



A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

ARTIGO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹

LIMA, Leandro Jose Barbosa. **A prototipagem rápida na engenharia de manutenção.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 08, Vol. 06, pp. 139-149. Agosto de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/prototipagem-rapida>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/prototipagem-rapida

RESUMO

Dentro da indústria, a manutenção é um dos departamentos com maior complexidade, sendo considerado um setor que possui grande impacto nos resultados organizacionais e na competitividade da empresa. Nesse contexto, sabe-se que a quebra de uma peça, pode gerar grandes problemas ao processo produtivo, uma vez que a parada na linha de produção, gera atrasos, aumento dos custos e faz com que a organização perca clientes e posição perante o mercado. Por este motivo, empregam-se várias técnicas de manutenção, visando a prevenção e redução destas paradas. Ante ao exposto, o presente artigo tem como questão norteadora: como a prototipagem rápida pode ser aplicada à engenharia de manutenção? Desta forma, adotou-se como objetivo investigar sobre a prototipagem rápida, a fim de verificar de que forma a manutenção, no contexto discutido aqui, pode se beneficiar dessa tecnologia. Para isso, adotou-se como metodologia a revisão bibliográfica. Como resultados, verificou-se que, dentre os diversos tipos de manutenção, a prototipagem rápida pode ser uma alternativa, pois ela possibilita a produção de peças dentro da própria empresa, o que diminui os custos de compra e de estocagem, bem como otimiza o espaço da fábrica, empresa ou indústria. Ela, ainda, pode ser utilizada na recuperação de partes desgastadas. Por fim, verifica-se que a aplicação da prototipagem rápida na manutenção já é possível em casos específicos de negócio, entretanto, deve-se levar em consideração alguns fatores, como: o custo da máquina; treinamento de um operador; matéria prima; e disponibilidade de uma biblioteca dos desenhos em STL (Standard Triangle Language).



Palavras-chave: Manutenção, Prototipagem Rápida, Manufatura Aditiva.

INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas já não mais competem com as organizações ao lado, mas sim em um contexto de globalização mais amadurecido. Nesse cenário, nota-se o aumento na quantidade de investidores que buscam por opções. Dessa forma, nesse contexto de competição global, se faz necessário que as organizações que desejam se manter no mercado apresentem resultados, mantenham a consistência e se diferenciam das concorrentes (COSTA *et al.*, 2013).

Dentre os diversos departamentos de uma indústria: Financeiro, Comercial, Suporte ao Cliente, Produção, Engenharia, Pesquisa etc., a manutenção é um dos departamentos com maior complexidade, onde se aplicam diversas disciplinas de: gestão de recursos humanos, gestão de conflitos, gestão do conhecimento, projetos, confiabilidade, qualidade, saúde, segurança, construção civil, mecânica, elétrica, psicologia, contabilidade, pedagogia, entre outros. Como pode-se notar, a gestão da manutenção abrange diversas áreas de conhecimento e, por ser um dos departamentos mais densos da empresa, tem um maior impacto nos resultados, sendo considerada um fator crítico de competitividade da empresa.

Ela se torna uma área crítica não somente por ser densa e envolver diversas áreas, mas sim por influenciar diretamente nos custos, onde, por exemplo, uma falha pode acarretar elevação de custos no processo produtivo, seja pelo menor rendimento de equipamentos, reduzida capacidade de produção ou consumos maiores de energia. Essas falhas, que também impactam na produção, em alguns casos, podem gerar perda de oportunidade, ou seja, investir nas corretas estratégias de manutenção é crítico para o sucesso da indústria. E é nesse contexto que nasce a Manutenção Competitiva (BRUIJN e STEENHUIS, 2002; THOMAS, 2018).



Esse tipo de manutenção pode ser entendido como a junção de outros tipos de manutenção que evoluíram ao longo dos anos, como: a manutenção centrada na confiabilidade; a manutenção corretiva; a manutenção preditiva; a manutenção preventiva etc. Entretanto, vale relembrar que ela não é a soma entre os diversos tipos de manutenção existentes, mas sim uma composição harmônica entre elas. Sua aplicação está relacionada a necessidade do sistema e visa sempre um melhor benefício para a organização. Em alguns casos, por exemplo, na parada da máquina quando há quebra, se realiza o reparo. Já em outros, as partes são trocadas em horas programadas ou há parâmetros sendo monitorados, realizando a troca de partes assim que se identifica queda no rendimento (TROJAN e MARÇAL, 2017; THOMAS, 2018).

Apesar disso, nota-se que todos os tipos de manutenção possuem como ponto em comum a troca de partes, sendo esta, juntamente com a limpeza, os ajustes, a análise de falhas, a lubrificação e as configurações, um dos aspectos fundamentais. Ademais, ela demanda outros serviços no âmbito da gestão de materiais e logística, entretanto, para que isso ocorra, se faz necessário que haja disponibilidade de partes (ZHAO; AL-KHALIFA e NAKAGAWA, 2019) que, por sua vez, depende de uma quantidade de recursos investidos, pois cada item alocado no almoxarifado possui um valor financeiro, que poderia ser investido em outra área. Por este motivo, não se considera viável possuir um estoque infinito de peças na prateleira. Ademais, estas peças, geralmente, vêm de um fornecedor externo, o que gera custos e dependência logísticas para a empresa (SATORI; RENOSORI e FAUZAN, 2020; BRUIJN e STEENHUIS, 2002).

Nesse contexto, a prototipagem rápida tem sido apontada como um recurso auxiliador na engenharia de manutenção, auxiliando diretamente na redução de custos logísticos e de armazenamento, pois ela realiza um “processo de manufatura automatizada que constrói rapidamente modelos físicos a partir de



arquivos CAD" (RAULINO; ALVARES e FERREIRA, 2013), podendo, também, realizar a reconstrução de peças quebradas e/ou desgastadas.

Ante ao exposto, o presente artigo tem como questão norteadora: como a prototipagem rápida pode ser aplicada à engenharia de manutenção? Desta forma, adotou-se como objetivo investigar sobre a prototipagem rápida, a fim de verificar de que forma a manutenção, no contexto discutido aqui, pode se beneficiar dessa tecnologia. Para isso, adotou-se como metodologia a revisão bibliográfica de artigos que versam sobre o tema.

DESENVOLVIMENTO

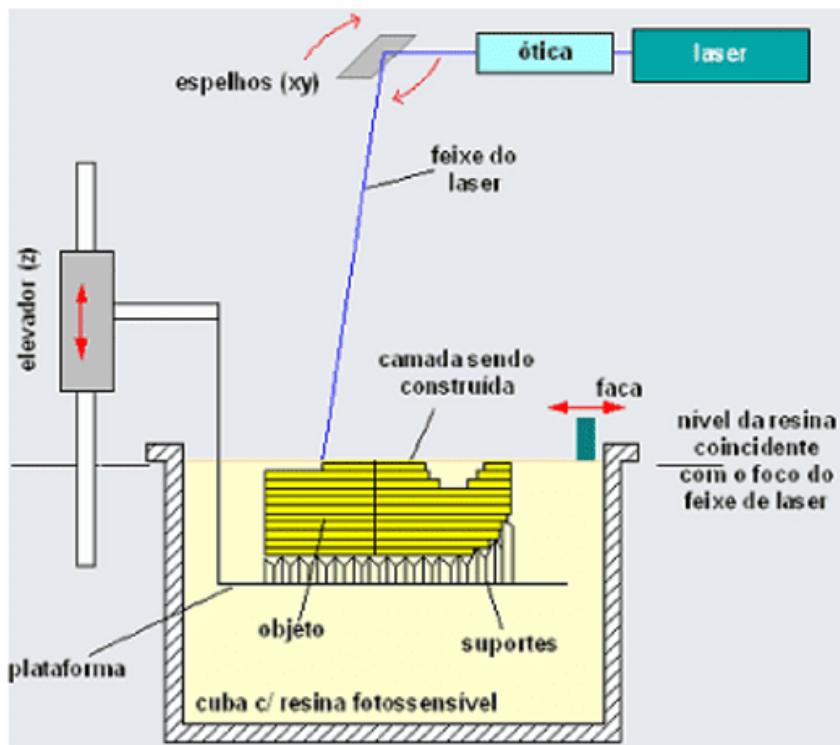
Em 1984, nos Estados Unidos, Charles Hull, criou uma máquina capaz de fazer a produção de modelos físicos baseados em modelos criados em computador usando uma resina fotocurável (SLA). Assim, por meio desta invenção, inaugurou-se o conceito de Manufatura Aditiva, dentro da Prototipagem Rápida (WILTGEN, 2019).

Esse primeiro passo serviu para diversos desenvolvimentos subsequentes, que, no contexto discutido aqui, podem beneficiar a engenharia de manutenção.

Dentro desses desenvolvimentos surgiram diversas técnicas de prototipagem rápida, como: a Sinterização a Laser (SLS), que ocorre por meio da solidificação de pó em superfície (figura 1); a Modelagem por fusão e deposição (FDM), que é a mais comum entre as que utilizam a extrusão de filamentos termoplásticos (figura 2); a Fusão de Deposição de Metais e a derivada Fusão e Deposição de Cerâmica (FDMet, FDC), que utilizam ligantes poliméricos para a fusão de cerâmica ou metal; a Fusão em Leito de Pó (PBF), que se divide: em *Selective Lase Melting* (SLM), que é similar a SLS, usando o laser para a fundição e formação de ligas, em *Electron Beam Melting* (EBM) que usa um feixe de elétrons para a fundição (precisa de ambiente inerte e pré-aquecimento do pó), e em *Direct Metal Laser*

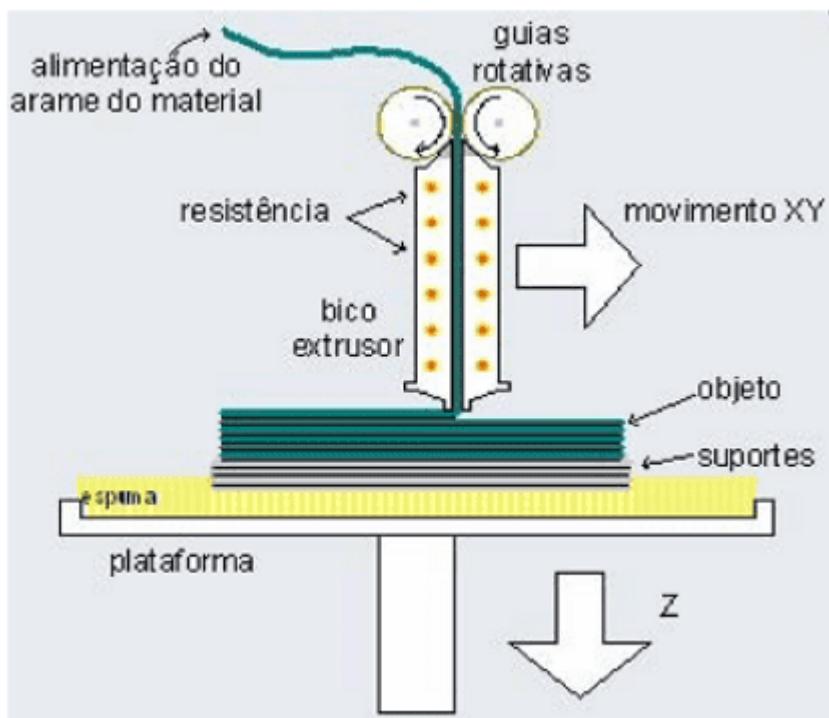
Sintering (DMLS) que usa um feixe de laser para sinterizar e derreter pó metálico (gera menos tensão superficial); a Deposição Direta de Energia (DED), que também se divide em Pó Metálico (*Cladding*): através do uso de pó metálico com um laser e Fusão de Arame (*Welding, Shaped Metal Deposition, SMD*) que faz a fusão de arame de solda com uma tocha; a Impressão 3D (3DP/TDP); o Jateamento por Enfardamento (BJ) - Ligação de pó com ligado pegante; a Laminação de Folhas (SL) - Folhas de metais unidas por soldagem ultrasonica; o *Multi Jet Modeling* ou *thermojet* que tem um termoplástico expelido por um cabeçote com 96 orifícios; e a Fabricação por Camadas (LOM), onde ocorrem sucessivas colagens de fitas adesivas cortadas por um laser (ALCADE e WILTGEN, 2018; HOTZA, 2009; GOMES e WILTGEN, 2020; MELLO; SILVA e COSTA, 2006).

Figura 1. Estereolitografia SLA



Fonte: Hotza (2009).

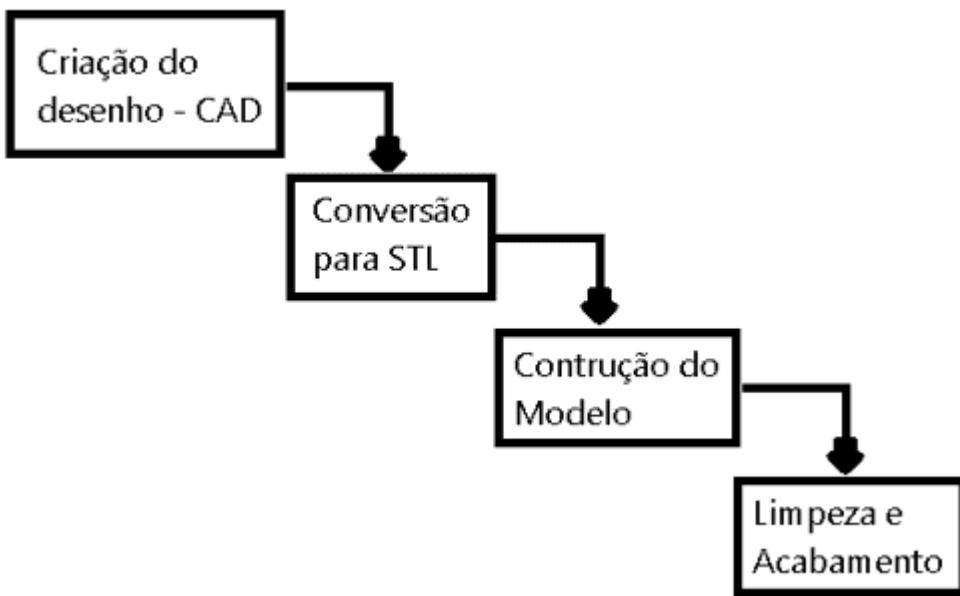
Figura 2. Modelagem por fusão de deposição (FDM)



Fonte: Hotza (2009).

De acordo com Hotza (2009), a prototipagem rápida é realizada em 4 etapas: criação do desenho por computador (CAD); a conversão desse arquivo para o formato de máquina STL; a “impressão” do modelo; a limpeza e o acabamento da peça.

Figura 3. Modelo de Waterfall do processo de produção de peças usando a prototipagem rápida



Fonte: Autor.

Com relação a aplicabilidade desta técnica na engenharia de manutenção, cumpre destacar que ela torna viável a produção de peças dentro da própria empresa, evitando a compra externa de componentes e a necessidade de estoque de componentes acabados ou de peças sólidas que ocupam grande volume. Ela impacta, também, na liquidez do caixa, pois ao não ser necessário o dispêndio financeiro para a compra de componentes, evita-se custos logísticos ou custos de urgência. Além disso, ela tem como benefício a otimização de espaço da fábrica, empresa ou indústria, devido ao fato de não se necessitar mais de um almoxarifado físico, uma vez que a biblioteca de peças está disponível em uma nuvem virtual, sendo o componente materializado somente no momento do uso (BRUIJN e STEENHUIS, 2002; THOMAS, 2018).

Um outro aspecto de aplicação da prototipagem rápida acontece na recuperação de partes desgastadas, através da técnica de Deposição Direta de Energia (DED) (GOMES e WILTGEN, 2020).



A fim de demonstrar a aplicabilidade e oportunidades de utilização, bem como as desvantagens e ameaças, da utilização desta técnica na engenharia de manutenção, elaborou-se uma análise FOFA ou matriz de swot.

Figura 4. Análise FOFA da Prototipagem Rápida

Forças	Fraquezas
Diversidade de Produtos	Acabamento Superficial
Maturidade dos Projetos	Variedade de Materiais
Permite complexidade de geometria	Precisão
Redução do Risco	Não Comporta Grandes Dimensões
Matéria Prima Biodegradável	Custo do Investimento
Produção Rápida	
Facilita Otimização de produto	
Oportunidades	Ameaças
Globalização	Disponibilidade
Demanda de Rápida Resposta do Mercado	Produção em Massa de outras técnicas
Permite visualização do cliente durante	Possibilidade de Grandes Dimensões
Redução do Tempo de Mercado	Diversidade de Fabricantes de Máquinas
Menos desperdício	Custo de produção em escala
Pressão por Sustentabilidade	

Fonte: Autor.

Por fim, conforme exposto na matriz acima, cumpre destacar que, em termo de maturidade tecnológica, ainda existe uma limitada quantidade de materiais disponíveis para a prototipagem rápida e o acabamento das peças ainda não é o ideal. Além disso, para alguns tipos de peças é preciso fazer uma reengenharia a fim de adaptar a produção com métodos aditivos. O custo das máquinas é alto e, ainda, não se pode produzir peças de grandes diâmetros. Para produção em escala, esta técnica nem sempre é competitiva, em especial na produção de peças metálicas, que hoje representam a nova fronteira tecnológica. Entretanto,



em casos específicos pode representar uma grande oportunidade, como, por exemplo, no desenvolvimento de peças mais leves, visto que a prototipagem permite o preenchimento com percentuais variados (SILVA *et al.*, 2018; MELLO; SILVA e COSTA, 2006), ou ainda na produção de partes usando formas que por manufatura tradicional seriam impossíveis de serem produzidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção teve um longo processo evolutivo histórico, passando pelas manutenções corretivas, preventivas, preditivas, centrada em confiabilidade, produtiva total (TPM), entre outras. Esses diferentes tipos de manutenção, apesar de terem surgido de uma forma sequencial e evolutiva, não necessariamente implica no descarte das técnicas anteriores, mas, em todos os casos, existe a necessidade de troca de peças, o que automaticamente leva ao conceito de estoque.

Nesse contexto, o presente artigo teve como objetivo investigar sobre a prototipagem rápida, a fim de verificar de que forma a manutenção pode se beneficiar dessa tecnologia, visando responder: como a prototipagem rápida pode ser aplicada à engenharia de manutenção? Ante ao exposto, verificou-se que esta técnica surge como uma alternativa para a recuperação de peças e para a produção de partes *just in time*, evitando custos logísticos e de perda de oportunidade de capital, dada a imobilização de capital com estoque (SILVEIRA JÚNIOR e LOOS, 2018). Entretanto, para a plena aplicação na manutenção ainda são necessários avanços tecnológicos importantes, como: o desenvolvimento de novos materiais, refinamento das máquinas e redução de custos (HOTZA, 2009).

Dessa forma, verifica-se que a aplicação da prototipagem rápida na manutenção já é possível em casos específicos de negócio, que devem levar em conta: o custo da máquina; treinamento de um operador; matéria prima; e disponibilidade de uma biblioteca dos desenhos em STL. Ademais, devem ser avaliadas as perdas de



capital mencionadas acima, além dos custos logísticos e de parada como: custo de perda de produção por falta de peça; custo de impostos de importação; custos de correção monetária, dentre outros, a fim de identificar se a aplicação desta técnica trará o retorno esperado (SILVEIRA JÚNIOR e LOOS, 2018).

REFERÊNCIAS

ALCADE, E.; WILTGEN, F. (2018). Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro. **Revista Ciências Exatas**, v. 24, n. 2, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/2757>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

BRUIJN, E. J. de.; STEENHUIS, H. J. *International Manufacturing Costs. University of Twente*, p. 50-59, 2002.

COSTA, C. A.; ROSSI, F. L.; TONOLLI JR., E. J.; MILAN, G. S. Percepção da prototipagem rápida no processo de desenvolvimento de novos produtos: dimensões do impacto em inovação e no valor agregado. **Produto & Produção**, v. 14, n. 3, 2013. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.20654>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

GOMES. J. F. B.; WILTGEN, F. Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas. **Revista Tecnologia**, vol. 41, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5020/23180730.2020.9917>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

HOTZA, D. Prototipagem rápida de pilhas a combustível de óxido sólido. **Revista Matéria**, v. 14, n. 04, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762009000400003>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S. da; COSTA, S. C. da. Comparação de três diferentes tecnologias de prototipagem rápida em relação a critérios de custo em tempo. **XXVI ENEGEP**, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309034969_Comparacao_de_tres_diferentes_tecnologias_de_prototipagem_rapida_em_relacao_a_criterios_de_custo_e_tempo. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

RAULINO, B. R.; ALVARES, A. J.; FERREIRA, J. C. Sistema de cotação para prototipagem rápida – influência dos parâmetros de fabricação no custo. **7º Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação**, maio de 2013 – Penedo, Itatiaia – RJ – Brasil. Disponível em:



<http://www.swge.inf.br/siteCOBEF2013/anais/PDFS/COBEF2013-0073.PDF>.
Acesso em: 08 de agosto de 2022.

SATORI, M.; RENOSORI, P.; FAUZAN, H. *Dynamic modeling of an inventory system to minimize of inventory costs*. **Conference Series Materials Science and Engineering**, maio de 2020. Disponível em: DOI:10.1088/1757-899X/830/3/032094. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

SILVEIRA JÚNIOR, V.; LOOS, M. J. Aplicação da prototipagem rápida no desenvolvimento de novos produtos: um estudo de caso em uma empresa de tecnologia do estado do Ceará. **Produto & Produção**, vol. 19, n. 03, 2018. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.69808>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

SILVA, F. L. F. et al. Comportamento em Tração de ABS e PLA Produzidos por Manufatura Aditiva. **Boletim Técnico da FATEC**, 2018. Disponível em: <http://bt.fatecsp.br/media/bulletins/bt46v2.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

THOMAS, D. S. Advanced Maintenance in Manufacturing: Costs and Benefits. **Annual Conference Of The Prognostics And Health Management Society**, p. 1-12, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328172532_Advanced_Maintenance_in_Manufacturing_Costs_and_Benefits. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M. *Proposal of Maintenance-types Classification to Clarify Maintenance*. **Journal of Business and Economics**, v. 08, n. 07, p. 560-572, 2017. Disponível em: <http://academicstar.us/UploadFile/Picture/2017-12/2017124221341367.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

WILTGEN, F. Portótipos de Prototipagem Rápida Aditiva - Sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **X Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2019. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/publicacao/502-prototipos-e-prototipagem-rapida-aditiva-sua-importancia-no-auxilio-do-desenvolvimento-cientifico-e-tecnologico#.YvPbcHbMJD8>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

ZHAO, X.; AL-KHALIFA, K.; NAKAGAWA, T. *Approximate methods for optimal replacement, maintenance, and inspection policies*. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 144, p. 68-73, 2019. Disponível em: DOI: 10.1016/j.ress.2015.07.005. Acesso em: 10 de agosto de 2022.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO

CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Enviado: Novembro, 2021.

Aprovado: Agosto, 2022.

¹ Graduado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA), e Graduado em Tecnologia Mecânica com ênfase em Automação Industrial pelo CEFET/RJ. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU), MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA em Gestão de Projetos pela Fundação de apoio ao CEFET/RJ, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Cândido Mendes (UCAM), Especialista em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA) e certificado Supervisor de Radioproteção pela CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.