,50	86,89
5	0,50	91,48

Fonte: Komninakis et al., 2018.

Tabela 3 - Tabela de percentual do tempo com MTTR 50

Máquina	Operação(%)	Manutenção(%)	Ociosa(%)
1	30,3	54,8	14,9
2	36,2	42,5	21,4
3	33,3	47,7	19,0
4	34,6	45,4	20,1
5	34,0	45,0	21,0

Fonte: Software FlexSim, 2023.

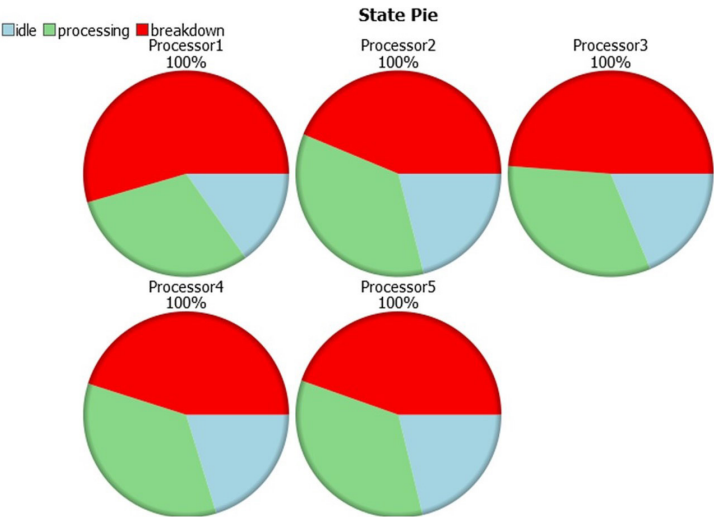


Figura 4 - Modelo de simulação com dados MTBF e MTTR.
Fonte: Software FlexSim, 2023.

Tabela 4 - Tabela de percentual do tempo com MTTR da Tabela 1

Máquina	Operação(%)	Manutenção(%)	Ociosa(%)
1	33,7	50,0	16,3
2	39,4	37,2	23,4
3	36,4	42,9	20,7
4	36,6	42,1	21,3
5	36,2	41,3	22,5

Fonte: Software FlexSim, 2023.

Tabela 5 - Tabela de Produção por equipamento em 8 horas

Máquina	Simulação1	Simulação2
1	873	966
2	1042	1121
3	959	1017
4	992	1061
5	978	1067
Total	4844	5232

Fonte: Própria autoria, 2023.

No gráfico do histograma de operação, visualizamos que, na cor azul, era com uma eficiência de simulação e, após alteração da melhoria, verificamos que o processo produtivo teve uma pequena melhora.

Quando olhamos para a eficiência da manutenção dentro do simulador, conseguimos verificar a alteração dos resultados mostrada na Figura 6.

Na manutenção, percebe-se, pelo gráfico, que teve uma melhora de tempo, na medida em que mostra que as máquinas tiveram menos tempo paradas, em percentual. Neste gráfico, o vermelho representa dados antes da melhoria e o azul, após melhoria.

No aspecto quantitativo, obtemos os números de produção por máquina, representados na Tabela 5.

É importante lembrar que as máquinas 1, 2, 3, 4 e 5 têm a mesma capacidade e as mesmas informações de operações, sob mesmas condições; no entanto, os resultados da modelagem foram

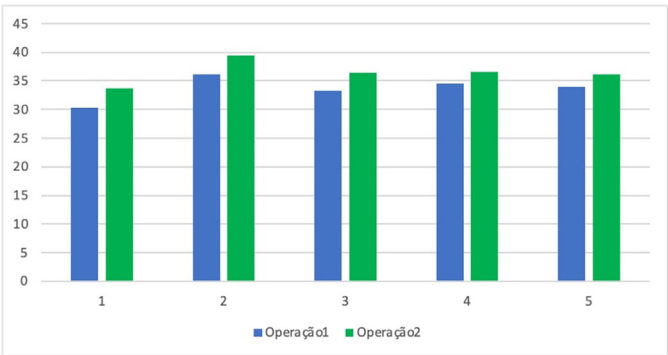


Figura 5 - Comparativo da produção.

Fonte: Própria autoria, 2023.

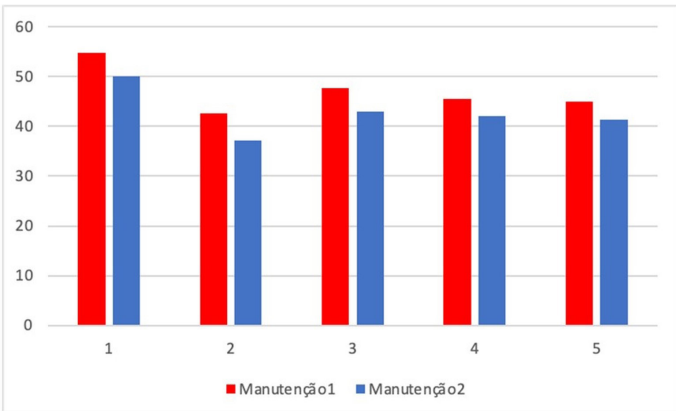


Figura 6 - Comparativo da manutenção.

Fonte: Própria autoria, 2023.

diferentes. Quando comparamos os resultados da Tabela 3 e da Tabela 4, podemos verificar que, na máquina 1, apresenta-se um tempo de operação de 30,3% contra 33,7%, dando uma diferença de operação de 3,4% de melhor aproveitamento. Na máquina 2, temos a operação com uma diferença de 3,2%; na máquina 3, cerca de 2,1%; na máquina 4, cerca de 2%, e na máquina 5, a diferença é de 2,2%.

Assim, obtemos uma diferença de 388 produtos dia em turno de 8 horas, dando um aumento de 48,5 produtos, em média, por hora.

Conclusão

Assim, é possível demonstrar que a simulação é o melhor meio de visualização de resultado, uma vez que é necessário atentar também para o tempo intelecto despendido pelos colaboradores que efetuam a programação de simulação. Assim, a ferramenta do software de simulação FlexSim é de grande valia e utilidade para a tomada de decisão de uma empresa no quesito da manutenção. Com isso, conclui-se que há a possibilidade de simular as paradas e falhas no processo produtivo.

Referências

- Biehi, N. C., & Sellitto, M. A. (2015). TPM e manutenção autônoma: estudo de caso em uma empresa da indústria metal-mecânica. *Produção OnLine*, 15(4), 1123-1147.
- Birk, I. P. L., & Andrade, J. J. O. (2018). Planejamento da manutenção com base na análise de falhas: aplicação em um equipamento vertical. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-19). Maceió: ENEGEP.
- Campos, L. L. (2018). Aplicação da análise de modo e efeitos da falha (fmea) para aumento de produtividade: um estudo para revisão da manutenção de uma linha de galvanização a quente. In *XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-15). Maceió: ENEGEP.
- Cantão, D., Sardinha, E., Sena, P. H., & Freitas, R. (2018). Utilização da simulação na análise do sistema de atendimento de uma empresa. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-14). Maceió: ENEGEP.
- Carreira, M. F., Vieira, T. V. G., & Bronzati, W. B. (2015). Aplicação do software FlexSim na análise e simulação de dados de uma lotérica. *Revista Produção Industrial & Serviços*, 2(1), 32-44.
- César, A., & Cavalcante, C. A. (2018). De análise da gestão da manutenção: da estratégia à operação. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-13). Maceió: ENEGEP.
- Chung, C. A. (2004). *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Boca Raton: CRC Press.
- Costa, K. T. A., & Paiva, L. (2018). A aplicação do software promodel para a simulação de filas de um supermercado varejista. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-13). Maceió: ENEGEP.
- Faria, P. H. L., Ribeiro, J. L. D., & Viana, H. R. G. (2016). Modelo de simulação para captura e aproveitamento de ociosidade para manutenção em sistemas de expedição de minérios. *Revista Produção Online*, 16(4), 1142-1171.
- Fitzsimmons, J. A., & Fitzsimmons, M. J. (2010). *Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação* (6a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- FlexSim. (2023). *Software de simulação FlexSim*. Recuperado em 1 de janeiro de 2023, de <https://www.flexsim.com>
- Komninakis, D., Piratelli, C. L., & Achcar, J. A. (2018). Análise de confiabilidade para formulação de estratégia de manutenção de equipamentos de uma empresa da indústria alimentícia. *Produção OnLine*, 18(2), 560-592.
- Lavor Filho, C. R. A., Maciel, M., Cardoso, L. N. P., & Bezerra, L. M. C. (2018). Gestão da manutenção industrial: uma aplicação do ciclo pdca no processo de secagem de placas de gesso acartonado. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-16). Maceió: ENEGEP.
- Leme, R. L. A., & Silva, J. E. A. R. (2018). Manutenção produtiva total: um estudo de caso sobre a implementação de um modelo. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-23). Maceió: ENEGEP.
- Lopes Júnior, M. A., Bento, P. H., Fernandes, C. W. N., & Lima, E. C. S. (2018). Simulação de uma central regional de emergência: uma aplicação do software

arena. In *XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-22). Maceió: ENEGEP.

Oliveira, P. R. F., Vieira, C. S., & Souza, C. J. A. (2017). Implantação do lean manufacturing numa oficina de manutenção de equipamentos de mineração. In *V Simpósio de Engenharia de Produção* (pp. 2936-2954). Recife: Even3.

Pereira, M. M., & Dantas, M. J. P. (2017). Aplicação da modelagem e simulação nos sistemas de filas m/m/s- entendendo a natureza da simulação. *Produção OnLine*, v. 17(1), 49-75.

Reis, B. L., Santana, M., Valente, B. C., Casetta, I., & Kurumoto, J. S. (2018). Aplicação da simulação e otimização computacional em uma empresa de embalagens. In *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção* (pp. 1-17). Maceió: ENEGEP.

Teixeira, G. H. P. (2022). *Priorização da manutenção de equipamentos de um estaleiro com o apoio multicritério à decisão* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda.