



[RETRATAÇÃO]: CRIAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DIRECIONADO A UMA IMPRESSORA 3D DE TECNOLOGIA FDM

Pimentel, J. B., Justa, M. A. O. da, Lago Neto, J. C. do, & Coelho, M. I. B. de A. (2023). Criação de um plano de manutenção direcionado a uma impressora 3D de tecnologia FDM. *Revista Produção Online*, 23(2), 4950 . <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4950>

Após uma cuidadosa revisão e diante das denúncias recebidas, foi identificado que o referido artigo apresentava irregularidades relacionadas à prática de plágio. O conteúdo em questão continha trechos transcritos literalmente de um relatório final de estágio orientado por outro docente, o que viola as normas éticas e de originalidade que orientam a publicação acadêmica.

Diante desses achados, a Revista Produção Online optou por retirar o artigo mencionado de sua edição, como medida preventiva e em consonância com os princípios de integridade e ética que norteiam nosso periódico. Valorizamos a qualidade e originalidade dos trabalhos publicados em nossa revista e estamos comprometidos em manter os mais altos padrões éticos em nossa comunidade acadêmica.

Entendemos que a retirada de um artigo pode gerar questionamentos e lamentamos qualquer inconveniente que essa decisão possa causar. Contudo, reforçamos a importância de garantir a integridade e a originalidade das contribuições científicas publicadas em nossa plataforma.

A Revista Produção Online está aberta a esclarecimentos adicionais e pronta para receber contribuições que atendam aos critérios éticos e de qualidade exigidos para a publicação. Agradecemos a compreensão de todos os envolvidos e esperamos continuar contando com a participação ativa de nossa comunidade acadêmica.

- Equipe Produção Online



CRIAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DIRECIONADO A UMA IMPRESSORA 3D DE TECNOLOGIA FDM

CREATION OF A MAINTENANCE PLAN DIRECTED TO AN FDM TECHNOLOGY 3D PRINTER

Jean Barbosa Pimentel*  E-mail: jeanbp@gmail.com

Marcelo Augusto Oliveira da Justa*  E-mail: marcelo.justa@gmail.com

João Caldas do Lago Neto*  E-mail: icaldas@ufam.edu.br

Moisés Israel Belchior de Andrade Coelho*  E-mail: moisescoelho@ufam.edu.br

*Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM, Brasil.

Resumo: O estudo aborda sobre a criação de um plano de manutenção voltado para impressora 3D de tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*). É um estudo exploratório e qualitativo, apoiado na realização de observação sistemática. O desenvolvimento deste plano de manutenção ocorreu mediante visitas a uma empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM) cujos processos produtivos utilizam impressão 3D. O plano é do tipo processual, com registros de controle voltados para tornar mais assertivas as atividades de manutenção para este tipo de equipamento. O estudo conclui que a ausência de planos de manutenção resulta num número elevado de manutenções corretivas, as quais são mais voltadas para resolver urgências do que necessariamente evitar que as falhas aconteçam. Diante da relevância que os trabalhos envolvidos em manutenção possuem somado com o volume grandioso de dinheiro que o mercado da manufatura aditiva movimenta, é premente que soluções sejam criadas com vistas a elevar o tempo de vida útil dos equipamentos, fator este preponderante para a elevação da produtividade, com redução de custos e processos produtivos mais sustentáveis.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Qualidade. Peças. Fabricante. Produção.

Abstract: The study addresses the creation of a maintenance plan aimed at a 3D printer using FDM technology. It is an exploratory and qualitative study, supported by systematic observation. The development of this maintenance plan took place through visits to a company in the Manaus Free Trade Zone whose production processes use 3D printing. The plan is of the procedural type, with control records aimed at making maintenance activities for this type of equipment more assertive. The study concludes that the absence of maintenance plans results in a high number of corrective maintenance, which are more focused on resolving urgencies than necessarily preventing failures from happening. In view of the relevance of work involved in maintenance, in addition to the huge volume of money that the additive manufacturing market moves, it is urgent that solutions be created with a view to increasing the useful life of equipment, a preponderant factor for increasing the productivity, with cost reduction and more sustainable production processes.

Keywords: Additive Manufacturing. Quality. Parts. Manufacturer. Production.

1 INTRODUÇÃO

É acertado dizer que as atividades de manutenção representam um fator preponderante para o sucesso dos negócios no contexto das transformações digitais. Este cenário faz com que as companhias se vejam diante do desafio constante do aprimoramento de suas estratégias de manutenção (Grooss, 2023). Uma das tecnologias que são emblemáticas no que tange as inovações na forma como artefatos são fabricados diz respeito a impressão 3D (Souza, 2020).

Essa tecnologia de impressão 3D tem a capacidade de criar qualquer objeto ou produto a partir destes modelos tridimensionais. Nesse contexto, a impressão 3D evoluiu muito na última década, se difundindo para as mais diversas áreas de aplicação e se tornando cada vez mais versátil (Morandini; Del Vecchio, 2020).

Ocorre que a evolução constante das tecnologias utilizadas em impressão 3D, causou uma popularização na venda destes equipamentos. Sendo assim, o equipamento foi popularmente empregado para os mais diversos fins, vindo do campo dos entusiastas da tecnologia como um *hobby*, passando por pequenas empresas fornecendo os serviços de impressão sob encomenda, chegando até na produção em massa de produtos (Nunes, 2014). Atualmente já é comum encontrar este tipo de equipamento sendo utilizados nos mais diversos campos e diversidade de aplicações (Kim; Park, 2023; Sun *et al.*, 2023; Ma; Zhai; Zhang, 2023).

Uma das razões que justificam a expansão do uso da impressão 3D é o fato de ela ser uma das tecnologias que integram a indústria 4.0 (Souza, 2020). A digitalização na forma de se produzir artefatos é uma das principais características da chamada Quarta Revolução Industrial (Hirsch; Kreinsen, 2016). Contudo, com a sua utilização crescente, há de se considerar outro desafio: o da manutenção de impressoras 3D.

Neste sentido, o presente estudo traz como objetivo geral a criação de um plano de manutenção para uma impressora 3D de tecnologia FDM. A intenção com o destaque dado a este plano visa prover um controle mais assertivo sobre a manutenção de impressoras 3D e, por conseguinte, a redução das paradas por falhas do equipamento. Pode-se considerar que as falhas de equipamentos não ocorrem de forma aleatória ou inesperada. Portanto, faz-se necessário observar tanto os sinais como também a própria ocorrência da falha num determinado equipamento (XENOS, 1998).

O estudo se justifica por duas razões. A primeira delas é de natureza teórica e tem como intento colaborar para o estado da arte atinente a impressão 3D, mais especificamente a sua manutenção. Vale ressaltar que esta tecnologia se destaca por representar uma mudança de paradigma na forma como produtos são fabricados (Camargo; Barbosa; Santos, 2021). Isto abrange não apenas grandes indústrias, mas também empreendedores de pequeno e médio porte (Pinheiro *et al.*, 2018).

O segundo fator que suscitou a realização do estudo é de cunho prático. Visa apresentar um plano de manutenção para impressão 3D, a qual, por sua vez, representa o que a literatura chama de manufatura aditiva (Balzani, 2021). É importante mencionar que além do âmbito industrial, a aplicabilidade da impressão 3D já é perceptível noutros campos de atuação, como, por exemplo, a construção civil (Formiga; Carneiro, 2021).

Portanto, diante da magnitude desta tecnologia, torna-se premente a criação de planos de manutenção que permita com que estas impressoras apresentem desempenho proficiente e caracterizado pela sua qualidade (Queiroz, 2022; Slack; Chambers; Johnston, 2009).

2 ESCOPO CONCEITUAL

2.1 A manufatura aditiva e a impressão 3D

A Manufatura Aditiva (MA), que é o conceito básico no qual a impressão 3D se baseia, é o processo no qual camadas de material são adicionadas sequencialmente para se obter um objeto físico, a partir de um modelo digital tridimensional previamente desenvolvido. Segundo Conner *et al.* (2014), é uma tecnologia em que o princípio de fabricação consiste na deposição do material camada por camada até que a peça seja obtida. Isso é diferente de outros tipos de processos de fabricação como perfuração, forjamento e soldagem, onde há subtração do material para a produção da peça.

Esta nomenclatura dada a este tipo de manufatura tem a ver com o seu próprio processo de fabricação. Os artefatos são criados a partir da adição de materiais, o que permite, por sua vez, que produtos sejam elaborados tendo como base um projeto computacional em 3D (Tang; Zhao, 2016). Consoante Oliveira (2023), dois aspectos sobre a manufatura aditiva: a) a tecnologia de impressão 3D vem sendo aprimorada, o que propicia a prototipagem de produtos cada vez mais aperfeiçoados, e; b) estima-se que no ano de 2020 o mercado da manufatura aditiva movimentou um montante superior a 21 bilhões de dólares, o que confirma a pujança econômica desta tecnologia.

Percebe-se que além desta questão dos valores financeiros envolvidos nas suas operações, a manufatura aditiva também chama atenção pelo seu aspecto sustentável. Para Martin (2023), a sustentabilidade não se limita apenas ao equilíbrio entre dimensões ambientais, sociais e econômicas, perpassando mandatoriamente pela criação de processos produtivos que sejam menos lesivos ao meio ambiente. Pode-se inferir que a manufatura aditiva é sustentável, uma vez que a sua prática promove a economia de materiais, além de propiciar maior versatilidade e possibilidades de adaptações nas versões finais dos produtos fabricados (Park, Fu, 2021).

A fabricação de produtos sobre a égide da manufatura aditiva se notabiliza por duas características básicas. São elas: a) virtualidade, há um modelo digital que norteia o processo de produção da peça, e; b) adição, volumes são adicionados na configuração original do projeto (Mukhametzhanova *et al.*, 2022). Este processo aditivo acontece camada por camada, situação esta que pode ser aplicada com o uso de materiais tais como: cerâmicas, polímeros, madeiras e metais. Em contrapartida, este manuseio otimizado de materiais permite uma construção mais rápida de produtos associada com a redução dos desperdícios nos processos produtivos (Tamanini; Wiltgen, 2022).

Diferentemente do que se viu na Segunda e Terceira Revolução Industrial, onde consoante Souza (2020) as peças produzidas seguiam um padrão determinado, na manufatura aditiva há a possibilidade de inovar nos processos produtivos. Isto significa dizer que uma das características da manufatura aditiva diz respeito a criação e produção de artefatos que são complexos, mas cuja fabricação pode ser personalizada (Niaki; Nonino, 2017; Sirichakwal; Conner, 2016). Este aspecto se mostra congruente com os modos de produção da Quarta Revolução Industrial, onde as peças podem ser customizadas conforme as preferências do público consumidor (Abreu, 2018; Souza, 2020).

2.2 O termo manutenção

O termo manutenção pode ser entendido como o conjunto de ações administrativas e técnicas que quando associadas corretamente auxiliam na

manutenção ou restauração de um determinado ativo (Ben-Daya; Kumar; Murthy, 2016). Nesta dimensão, além da recuperação de materiais danificados, a manutenção também se encarrega da prevenção das falhas que podem comprometer o resultado de uma empresa. Nas organizações, a manutenção pode ser vista como um setor relevante, não apenas no que tange a consecução do bom estado dos equipamentos, mas também pela elevação da competitividade que caracteriza o ambiente de mercado empresarial (Obal, 2023).

Os processos de fabricação, em qualquer nível, se baseiam na conjunção de mão de obra direta e indireta (Arruda; Costa, 2023). Em muitos casos, necessita de uma especialização de conhecimento, como equipamentos/máquina, softwares e demais ferramentas empregadas na criação ou modificação do *input* do processo. Estas ferramentas são recursos, os quais são a matéria-prima dos gestores, não se restringindo apenas a dinheiro, uma vez que trabalho, pessoas e tecnologia também são exemplos de recursos que podem ser empregados com vistas a consecução de objetivos organizacionais (Nascimento-E-Silva, 2011, 2017; Silva, 2019).

O objetivo principal é de gerar valor, buscando compensar o investimento aplicado com um retorno lucrativo da operação (Lopes, 2023). Desta forma ao se identificar a necessidade de aquisição de equipamentos para a atividade requerida, este investimento deve ser protegido, buscando tirar o máximo proveito em produtividade dentro de uma longevidade adequada ao valor do equipamento (Ferreira, 2011). Neste raciocínio, tem-se a importância da aplicação dos conceitos de manutenção aos processos de fabricação, sendo aplicáveis independentemente da escala produtiva.

O gerenciamento correto da manutenção não gera apenas o funcionamento de equipamentos em patamares satisfatórios. Pode-se mencionar como benefícios da manutenção: a) a segurança dos colaboradores; b) redução de desperdícios; c) respeito ao meio ambiente e a sustentabilidade (Freitas, 2021). Assim, abordar sobre manutenção não abarca somente questões envoltas em produtividade. Engloba também a prevenção de acidentes e a redução de perdas que podem impactar o aspecto financeiro das organizações, comprometendo assim a sua respectiva sustentabilidade (Resende, 2020; Yordanova-Dinova, 2019).

A associação entre manutenção e sustentabilidade é um imperativo para as organizações no contexto hodierno. Isto se deve não apenas aos desafios do desenvolvimento sustentável (Martin, 2022). Engloba também os seguintes objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas: a) Trabalho decente e crescimento econômico; b) Indústria, Inovação e Infraestrutura, e; c) Consumo e produção sustentáveis (Obal, 2023). A execução correta dos planos de manutenção auxilia não só na melhoria da performance de equipamentos, mas também na preservação de espaços físicos da companhia (Slack; Brandon-Jones, 2018).

Artur (2023) traz em seu estudo duas definições, que apresentam semelhanças entre si e auxiliam no entendimento do significado do termo manutenção. São eles:

- No entendimento da norma europeia EN 13306 (2017), manutenção diz respeito a combinação de ações gerenciais, administrativas e técnicas que são empregadas no decurso do ciclo de vida de um dado item, para fins de fazer com que ele apresente um estado que lhe permita executar as funções que dele se espera, e;

- Consoante a norma brasileira ABNT NBR 5462 (Confiabilidade e Manutenibilidade (1994), manutenção representa a combinação de ações técnicas e administrativas, inclusas neste bojo o trabalho de supervisão, com vistas a manter ou realocar um item para que ele exerça a função dele requerida.

Em ambas as situações, há a ideia de se combinar ações de naturezas diferentes para uma mesma finalidade: a integridade do funcionamento de um equipamento. Isto é desafiador do ponto de vista prático, posto que envolve: a) a adaptação da empresa ao mundo competitivo do qual faz parte; b) o alcance da produtividade e, por conseguinte; c) o atendimento das demandas das partes interessadas (Pinheiro, 2022). Além destes aspectos, há também a questão da otimização da manutenção, objetivo este que visa aprimorar constantemente os processos envolvidos neste ramo de atividade (Grabán, 2013; Viana, 2022).

A partir destes conceitos, pode-se inferir que manutenção se caracteriza por ser uma função contínua nas organizações, a qual visa dirimir a ocorrência de falhas já ocorridas num equipamento (Artur, 2023). Desta feita, durante sua vida útil, o equipamento que passa por manutenções regulares irá funcionar adequadamente,

cumprindo a sua respectiva função nos processos produtivos do qual faz parte (Artur, 2023).

2.3 A manutenção preventiva

A manutenção preventiva aparece como um dos conceitos mais básicos dentro de um plano de manutenção. Os planos de manutenção são conjuntos de informações necessárias, para a orientação das atividades de manutenção preventiva, desta forma este tipo de manutenção se torna a atividade mais importante a ser implementada, já que sem a detecção prévia de falhas, através de um cronograma pré-estabelecido de manutenções preventivas, o resultado seria uma maior frequência de ocorrências de falhas inesperadas (Viana, 2002).

Sendo assim, o aumento dessas falhas não programadas trará sérios efeitos negativos a operação, pois irá acarretar paradas para intervenção. É nesse contexto que a manutenção preventiva se torna relevante de forma a reduzir ou evitar a falha ou a redução no desempenho do equipamento, se obedecendo a um plano previamente elaborado e baseado em intervalos definidos de tempo.

Uma das formas de tornar a manutenção preventiva mais eficiente é a comparação do número de falhas registradas num equipamento tendo como parâmetro uma dada série histórica, de maneira que o número de falhas diminua com o decorrer das manutenções (Viana, 2022; Pinto, Xavier, 2001).

Também as ordens de serviço das manutenções preventivas podem ser embasadas em fatores como o tempo, podendo ser mensal, trimestral ou ainda de acordo com o vencimento da garantia do equipamento. Outro fator que pode ser considerado é a frequência de uso de cada ativo (Pinheiro, 2022). Estes são aspectos que devem ser considerados individualmente, uma vez que cada equipamento possui as suas especificidades e o atendimento das demandas de manutenção preventiva irá auxiliar no que tange a eficiência da vida útil dos produtos (Ohta, 2020).

A essência da manutenção preventiva é a busca da antecipação dos problemas, sendo a ação de corrigir os problemas antes deles ocorrerem. Portanto, uma das suas características primais (Faria; Costa; Olivas, 2015). Nesse objetivo, a

prática sistemática da manutenção preventiva nas organizações pode produzir resultados positivos que justificam a sua feitura. São elas: a) redução das paradas no fluxo produtivo; b) melhora na vida útil dos equipamentos; c) programação das manutenções em dias e horários que não impactam a produção; d) redução de custos no curto prazo, e; e) refinamento na qualidade dos produtos devido as boas condições operacionais dos equipamentos (Silva; Garcia; Dutra, 2023).

Realizar a manutenção preventiva é agir proativamente, antes da ocorrência de falhas e ainda evitar que o equipamento sofra uma parada por longo tempo (Garcia; Nunes, 2014). Além deste enfoque constantemente voltado para evitar o desgaste do maquinário, a manutenção preventiva também se caracteriza por priorizar a melhoria contínua do funcionamento dos equipamentos (Teodoro; Nunes; Búrigo, 2023).

Dentre as atividades que integram a manutenção preventiva, pode-se mencionar: a) troca de peças; b) troca de óleos; c) limpeza e engraxe, dentre outras. Estas ações devem seguir uma programação para a sua devida realização (Martins; Laugeni, 2005). O histórico de manutenções é uma outra forma de monitorar problemas com vistas a evitar novamente suas ocorrências (Villanueva, 2015). Outro ponto a ser observado na feitura desta manutenção diz respeito as especificações dos fabricantes das peças, as quais irão informar a periodicidade de manutenção a se adotada (Silva; Garcia; Dutra, 2023).

2.4 A manutenção corretiva

Pode-se considerar que a manutenção do tipo corretiva é a mais primitiva que existe, tendo início antes da Segunda Guerra Mundial. Em comparação com os demais tipos de manutenção, é visto como o mais simples (Pinto; Xavier, 2009). Diferentemente do que se vê na sociedade contemporânea, onde a produtividade é um fator essencial para a lucratividade dos negócios (Mansur; Djaelani, 2023), a execução da manutenção preventiva não tinha tanta importância, uma vez que a sua feitura consistia tão somente na troca da peça defeituosa (Correa; Camargo, 2022).

Todavia, o uso recorrente de manutenções corretivas deve ser analisado de forma criteriosa pelas organizações. Um exemplo disto é trazido à baila pela

pesquisa feita por Baldez, Teixeira e Machado Júnior (2023), a qual foi feita no âmbito de um hospital universitário. A pesquisa constatou que na área da saúde a recorrência de manutenções corretivas, além da questão financeira, pode até mesmo custar uma vida, caso não seja feita em tempo hábil. Por esta razão, Oliveira (2014) advoga a favor da combinação do uso de manutenções preventivas e corretivas, mas com preferência para o aspecto preventivo da manutenção e com vistas a elevar o tempo de vida útil dos equipamentos.

Embora as companhias se planejem e busquem se antecipar aos problemas, há determinadas ocasiões em que não se pode evitar a ocorrência de manutenções corretivas (Camargo; Correa, 2022). Desta forma, há a possibilidade de se fazer uma manutenção de categoria corretiva de forma planejada, quando há a suspeita de que uma parte do equipamento apresenta uma característica considerada não conforme, o que, por sua vez, suscita a sua respectiva parada com a autorização da organização para evitar prejuízos de maiores proporções (Correa; Camargo, 2022).

Na visão de Martins (2023), a manutenção do tipo corretiva é subdividida nas seguintes categorias:

- Manutenção paliativa: a qual ocorre quando há a solução temporária da avaria, com vistas a fazer com que o equipamento não pare definitivamente até que haja a solução definitiva do problema e;
- Manutenção curativa: sua ocorrência se dá após a análise do problema, focalizando em sua respectiva causa raiz.

O ideário presente em Oliveira e Lima (2021), cujo estudo reitera que a manutenção corretiva é feita com vistas a atender demandas imediatas, seja na forma corretiva ou preventiva, infere-se que o papel da manutenção consiste em fazer com que o estado funcional ideal dos equipamentos seja preservado pelo máximo possível de tempo, além de assegurar a segurança e a integridade do meio ambiente (Xenos, 1998). Além disso, fatores como confiabilidade e garantia da continuidade dos processos produtivos também devem ser considerados nas discussões sobre manutenção (Cervinski; Makiyama; Thomaz, 2022).

2.5 O plano de manutenção

A criação e o emprego correto de um plano de manutenção agregam valor e confiabilidade ao processo de fabricação, pois assim trás segurança a operação e maior qualidade ao produto (Cervinski; Makiyama; Thomaz, 2022). Satisfazer o cliente final quanto ao que é produzido ou fornecido tem que ser um guia de qualquer operação, já que sem isto toda a operação caminhará ao fracasso e o investimento que outrora buscava o lucro irá, ao contrário disto, trazer prejuízos que podem ser irreversíveis. Produzir com qualidade é algo imperioso para as organizações, frente ao mercado acirrado e turbulento no qual elas estão inseridas (Chaterjee *et al.*, 2023).

É relevante identificar a necessidade de ferramentas que lhes assegurem o funcionamento de seus equipamentos dentro de padrões pré-estabelecidos pelos fabricantes das peças (Silva; Ribeiro, 2009). Em adição a isso, há de se considerar os procedimentos internos desenvolvidos pela conservação e monitoramento da operação, cujos quais determinarão necessidades específicas. O resultado é a necessidade de desenvolver um plano de manutenção, sendo vital às empresas de qualquer tamanho ou ramo de atividade (Cavalcanti *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a criação de um plano de manutenção é um passo importante dentro deste processo de fabricação, visando assegurar a preservação do investimento realizado (Santiago *et al.*, 2022). Segundo Viana (2002), a implementação de um plano de manutenção trás além disto os seguintes benefícios: (1) maior eficiência nas ações de detecção de falhas; (2) antecipar as atividades de manutenção antes da ocorrência da falha; (3) alocar todos os recursos necessários para a execução dos serviços; (4) fornecer dados históricos sobre a manutenção dos equipamentos; (5) aumentar a produtividade das atividades de manutenção.

Além de apontar estas benesses, Viana (2002) afirma que existem diversos tipos de manutenção, que são baseadas de acordo com as intervenções nos instrumentos de produção. Dependendo da forma em que a manutenção é realizada, esta pode ser classificada como: Corretiva (Não-Planejada ou Planejada); Preventiva; Preditiva; Detectiva. Estas modalidades envolvem a conservação, adequação, restauração, substituição e prevenção de equipamentos de modo a alcançar os objetivos da função.

Sendo assim, o plano de manutenção deverá então detalhar o formato e quais tipos de manutenções serão empregados (Fantoni, 2019). Este plano buscará identificar, prevenir e atuar nas condições e variáveis que causam as falhas (Paes, 2023). A falha aqui mencionada é o não cumprimento do desempenho especificado para o equipamento, abrangendo desde uma diminuição de sua eficiência operacional até sua total parada de funcionamento (Zaians, 2003). Não podemos esquecer que diante dos prejuízos que podem ser ocasionados pelas falhas de equipamento, é imperioso investigar e resolver as causas que geram este tipo de condição deficitária (Borges; Barros Júnior, 2020).

De acordo com um estudo feito por Xenos (2002), podem-se enumerar os seguintes preceitos básicos para se desenvolver um plano de manutenção:

- Classificar os equipamentos quanto a sua importância dentro do sistema de produção;
- Definir a forma e frequência de manutenção para cada aparelho, sendo a execução da manutenção baseada em inspeções periódicas e, se necessário, reformas ou trocas de peças de equipamentos, e;
- Verificar a eficácia do plano de manutenção através de itens de controle e tomar decisões corretivas se necessário.

O cumprimento destas recomendações é necessário para que o plano de manutenção seja exitoso no que tange a detecção e solução de falhas nos equipamentos (Borges; Barros, 2020). A detecção destas falhas, principalmente no que tange a solução para suas respectivas causas é um item mandatório dos planos de manutenção. Ao se tomar como exemplo uma linha de produção, uma eventual parada causada por uma falha num dado maquinário pode gerar perdas de produção e, por conseguinte, desperdícios (Billig, 2016).

Tal cenário reitera o que é dito por Correa e Camargo (2022) em seu estudo, ao fazer menção sobre a necessidade da efetividade dos planos de manutenção, uma vez que dada a competitividade do mercado, não há mais espaços para a existência de planos de manutenção precários.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A prática de pesquisa utilizada para este estudo pode ser entendida como sendo do tipo exploratória. Essa categoria metodológica se enquadra nas ocasiões em que o pesquisador necessita gerar mais saberes sobre um determinado conhecimento, o que exige de sua parte a realização de investigações mais aprofundadas sobre a temática pesquisada (Gil, 2019; Zanella, 2013). Dada a considerável quantidade de dinheiro que a indústria da manufatura aditiva movimenta, conforme pode ser visto em Oliveira (2023), torna-se premente a criação de soluções que elevem a vida útil das impressoras do tipo 3D.

A natureza do estudo é do tipo qualitativa. Para Minayo (2013), estudos que apresentam este aspecto buscam entender a realidade social na qual os fenômenos acontecem. A prática de pesquisa também contou com a realização de observação sistemática numa empresa da Zona Franca de Manaus (ZFM), a qual utiliza em seu processo produtivo impressão 3D. Depreende-se que a prática de observações sistemáticas deve se notabilizar por ser estruturada e planejada, demandando para a sua realização planejamento prévio e mecanismos de controle (Cervo, 2007).

Vale destacar que as observações ocorreram com autorização da direção da fábrica onde ocorreu o estudo. Sendo assim, após a coleta das informações, providenciou-se o plano de manutenção cuja divulgação no formato de produção científica foi permitida, desde que o nome da organização fabril onde ocorreu o estudo não fosse revelado.

4 APRESENTAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

O plano de manutenção aqui apresentado é voltado para elevar o tempo de operação das impressoras 3D de tecnologia FDM. O intuito desta proposição visa não apenas chamar a atenção para a relevância deste tipo de manutenção, mas também representar uma ação de melhoria contínua (Jardim; Longhini, 2021; Makhbul; Shukor; Muhamed, 2022; Paraschivescu; Cotîrlet, 2015).

4.1 Manufatura aditiva e a impressão 3D

O objetivo do plano de manutenção desenvolvido é garantir a qualidade do produto final e o retorno do investimento do equipamento, com uma maior vida útil do mesmo (Monteiro, 2013). Para isso, utiliza-se dos procedimentos e diretrizes

descritos para que a impressora 3D selecionada funcione dentro de seus parâmetros de fábrica, pois este equipamento possui uma grande atuação mecânica, possuindo muitas partes móveis. Vale destacar que o equipamento exige em seu funcionamento um certo grau de precisão, gerando uma necessidade constante de cuidados para que sua operação produza dentro da conformidade do que foi modelado virtualmente nos moldes da manufatura aditiva (Park; Fu, 2021).

4.2 Seleção de uma impressora 3D

O mercado brasileiro já oferta vários modelos de impressoras 3D. Muitas lojas fornecem ao cliente final produtos importados, mas poucos fabricantes possuem lojas oficiais de suas marcas representadas localmente.

Nesse sentido, três critérios foram utilizados para determinar uma lista de equipamentos a serem avaliados: 1) Possuir revenda oficial no Brasil: para que desta forma tenha-se de forma facilitada acesso a um suporte técnico e serviços de garantia; 2) Modelos de impressora que utiliza da tecnologia FDM: devido a sua capacidade de produzir produtos de tamanhos maiores e; 3) Preços similares: equipamentos com modelos intermediários e dentro da mesma faixa de preço.

Seguindo estes critérios, três equipamentos foram pré-selecionados para serem avaliados através de uma matriz de decisão e visando resultar na escolha final do modelo que será usado no desenvolvimento de um plano de manutenção.

Os modelos abaixo foram categorizados a partir de cinco fatores (o fator preço não foi incluído na avaliação, pois todos os equipamentos estão sendo comercializados com valores próximos). Após, cada fator foi posteriormente classificado com uma nota variável entre 1 e 4, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de decisão dos modelos de impressoras FDM

Modelo	Velocidade de impressão	Sistema Operacional (peso 1,5)	Sensor de filamento	Recup. de impressão	Auto Nível	Resultado Final
Creality-Ender 3 S1	3	6	4	4	4	21
Anycubic Kobra	2	4,5	1	4	4	15,5

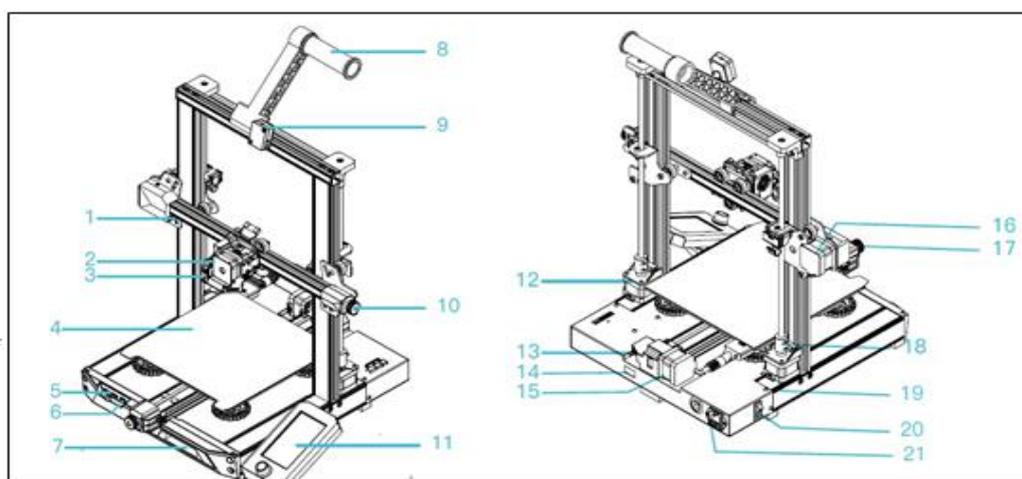
Two Trees SP -3	4	1,5	4	4	1	14,5
--------------------	---	-----	---	---	---	------

Fonte: Informações do fabricante (2023).

4.3 Anatomia da Impressora Creality Ender-3 S1 e o processo de manutenção

A Figura 1 e o Quadro 1 detalham as partes e peças que compõem o equipamento, servindo como referência nos procedimentos de manutenção.

Figura 1 - Anatomia da Ender-3 S1



Fonte: Catálogo do fabricante (2023).

Quadro 1 - Partes da impressora Ender-3 S1

1 – Sensor de limite do Eixo-X	8 – Suporte do Carretel	15 – Motor Eixo-Y
2 – Acoplamento do Eixo X	9 – Sensor de Filamento	16 – Motor Eixo-X
3 – Acoplamento do auto-nivelamento	10 – Ajuste de Tensão da correia do Eixo-X	17 – Ajuste de Tensão da correia do Eixo-Y
4 – Plataforma de impressão	11 – Display Touch Screen	18 – Acoplador
5 – Slot do Cartão de Memória	12 – Motor Z2 do Eixo-Z	19 – Motor Z1 do Eixo-Z
6 – Conexão Tipo C	13 – Sensor de Limite do Eixo-Y	20 – Chave de Alimentação
7 – Compartimento de ferramentas	14 – Chave de Ajuste Tensão da Rede	21 – Conector da Fonte

Fonte: Dados do fabricante da máquina (2023).

As atividades que compõem o processo de manutenção são definidas abaixo e formam a estrutura principal do plano de manutenção:

- Manutenção Preventiva: atividade executada periodicamente, sendo descrita e classificada em três períodos diferentes: diária, semanal e mensal. Tem como principal objetivo reduzir e/ou detectar os riscos de falhas e comportamento fora do previsto durante a operação do equipamento.

- Manutenção Corretiva: esta atividade deverá ocorrer de forma programada ou emergencial, onde este tipo de intervenção visará corrigir falhas e outros comportamentos fora dos parâmetros normais de funcionamento do equipamento. A intervenção programada será realizada quando ocorrer detecção de risco de falha como feedback da manutenção preventiva, e a emergencial em casos extremos quando a falha ou o comportamento não previsto ocorrer tendo prioridade em sua execução.

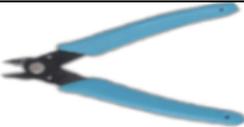
- Registros de Manutenção: documentos utilizados para registrar as atividades de manutenção realizadas e não realizadas, assim como as informações pertinentes ao status do equipamento, gerando um histórico detalhado de seu comportamento para futura referência. Aqui podem ser incluídos o checklist de manutenção preventiva semanal e mensal, etiqueta de controle de manutenção preventiva, planilha de controle das manutenções programadas, ficha de registro de manutenção corretiva.

4.4 Ferramentas

A execução das atividades de manutenção corretiva e preventiva irão necessitar das seguintes ferramentas demonstradas no Quadro 2:

Quadro 2 - Ferramentas utilizadas no plano de manutenção

Limpador do Bico	
------------------	--

Alicate de Corte	
Filamento Guia	
Espátula	
Conjunto de Chave de Boca Fixa Simples	
Conjunto de Chave Allen	
Conjunto de Chave Philips	
Pincel 1 1/2"	
Óleo Lubrificante Sintético	
Álcool Isopropílico (IPA)	

Fonte: Informações do fabricante (2023).

5 Equipamentos de proteção individual (EPIs)

Um das funções primordiais atinentes a um plano de manutenção diz respeito a preservação da segurança dos trabalhadores, com vistas a evitar os problemas decorrentes de um possível acidente de trabalho (Freitas, 2021; RESENDE, 2020). A necessidade de se garantir que as atividades de manutenção sejam executadas de forma a não comprometer a integridade do responsável pelo

procedimento, faz com que seja necessário o uso de EPIs. Os principais EPIs que devem ser utilizados nas atividades de manutenção são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - EPIs do plano de manutenção

Óculos de Proteção Transparente	
Luva Tátil em Nylon com Banho de PU	

Fonte: Informações do fabricante (2023).

Os óculos de proteção são necessários para evitar que resíduos do processo de impressão atinjam os olhos do responsável da manutenção, durante os procedimentos de manutenção. As luvas táteis são úteis para proteger as mãos contra cortes, perfurações e contra queimaduras, durante a manutenção. Vale destacar que alguns dos procedimentos a serem executados exigirão que a impressora aqueça o bico da extrusora.

4.6 Descrição do procedimento de manutenção preventiva

A manutenção preventiva do equipamento terá procedimentos específicos para cada um dos períodos especificados abaixo:

Diária: A manutenção diária é do tipo “autônoma” (atividade realizada pelo próprio operador da máquina). Com o uso do pincel e óculos de proteção, o usuário deverá diariamente realizar a limpeza da plataforma de impressão, do trilho do eixo-X e rolamentos de movimentação da extrusora. Essas atividades são necessárias devido ao acúmulo de partículas que geralmente ocorre quando o equipamento está em operação. Sendo assim, o procedimento deve ser realizado a cada processo de fabricação garantindo que a qualidade do próximo produto não seja afetada por resíduos remanescentes. Para esses procedimentos, não há registros.

- Semanal: este procedimento seguirá os itens inclusos no checklist semanal de manutenção preventiva. Este documento deverá ser preenchido de forma obrigatória e o responsável pela manutenção somente poderá executar o procedimento com o checklist em mãos para garantir que sejam verificados todos os itens descritos. Para a execução desta atividade, é obrigatório o uso dos óculos de proteção e luva tátil, a fim de proteger a integridade física dos executores da manutenção (Freitas, 2021).

- Mensal: assim como a manutenção preventiva semanal, este procedimento irá contar com um checklist a ser preenchido de forma obrigatória no mesmo documento que descreve os itens a serem verificados e em adição aos itens de verificação semanal. Também, obrigatoriamente, o responsável deverá estar munido deste documento durante a atividade e utilizando os óculos de proteção e a luva tátil.

A manutenção preventiva, além de contar com o registro de conformidade dos itens descritos ao se preencher os checklists citados, também deverão ser registradas a sua realização na Etiqueta de Controle de Manutenção Preventiva demonstrada na Figura 2.

Figura 2 - Etiqueta de controle de manutenção preventiva

EQUIETA DE CONTROLE DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
MÊS	SEMANAS				
	01	02	03	04	05
JANEIRO	S	S	S	S	M
FEVEREIRO	S	S	S	M	
MARÇO	S	S	S	M	
ABRIL	S	S	S	S	M
MAIO	S	S	S	M	
JUNHO	S	S	S	M	
JULHO	S	S	S	S	M
AGOSTO	S	S	S	M	
SETEMBRO	S	S	S	M	
OUTUBRO	S	S	S	S	M
NOVEMBRO	S	S	S	M	
DEZEMBRO	S	S	S	M	

Manutenção Semanal	S
Manutenção Mensal	M
Manutenção Executada	
Manutenção Ñ Executada	

Fonte: Dados do projeto desenvolvido na empresa (2023).

Vale lembrar que a manutenção corretiva, apesar de incorrer em uma intervenção de alto nível de prioridade, terá sua frequência amortizada pela correta execução dos procedimentos de manutenção preventiva. As principais atividades de

manutenção corretiva serão a troca de peças com desgaste ou defeito como: correias do eixo-X e eixo-Y, rolamentos da extrusora, rolamentos da plataforma de impressão, sensores de limite dos eixos X, Y e Z, tubo PTFE e bico da extrusora, sendo estes itens que tendem a apresentar maior tendência a defeitos e não conformidades dentro das verificações de manutenção preventiva.

Estes intervalos de troca deverão ser registrados e monitorados levando em conta as horas de operação do equipamento, buscando identificar a existência de parâmetro consistente. Também, assim como nos procedimentos de manutenção preventiva, para esta atividade se torna obrigatório o uso dos óculos de proteção e da luva tátil durante estas intervenções. A execução deste procedimento deverá ser registrada obrigatoriamente no Registro de Manutenção Corretiva.

Estes registros devem ser impressos e fixados em local visível próximo ao equipamento, servindo como ferramenta de gestão visual do procedimento. Assim, de maneira rápida, o responsável do setor onde o equipamento está instalado pode averiguar quais manutenções foram realizadas durante o mês ou ano.

Os procedimentos de manutenção semanal e mensal podem resultar na necessidade de execução de manutenção corretiva emergencial ou programada. Nesses casos, o responsável pelo procedimento irá determinar a gravidade e a urgência da execução da manutenção corretiva, identificando a necessidade (se houver) da aquisição de peças de reposição ao encaminhar o resultado da manutenção preventiva (checklist preenchido) para que se solicite uma requisição de compra das peças de substituição.

4.7 Controle dos registros de manutenção

Nascimento-e-Silva (2017) diz que os registros são indispensáveis em qualquer atividade que envolva gestão ou manuseio de recursos. Os documentos listados nos procedimentos de manutenção, somados a Planilha Mensal de Controle das Manutenções Executadas, deverão ter suas informações arquivadas para acompanhamento do processo. Sendo que esses registros incorrerão no histórico do equipamento, controle dos procedimentos executados, programação das atividades de manutenção corretiva e garantia da execução das manutenções preventiva.

Assim, o controle dos registros de manutenção visa assegurar que o plano de manutenção esteja sendo realizado conforme o especificado e para que tenha as informações e o respaldo necessário, no caso de falhas e demais problemas relacionados ao funcionamento adequado da impressora Creality Ender-3 S1 e o que foi fabricado. Como forma de padronização, esses registros deverão respeitar a seguinte indexação:

- *Checklist* Manutenção Preventiva Semanal (Figura 3): composto pelas iniciais MPS + número da semana quando estava programada a manutenção em dois dígitos + os dois últimos dígitos do ano corrente. Exemplo: MPS1023 que significaria uma manutenção preventiva semanal ocorrida na semana dez do ano de dois mil e vinte e três.

- *Checklist* Manutenção Preventiva Mensal (Figura 3): composto pelas iniciais MPM + número da semana quando estava programada a manutenção em dois dígitos + os dois últimos dígitos do ano corrente. Exemplo: MPM0823 significando uma manutenção preventiva mensal ocorrida na semana oito do ano de dois mil e vinte e três.

- Ficha de Registro de Manutenção Corretiva (Figura 3): composto pelas iniciais MC + número da semana da ocorrência + número mês + dois últimos dígitos do ano. Exemplo: MPC3023 que seria uma manutenção corretiva realizada na semana trinta do ano de 2023.

O padrão de indexação definido acima será necessário para o mapeamento das atividades de manutenção, onde serão registradas e agrupadas mensalmente na Planilha Mensal de Controle das Manutenções Executadas. Esse registro servirá como um resumo do comportamento do processo de manutenção a cada mês. É através dele que se pode rapidamente identificar quais atividades foram executadas, assim como seus resultados e qual documento deverá ser consultado para informações mais detalhadas.

Figura 3 - Registros das manutenções preventivas e corretivas

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
TIPO DE MANUTENÇÃO	SEMANAL		MENSAL		
SEMANA Nº	DATA		INDEX		
MANUTENÇÃO PREVENTIVA SEMANAL					STATUS
#	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES			OK	NOK
1	Lubrificação da haste trapezoidal do Eixo-Z				
2	Limpeza e verificação de folgas nos rolamentos do Eixo-X				
3	Limpeza e verificação de folgas nos rolamentos do Eixo-Y				
4	Limpeza do cooler do bico da extrusora				

FICHA DE REGISTRO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA					
TIPO DE MANUTENÇÃO	PROGRAMADA		EMERGENCIAL		
SEMANA Nº	DATA		INDEX		
#	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS				
1					
2					
3					
4					

Fonte: Dados do projeto desenvolvido na empresa (2023).

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do plano de manutenção se apresenta relevante e necessário para as operações relacionadas da impressora Creality Ender-3 S1, pois os processos de fabricação de produtos que envolvem este tipo de equipamento geram resíduos e também uma série de desgastes físicos, levando em conta que a tecnologia de impressão de 3D requer precisão nos movimentos para correta determinação do posicionamento (coordenadas X, Y e Z) da extrusora.

Nesse contexto, percebe-se a importância da aplicação dos procedimentos de manutenções preventivas e corretivas nos períodos determinados neste plano, estando ligadas diretamente a qualidade final dos produtos, abrangendo o objetivo de garantir um retorno produtivo do investimento realizado na aquisição do equipamento.

O plano também proporciona um histórico proveniente do estudo e tabulação de dados gerados nos registros de manutenção do equipamento, onde através do cumprimento dos procedimentos descritos se terá informações que poderão, através da devida análise, determinar fatores relevantes relacionados com a não conformidade dos produtos fabricados, assim podendo determinar uma conexão

entre essas não conformidades identificadas e as manutenções que foram ou não executadas.

A tabulação e análise destes dados também acarreta um ciclo de melhoria dos procedimentos especificados por esse plano de manutenção, podendo assim ser determinado um estoque mínimo de peças sobressalentes ou a determinação da vida útil dos elementos mecânicos do equipamento, podendo futuramente se estabelecer uma determinada faixa de horas de operação máxima para correias, motores e demais componentes ou peças.

Desta forma, cria-se uma programação de manutenção para a troca destas peças dentro dos ciclos de operação, resultando em um efeito direto na melhoria do plano de manutenção atual e assegurando a constante operação dentro da conformidade e qualidade ao que for produzido. Isto se dá devido à padronização e o controle dos registros, gerando a segurança de que os dados de manutenção serão preservados para os ciclos de melhoria do processo. Portanto, garantindo o aprendizado e evolução dos procedimentos.

Vale destacar que as observações sistemáticas realizadas nos processos produtivos da fábrica onde se deu este estudo, permitiram a criação do plano de manutenção aqui em destaque, o qual se caracteriza por ser processual e sistemático. Sendo assim, a cada manutenção realizada, são gerados registros com vistas a melhoria contínua do controle das atividades desenvolvidas. Também, é oportuno mencionar o aspecto financeiro inerente às manutenções, uma vez que um equipamento parando por conta de falhas não previstas irá gerar muitos transtornos e perdas para a organização.

Nesses casos, o problema é potencializado nas prestadoras de serviços que produzem peças para empresas que lidam com bens finais. Nesse contexto, o fabricante que demanda das peças em 3D pode ter suas linhas de produção paradas por uma falha de manutenção no fornecedor do serviço. Portanto, dada a sua importância, os recursos empregados nas práticas de manutenção devem ser vistos como investimentos e não como gastos, considerando a sua importância estratégica para as organizações. Contudo, considerando o novo cenário mercadológico, sugere-se para estudos futuros uma investigação de como fazer a integração eficiente dos planos de manutenção nos novos conceitos da indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Confiabilidade e manutenibilidade**. ABNT: Rio de Janeiro, 1994.

ABREU, P.H.C. Perspectivas para a gestão do conhecimento no contexto da Indústria 4.0. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 10, p.136 – 145, 2018.

ANDRADE, F. G. **Priorização de manutenção em uma empresa de saneamento: modelo multicritério híbrido de apoio a decisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

ARRUDA, M. V.; COSTA, B. M. N. Sistema de custos como ferramenta de controle e gestão de resultados: estudo no fundo municipal de saúde de Janduís – RN. **Revista de Administração e Contabilidade**, v. 13, n. 3, p.85-103, 2023.

ARTUR, M. D. **Aplicação do conceito internet das coisas (IoT) e plataformas open source para monitoramento de painéis elétricos e de baixa tensão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2023.

BEN-DAYA, M.; KUMAR, U.; MURPHY, P. N. Prabhakar (Org.). **Introduction to Maintenance Engineering: Modeling, Optimization, and Management**. First edit ed. Pondicherry: John Wiley & Sons, 2016.

BILLIG, O. A. O. **Restrições e perdas no contexto do transporte rodoviário de cargas: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

BALDEZ, M. B.; TEIXEIRA, M. A.; MACHADO JÚNIOR, J. A. A importância da manutenção preventiva com foco na redução da manutenção corretiva em equipamentos médicos no Hospital Universitário de Vassouras/RJ. **Rev. Teccen**, v. 15, n. 1, p. 45 – 51, 2022.

BALZANI, R. N. **Algoritmos e requisitos para definição de ferramentas de código aberto para impressão 3D de argamassas**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

BORGES JUNIOR, W. M.; BARROS, J. M. C. Causas de atrasos em obras de movimentação asfáltica no estado de São Paulo. In: XXXIV CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET. **Anais [...]** edição online, 16 a 21 de novembro de 2020.

CAMARGO, G. R. M.; BARBOSA, P. A. G.; SANTOS, F. A. Impressão 3D na manutenção industrial e a redução de custos. **ABCustos**, v. 16, n.1, p.118 – 143, 2021.

CAVALCANTI, A. M. *et al.* Análise da qualidade do ar interior sob a abordagem da manutenção preditiva e da inovação. **Exacta-EP**, v. 13, n. 1, p. 45 – 54, 2015.

CERVINSKI, D. R.; MAKIYAMA, M. K.; THOMAZ, M. R. Manutenção centrada na confiabilidade (MCC) na redução de custos. **Engenharia Mecânica**, v. 6, n. 1, p. 369 – 386, 2022.

CERVO, A. L. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHATERJEE, L. *et al.* The environmental turbulence concept in marketing: A look back and a look ahead. **Journal of Business Research**, v. 131, p. 113775, 2023.

CONNER, B. P. *et al.* Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. **Addit. Manuf.**, v. 1, p. 64–76, 2014.

CORREA, P. M.; CAMARGO, E. J. Indicadores de manutenção da indústria cerâmica. **Revista de Extensão e Iniciação Científica da UNISOCIESC**, p. 1 – 22, 2022.

FANTONI, J. C. **Aplicações de modelos matemáticos para previsão de demanda para uma empresa de confecção do Estado de Santa Catarina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil). Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

FARIA, H.; COSTA, J. G. S.; OLIVAS, J. L. M. A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 46, p. 201 – 209, 2015.

FERREIRA, R. N. **A new model for imperfect maintenance under dependent corrective and preventive actions**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

FORMIGONI, C. V. E.; CARNEIRO, M. L. Impressão 3D na construção civil: revisão da literatura e desafios. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 4, p.226 - 237, 2021.

FRANZAS, C. A. **A formação profissional na manutenção industrial: uma abordagem sociointeracionista**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021.

GARCIA, F. L.; NUNES, F. L. Proposta de implantação de manutenção preventiva em um centro de usinagem vertical: um estudo de caso. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 2, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GRABAN, M. **Hospitais Lean**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HIRSCH-KREINSEN, H. Wandel von Produktionsarbeit–„Industrie 4.0 “. **WSI-Mitteilungen**, v. 67, n. 6, p. 421-429, 2014.

JARDIM, M. K. N.; LONGHINI, T. M. Postural and job analysis of a call center service. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 9, n.15, p.155 – 173, 2021.

JARDINE, A.; TSANG, A. **Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications**. 2 ed. United Kingdom: Taylor & Francis, 2013.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica**. Rio de Janeiro: Quality Editora, 1998.

KIM, Y.; PARK, S. H. Highly productive 3D printing processes transcend intractability in materials and geometries via interactive machine learning-based technique. **Adv. Intell. Syst.**, n. 2200462, p. 1 – 13, 2023.

LOPES, M. L. **Gestão de custos para gerenciamento da lucratividade apoiada na metodologia de custo meta: um estudo em hotel de luxo em Fernando de Noronha -PE**. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Finanças Empresariais). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2023.

MA, Z.; ZHOU, H.; ZHANG, W. Arched Tag: 3D printed tag on 2D surface via reflection anisotropy. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS. **Proceedings...** Hamburg, Alemanha, 23 a 28 de abril de 2023.

MAKHBUL, Z. K.; SHUKOR, M. S.; HUMAMED, A. A. Ergonomic workstation environment toward organisational competitiveness. **International Journal of Public Health Science**, v. 11, n. 1, p. 157 – 169, 2022.

MANSUR, M.; DJAEZANI, A. Q. Business strategy approach to informal small business in increasing productivity and competitiveness. **Golden Ratio of Marketing and Applied Psychology of Business**, v. 3, n. 1, p.1 – 19, 2023.

MARTIN, G. T. Deep sustainability: the UN Sustainable development goals versus the Unworkable UN System. **Mind and Society**, v. 11, n. 1, p. 10 – 14, 2022.

MARTINS, I. L. **Procedimentos de manutenção de equipamentos de esterilização hospitalar**. Dissertação (Mestrado em Instrumentação Médica). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2023.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Production management**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.** São Paulo: Hucitec, 2013.

MORANDINI, M. M.; DEL VECHIO, G. H. Impressão 3D, tipos e possibilidades: uma revisão de suas características, usos e tendências. **Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p.67 – 77, 2020.

MUKHAMETZYANOVA, A. *et al.* Additive manufacturing is as an important component of innovative engineering education. *In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS.* AIP Publishing LLC, 2022. p. 030023.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Compreendendo o processo gerencial.** Manaus: IFAM, 2011.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Gestão de organizações de ciência e tecnologia: ferramentas e procedimentos básicos.** Saarbrücken: Nova Edições Acadêmicas, 2017.

IAKI, M. K.; NONINO, F. Impact of additive manufacturing on business competitiveness: a multiple case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 1, p. 56–74, 2017.

NUNES, S. C. **Dos bytes aos átomos: reflexões e experimentações artísticas sobre o universo da impressão 3D.** Dissertação (Mestrado em Artes Visuais). Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

OBAL, J. S. **Metodologia heurística na otimização da programação dos planos de manutenção preventiva e preditiva na agroindústria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2023.

OHTA, R. **Análise multicritério com incerteza aplicada à gestão da manutenção industrial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020.

OLIVEIRA, R. C. **Investigação dos efeitos da posição de impressão e geometria da matriz no processo de extrusão polimérica com pellets visando a manufatura aditiva.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

OLIVEIRA, C.; LIMA, D. P. Manual de prevenção preventiva e corretiva em edificações. **Technology Science**, v. 4, n. 1, p.12 – 19, 2022.

PAES, D. S. F. **Detecção preditiva de anomalias em redes de computadores com utilização de aprendizagem de máquina.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Computação). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2023.

PARASCHIVESCU, A. O.; COTÎRLET, P. C. Quality continuous improvement strategies kaizen strategy – comparative analysis. **Economic Transdisciplinary Cognition**, v. 8, n. 1, p. 12- 21, 2015.

PARK, S.; FU, K. Polymer-based filament feedstock for additive manufacturing. **Composites Science and Technology**, v. 213, p. 108876, 2021.

PINHEIRO, M. L. **BIM para gestão da manutenção e das operações – processo em um caso prático**. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis). Universidade do Minho, Braga, 2022.

PINHEIRO, C. M. P. *et al.* Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo. **Signos do Consumo**, v. 10, n. 1, p.15 – 22, 2018.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. **Manutenção: função estratégica**. Editora Qualitymark, 2001.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualityark; Petrobrás, 2009.

QUEIROZ, L. A. Modelo físico de curva cifoescolética produzido por impressão 3D para planejamento de cirurgia da coluna vertebral: um estudo de caso. **Rev. Lat-Am. Inov. Eng. Prod.**, v. 10, n. 18, p. 57 – 66, 2022.

RESENDE, E. D. S. **Acidentes de trabalho e cuidados de saúde primários – revisão sistemática**. Dissertação (Mestrado em Higiene e Segurança nas Organizações). Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2020.

SAIHI, A.; BEN-DAYA, M.; ASAD, R. Underpinning success factors of maintenance digital transformation: a hybrid reactive Delphi approach. **International Journal of Production Economics**, v. 255, p.108701, 2023.

SANTIAGO, L. S. B. *et al.* Proposta de plano para um torno do laboratório de usinagem da Universidade de Brasília. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 8, n. 4, p.132 – 152, 2022.

SIRICHAWAL, I.; CONNER, B. Implications of Additive Manufacturing for Spare Parts Inventory. **3D printing and additive manufacturing**, v. 3, n. 1, p. 56–63, 2016.

SILVA, A.V.; RIBEIRO, J.L.D. Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis. *In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais [...]*, Salvador, Bahia, 6 a 9 de outubro de 2009.

SILVA, D. B.; GARCIA, M. Z. F.; DUTRA, J. A. A. Gestão estratégica de manutenção de máquinas agrícolas: estudo de caso em uma usina sucroalcooleira no Triângulo Mineiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 529 – 545, 2023.

SILVA, R. O. **Proposta de autocapacitação para coordenadores de graduação**. Dissertação (Mestrado em Educação Profissional e Tecnológica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2019.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, S. S. **Criação do curso de extensão “Conhecendo a Indústria 4.0 sob o olhar da ciência”**. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Profissional e Tecnológica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2020.

SUN, J. *et al.* Application of 3D-printed osteotomy guide plates in proximal femoral osteotomy for DDH in children: a retrospective study. **Journal of Orthopaedic Surgery and Research**, v. 18, n. 315, p.1 – 10, 2023.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. Canais de refrigeração ramificados e capilares para moldes mecânicos fabricados via manufatura aditiva. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. **Anais [...]**, Teresina, Piauí, 7 a 11 de agosto de 2022.

TANG, Y.; ZHAO, Y. F. A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance. **Rapid Prototyping Journal**, Emerald Group Publishing Limited, 2016.

TEODORO, D.; NUNES, R. S.; FURIGO, C. D. Avaliação do processo de gestão de um núcleo de manutenção em uma universidade pública brasileira. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA, 21., **Anais [...]**, Loja, Equador, 18 a 20 de janeiro de 2023.

UNE EN 13306 and STANDARDIZATION. European Committee for. **EM 13306: Maintenance terminology**, 2017. Disponível em: <http://hadidayati.com/wpcontent/uploads/2018/12/BS-EN-13306-2017.pdf>. Acesso em: 20 mai 2023.

VALENÇA, A.K.M. Aplicação das práticas de manutenção na restauração de equipamentos mecânicos: estudo de caso em uma instituição de ensino técnico. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 42, p. 37 – 53, 2023.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e Controle de Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002.

VIANA, A. C. R. **Otimização da gestão do processo da manutenção numa empresa de energia, sistemas e mobilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2022.

VILLANUEVA, M. M. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

XENOS, H. G. D'. **Gerenciando a manutenção produtiva:** o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

XENOS, H. G. D'. **Gerenciando a Manutenção Produtiva.** Nova Lima, MG: INDC Tecnologia e Serviços Ltda, 2002.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa.** Florianópolis: UFSC/Departamento de Ciências da Administração, 2013.

Autores

Jean Barbosa Pimentel

Aluno da graduação na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), na Faculdade de Tecnologia (FT).

Marcelo Augusto Oliveira da Justa

Mestre em Engenharia de Produção (UFAM), Especialista com MBA Executivo em Gestão da Produção e Operações (CIESA/AM), Administrador (CIESA/AM) e Técnico Eletrônico (ETFAM). Atualmente, é professor da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), na Faculdade de Tecnologia (FT), atuando como professor e pesquisador das disciplinas da Engenharia de Produção. É autor de livro e vários artigos científicos publicados em revistas indexadas. Anteriormente, atuou como profissional industrial na gestão de grandes empresas nacionais e multinacionais. Obteve a experiência vivenciada no gerenciamento de grandes equipes nas indústrias eletroeletrônica, plástico, metalmeccânico e automotiva, atuando nas áreas de Produção, Engenharia de Processos e Produto, Qualidade, Lean Manufacturing, Projetos, Custos, P&D e Manutenção Industrial. A experiência internacional obteve no gerenciamento de projetos e operações nos EUA, JAPÃO, ALEMANHA e COREIA para o startup de novas unidades e a transferência de tecnologia e *know-how*.

João Caldas do Lago Neto

Graduado em Engenharia Mecânica e Estatística. Possui mestrado em Pesquisa Operacional e Doutorado em Sistemas de Energia. Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Amazonas. Exerce a função de Diretor da Faculdade de Tecnologia. Tem experiência nas áreas

de Inovação e Avaliação Tecnológica, Probabilidade e Estatística, Sistemas Energéticos. Atuando nos seguintes temas: Pesquisa Operacional, Monitoramento e Controle Estatístico da Qualidade, Teoria dos Conjuntos Difusos, Planejamento Energético, Modelos de Previsão para o Mercado de Energia, Engenharia Térmica e Aproveitamento de Energia.

Moisés Israel Belchior de Andrade Coelho

Professor/Pesquisador do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET/UFAM). Membro da Incubadora do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICETec), pesquisador do Núcleo de Pesquisa em Economia, Tecnologia, Gestão e Inovação (NETGI) e coordenador do curso de engenharia de produção do ICET (2019-2021). Possui graduação em administração pela Universidade do Estado do Amazonas e mestrado em engenharia de produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Autor e coautor de artigos em eventos científicos e revistas nacionais e internacionais nas áreas de engenharia de produção e gestão. Tem como linhas de pesquisa os seguintes temas: Indicadores de Engenharias, Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I); Ergonomia e Segurança no trabalho; Gestão da Produção, Gestão da Qualidade, Lean Manufacturing, Inovação Tecnológica; e Gestão da Inovação na Amazônia.



Artigo recebido em: 16/07/2023 e aceito para publicação em: 26/09/2023

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4950>

ARTIGO