

# Esquema conceitual para gerenciamento da manutenção no contexto das tecnologias híbridas de manufatura

Daniel R. Tasé Velázquez  
Programa de Pósgraduação em  
Engenharia de Produção  
Universidade Metodista de Piracicaba  
São Paulo, Brasil  
[dtasev88@gmail.com](mailto:dtasev88@gmail.com)

Lorena Hernández Mastrapa  
Programa de Pósgraduação em  
Engenharia de Produção  
Universidade Metodista de Piracicaba  
São Paulo, Brasil  
[lorenahmastrapa@gmail.com](mailto:lorenahmastrapa@gmail.com)

Carlos Roberto Camello Lima  
Programa de Pósgraduação em  
Engenharia de Produção  
Universidade Metodista de Piracicaba  
São Paulo, Brasil  
[carlos.lima1@unimep.br](mailto:carlos.lima1@unimep.br)

Everton Dias de Oliveira  
Programa de Pósgraduação em  
Engenharia de Produção  
Universidade Metodista de Piracicaba  
São Paulo, Brasil  
[everton\\_deoliveira20@hotmail.com](mailto:everton_deoliveira20@hotmail.com)

André Luís Helleno  
Programa de Pósgraduação em  
Engenharia de Produção  
Universidade Metodista de Piracicaba  
São Paulo, Brasil  
[alhelleno@unimep.br](mailto:alhelleno@unimep.br)

Caroline Kuhl Gennaro  
Programa de Pósgraduação em  
Engenharia de Produção  
Universidade Metodista de Piracicaba  
São Paulo, Brasil  
[caroline\\_kuhl@yahoo.com.br](mailto:caroline_kuhl@yahoo.com.br)

**Abstract**— *This paper analyzes the maintenance function as a competitive approach within the company, as well as types, policies and conceptual elements related. The main objective is to present a conceptual schema to describe which constructs can serve as the basis for managing the maintenance activity and its policies aligned with the corporate and production strategies associated with hybrid manufacturing systems. A review of the scientific literature was carried out through an exploratory research to identify the existing structures related to the management and formulation of maintenance strategies in the industrial area. A conceptual framework for strategic management maintenance was developed in the context of using hybrid-manufacturing technologies in complex manufacturing systems, based on the identification and characterization of variables and attributes from a review of the most relevant works on the subject. The conceptual framework developed in this article has not been applied yet; therefore, quantitative results have not been validated so far. It is considered that the elements addressed in this work can constitute a guide to align maintenance activities with corporate strategies and production to achieve a world-class business performance.*

**Keywords**— *maintenance strategies, maintenance management, conceptual models, hybrid manufacturing technologies.*

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias híbridas de fabricação (HMT - *Hybrid Manufacturing Technologies*) [1], atrai crescente atenção por parte da indústria e da academia pela sua capacidade de combinar processos/máquinas com flexibilidade e agilidade na mudança de roteiros de fabricação, o que permite uma melhor utilização de recursos, materiais e a redução do *time-to-market* das peças e componentes produzidos [2]. Estes sistemas dedicam-se à produção de objetos, peças e componentes por meio da combinação de tecnologias que incluem o processo de usinagem por meio de controle numérico computadorizado (CNC - *Computer Numerical Control*) [3], conhecido também por manufatura subtrativa (SM - *Subtractive Manufacturing*) [4], e a manufatura aditiva (AM - *Additive Manufacturing*) [5][6], popularmente referenciada como impressão em 3D.

Um fator distintivo, associado aos sistemas híbridos de fabricação, é a transferência cada vez mais rápida dos produtos fabricados para o mercado. A redução no tempo de projeto do produto e de fabricação são aspectos exigidos por um mercado exclusivo e sujeito a tendências de comercialização voláteis [7].

O emprego das HMT flexibiliza a fabricação de produtos altamente customizados em um tempo competitivo, com baixo volume, alto valor agregado e custos de produção competitivos. A customização de produtos para atender ao crescimento contínuo da demanda de produtos cada vez mais personalizados e sofisticados provoca o aumento da competitividade comercial e a diferenciação das empresas do mesmo ramo [6].

A possibilidade de combinar técnicas aditivas e subtrativas em apenas um sistema permite melhorar a qualidade da superfície e aliviar os estresses residuais das peças [4][8], elevar a precisão geométrica e confiabilidade metrológica [2], minimizar o tempo necessário para o reparo [7], reduzir os custos associados ao processo [6], aumentar a facilidade de integração entre *software* e *hardware* e a capacidade de processar o material seletivamente [9][10], e garantir o atendimento aos requisitos de qualidade exigidos para algumas aplicações, por exemplo, indústria da construção, esportiva, automotiva, etc. [11].

A capacidade de adicionar e subtrair material de forma precisa e seletiva a/de uma peça de trabalho cria oportunidades significativas no reparo, manutenção e remanufatura de peças desgastadas ou danificadas que, pelo elevado custo de fabricação, não é viável o seu descarte [4]. Esta técnica de reparação por adição e subtração de material situa-se naturalmente dentro de setores que produzem partes de baixo volume e alta complexidade, que estão sujeitas a desgaste e danos, como as indústrias aeroespacial e aeronáutica, militar, médica e de moldes e matrizes [6][11].

Tendo em vista a relevância do emprego das HMT na fabricação de peças, partes e componentes para aplicações críticas antes mencionadas, surge a questão sobre como manter uma elevada confiabilidade (capacidade de um equipamento de realizar com sucesso aquilo para o que foi projetado) e disponibilidade (probabilidade de um equipamento estar operando ou pronto para operar) destes

---

Artigo realizado com apoio financeiro da CAPES. PPGE UNIMEP

equipamentos e do sistema produtivo para garantir os requisitos críticos de qualidade exigidos pelo mercado e a própria empresa.

A manutenção é a função dentro da organização que se ocupa de garantir o desempenho adequado, ótima usabilidade, ampla disponibilidade e elevada confiabilidade das máquinas e equipamentos [12]. Para isto, são executadas atividades de reparo, substituição, inspeção, lubrificação, monitoramento, assim como atividades relacionadas à manutenção de estoques de peças de reposição, capacitação de recursos humanos e gerenciamento dos riscos associados à atividade [13]. A manutenção, se projetada como uma dimensão estratégica do negócio [14], poderá garantir a operação eficaz dos sistemas produtivos com qualidade, disponibilidade de equipamentos e segurança dos funcionários e do meio ambiente. Isto dependerá de como as organizações possam efetivamente integrar a função manutenção com outras funções da organização [15][16].

O propósito deste trabalho é apresentar um esquema conceitual, resultante de uma pesquisa exploratória, que descreve quais os construtos que podem servir como base para gerenciar a atividade de manutenção e suas políticas, com alinhamento às estratégias corporativas e de produção, no contexto das tecnologias híbridas de manufatura, podendo contribuir ademais na orientação do processo de desenvolvimento de um plano estratégico de manutenção.

## II. MANUTENÇÃO. CONCEITOS E PRÁTICAS

### 2.1 Definição de Manutenção

Em [17], o termo manutenção é definido com a *“combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”*. Nota: A manutenção pode incluir uma modificação do item. Esta norma foi confirmada em 21.11.2016.

Conforme em [18], define-se a manutenção como a garantia da disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

É afirmado pelos autores em [19], que, para utilizar e preservar qualquer ativo (máquinas, equipamentos, instalações, etc.), requer-se determinadas habilidades técnicas e operacionais para atingir o objetivo principal da manutenção, qual seja, garantir a função do sistema (disponibilidade, eficiência e qualidade do produto), a vida útil do sistema (gerenciamento de ativos) e a segurança do sistema, com baixo consumo de energia.

### 2.2 Práticas de Manutenção

Os tipos de manutenção são caracterizados pela forma como é feita a intervenção no sistema (equipamentos, máquinas-ferramentas, instalações, etc., envolvidos na produção de qualquer bem ou serviço). Seis práticas básicas de manutenção consideradas como as principais na literatura serão descritas neste trabalho, a saber: manutenção corretiva planejada e não-planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

Conhecida também como manutenção baseada em falhas (FBM - *failure-based maintenance*) [20], a manutenção corretiva (CM - *corrective maintenance*) é realizada unicamente após a ocorrência de falhas ou da diminuição do desempenho de um equipamento, máquina ou sistema, cujo momento de falha pode não ser previsível [21]. De acordo com [22], *“[...] significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”*.

Essa abordagem se subdivide em duas categorias: (i) manutenção corretiva não-planejada; e (ii) manutenção corretiva planejada.

Segundo [18] a manutenção corretiva não-planejada visa à correção da falha sempre após a ocorrência ou desempenho abaixo do esperado/programado. Não é feito um acompanhamento ou planejamento anterior da manutenção. As atividades de manutenção são realizadas aleatoriamente segundo a ocorrência da falha. Já a manutenção corretiva planejada implica a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou mesmo pela decisão de o equipamento continuar operando até ocorrer a falha.

Esta prática só pode ser justificada quando o impacto da falha é desprezível ou se o investimento em ações preventivas é superior aos benefícios esperados pelo aprimoramento da confiabilidade e a disponibilidade do sistema [23]. Outra vantagem é que a vida útil de peças e componentes é totalmente aproveitada, ou seja, nenhum tempo restante de vida é inutilizado pela substituição de componentes antes da ocorrência da falha [24]. Já em [25] destacam-se como principais desvantagens desta prática os elevados níveis de avaria do sistema e de custos de reparação/substituição, devido a falhas imprevistas, e tempo longos de paradas e manutenção devido a danos excessivos nas peças ou componentes do sistema.

Manutenção preventiva (PM - *preventive maintenance*) é a manutenção baseada no tempo de uso do equipamento (TBM - *time-based maintenance*) por meio da qual as tarefas são executadas em intervalos pré-planejados [22], independentemente da condição real de um item. A PM refere-se a casos em que reparos e/ou substituições são realizados, sem a ocorrência de qualquer falha específica, através da execução de um conjunto de atividades planejadas com antecedência. Como o nome indica, o plano é evitar falhas ou reduzir a probabilidade de ocorrência [20]. Essa manutenção inclui, mas não se limita a ajustes, limpeza, lubrificação, reparo, substituição, verificação/inspeção em busca de sinais de deterioração e prolongamento da vida útil do equipamento [22].

No planejamento da PM, a determinação dos intervalos de tempo adequados é fundamental para o seu sucesso. Intervalos conservadores ou menores que o requerido implicariam paradas e troca de peças desnecessárias, aumento dos custos associados à produção e à manutenção, perdas produtivas, etc. [21][24].

Para aprimorar a operabilidade de tecnologias emergentes (sistemas de manufatura avançada, híbridas, etc.), a PM tem sido adotada como alternativa para a busca de maior produtividade, baseada no aumento da confiabilidade, da disponibilidade e da vida útil do equipamento, sendo que tais sistemas são geralmente mais complexos do que os

convencionais (baseados no uso de ferramentas manuais ou semi-mecânicos) comenta [25].

A manutenção baseada na condição do equipamento (CBM - *condition-based maintenance*), conhecida como manutenção preditiva (PdM - *predictive maintenance*), é realizada para monitorar determinados parâmetros associados à condição física do equipamento (temperatura, vibração, ruídos, etc.) com o objetivo de evitar falhas e manter padrões de qualidade [21]. A CBM é uma prática que recomenda ações de manutenção com base no estado do sistema, ou seja, quando uma determinada condição de degradação é observada [26].

Nesta abordagem de manutenção, os dados dos parâmetros são analisados buscando uma tendência que permita prever a degradação do desempenho do sistema. As atividades de manutenção então são programadas com base no tempo esperado de falha futura e outros aspectos relevantes da condição física do sistema [20]. Em [19] e [27] corrobora-se que o foco da abordagem PdM é detectar o início da degradação do equipamento e resolver os problemas à medida que eles são identificados; assim, as necessidades de manutenção são baseadas na condição real do equipamento, e não em algum cronograma predeterminado. Isto envolve a previsão da falha antes que ela ocorra, identificando as causas para esses sintomas de falha e eliminando antes que resultem em danos maiores ao equipamento ou sistema. Segundo [28], quando se resolve fazer a manutenção preditiva no equipamento, o que acontece é na verdade uma manutenção corretiva planejada.

Como parte da evolução das três primeiras gerações na área de manutenção, a manutenção detectiva (*detective maintenance*) representa um passo além dos esforços para garantir a operabilidade do sistema. Este tipo de manutenção visa portanto, garantir a correta funcionalidade do sistema realizando um monitoramento prévio baseado nos sentidos humanos (*human senses-based*), e é conhecida também como manutenção baseada na detecção (*detective-based maintenance*) [29]. A busca de falhas não reveladas ou não perceptíveis (ocultas) pelo operador, assim como verificações funcionais regulares no sistema sem tirá-lo de operação, são atividades comuns neste tipo de prática de manutenção [24].

De acordo com o entendimento dos autores em [18], a Engenharia de Manutenção visa, dentre outros fatores, a aumentar a confiabilidade, garantir a disponibilidade, segurança e manutibilidade; eliminar problemas crônicos e solucionar problemas tecnológicos; modificar situações de mau desempenho; participar de novos projetos e dar suporte à execução; fazer estudos e análises de falhas; elaborar planos de manutenção; fazer análise crítica e acompanhar indicadores, zelando sempre pela documentação técnica. “*Desta forma, a organização que utilizar a manutenção corretiva, mas incorporando a preventiva e a preditiva, rapidamente estará executando a engenharia de manutenção*”.

Entre todos os tipos de manutenção, nenhuma modalidade substitui outra; porém, associadas uma à outra, poderão trazer resultados positivos em termos de desempenho, produtividade e diferenciação do negócio. A empresa que pratica a Engenharia de Manutenção não apenas realiza acompanhamento proativo de seu sistema; além disso, ela alimenta sua infraestrutura de dados e informações sobre

manutenção, que lhe permitirá realizar análises e estudos para proposição de melhorias no futuro imediato.

A Fig. 1, ilustra a diferença e interação entre cada um dos tipos de manutenção e o papel da Engenharia de Manutenção em relação aos outros conceitos.

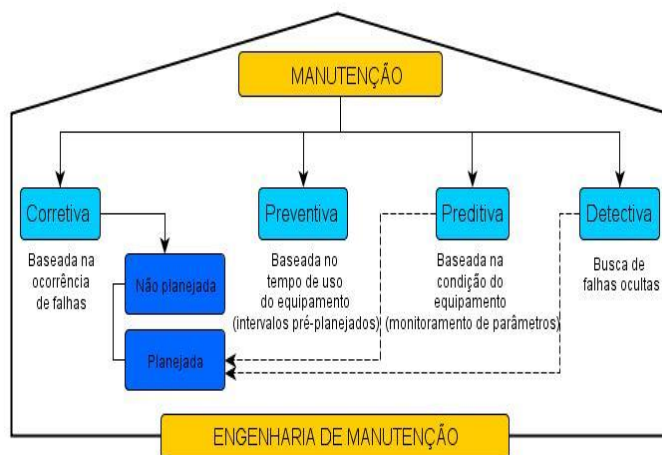


Fig. 1. Tipos de manutenção e sua inter-relação com a Engenharia de Manutenção.

### III. ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

Conforme em [30], as estratégias de manutenção são os métodos utilizados para formular o melhor plano de manutenção para cada elemento da planta, de forma coordenada para transformar/alinhar os objetivos corporativos e operacionais com os objetivos de manutenção. Através da identificação das atuais lacunas no desempenho da manutenção, uma oportunidade surge para desenvolver um plano genérico de manutenção.

Uma estratégia de manutenção deve levar em consideração elementos como a visão, a missão, os objetivos corporativos e do sistema de produção, as mudanças tecnológicas necessárias, a organização das atividades e recursos, assim como as decisões estratégicas que serão adotadas em todos os níveis da organização para atingir um nível padrão de qualidade, de disponibilidade e confiabilidade do sistema e de seus componentes, conforme [15][16][19][31].

Autores como A. Salonen [16], A. C. Márquez, P. M. De León, J. F. G. Fernández, C. P. Márquez e M. A. L. Campos [31], L. Swanson [32], L. Pintelon, S. K. Pinjala e A. Vereecke [33], e S. K. Pinjala, L. Pintelon e A. Vereecke [34], convergem no entendimento de que a formulação de uma estratégia de manutenção não compreende apenas a seleção de uma política de manutenção ou uma combinação destas. Como complemento, aspectos corporativos importantes, como a natureza da empresa e propósito social (missão e visão), aspectos operacionais como a disponibilidade de equipamentos de reserva e *upgrade* dos já existentes, organização, e a identificação e alocação das instalações e os recursos (humanos, materiais, tecnológicos, normativos, etc.) disponíveis, devem também ser considerados.

### 3.1 Políticas de Manutenção

O trabalho de L. Swanson [32] define três políticas básicas de manutenção que podem ser adotadas como possíveis estratégias de manutenção, a saber: reativa, proativa e agressiva. A Fig. 2 apresenta a classificação destas políticas de manutenção.



Fig. 2. Políticas de manutenção e as práticas que abrangem. Adaptado de [24].

Políticas reativas são vistas como um enfoque de manutenção para “combater incêndios”. Neste caso, as atividades de manutenção são executadas apenas quando é comprovada a ocorrência de uma ou várias falhas.

Políticas proativas, por outro lado, são desenvolvidas para evitar quebras/falhas do sistema. Práticas de manutenção preventiva e preditiva são executadas, neste caso, para reduzir a probabilidade de falhas inesperadas.

Uma política agressiva de manutenção vai além dos esforços para prevenir as falhas nos equipamentos. Esta política visa a melhorar o sistema como um todo por meio de modificações ou reformulação dos processos e componentes do sistema, que também auxiliam na prevenção de falhas. Isso geralmente é possível por meio de uma modificação ou *redesign* de equipamentos já em uso ou novos, ou do sistema em geral. Como exemplo de política agressiva, cita-se a filosofia TPM (*Total Productive Maintenance*) [35].

O TPM é uma filosofia de manutenção inovadora baseada em equipes e projetada para otimizar a eficácia global do equipamento (OEE - *overall equipment effectiveness*), eliminar falhas maximizando a vida útil do equipamento e promover a manutenção autônoma, envolvendo toda a força de trabalho, ou seja, os trabalhadores de todos os departamentos e níveis [35]. O OEE permite, de maneira eficaz, medir e analisar a eficiência de um único equipamento/célula ou de um sistema integrado de manufatura [36].

Segundo S. Nakajima [37], o TPM é caracterizado por cinco elementos principais, a saber:

1. Maximização do OEE;
2. Estabelecimento de um sistema de manutenção preventivo para aumentar a vida útil do equipamento;
3. Sua implementação envolve diferentes departamentos da empresa (engenharia, operações e manutenção);
4. Participação de todos os funcionários desde a alta gerência até os de chão de fábrica; e
5. É uma estratégia agressiva focada em melhorar o desempenho e design dos equipamentos de produção.

### IV. ESQUEMA CONCEITUAL PARA GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO NO CONTEXTO DAS HMT

Foi conduzida uma pesquisa exploratória que permitiu identificar e definir os principais construtos, variáveis e parâmetros que compõem o esquema conceitual aqui apresentado para gerenciar a manutenção de forma estratégica. Os trabalhos que serviram como base para a construção do esquema objeto deste trabalho foram os desenvolvidos em [15], [16], [19] e [31], pois considera-se que todos propõem um alinhamento sólido entre os níveis corporativo e operacional, junto com a função manutenção para contribuir com a garantia de um desempenho empresarial de classe mundial.

Na Fig. 3, apresentam-se os principais constructos, variáveis e parâmetros que podem servir como base para a gestão estratégica da manutenção com alinhamento às estratégias da área operacional (produção) e gerencial (corporativa) e que podem contribuir ao crescimento da competitividade empresarial e a garantia da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos no contexto das HMT.

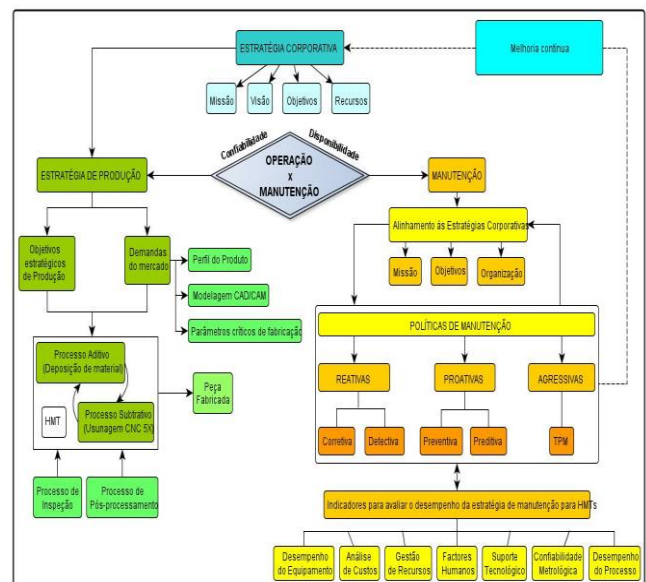


Fig. 3. Constructos para gestão da manutenção com alinhamento às estratégias de produção e corporativas.

Os constructos que compõem o esquema referencial da fig. 3 são descritos em seguida.

**Estratégia Corporativa:** Definir a estratégia corporativa é uma tarefa atribuída à alta gerência da organização, porém, sem excluir representantes das áreas de produção, de desenvolvimento (projeto) de produtos e comercial, assim como representantes das funções de apoio (recursos humanos, financeira, etc.). As atividades relacionadas a isto incluem a definição da missão, visão e objetivos estratégicos empresariais. Cada um destes elementos variarão de uma empresa a outra em concordância como o objeto social de cada uma. A estratégia inclui também o planejamento e disponibilidade dos recursos (financeiros, materiais, humanos, tecnológicos, etc.) que serão destinados para atingir os objetivos estratégicos e que permitam responder efetivamente à missão. Outras atividades relacionadas à definição das estratégias corporativas podem incluir a delimitação dos valores organizacionais, o estilo de liderança, a cultura organizacional que rege a empresa, etc.

**Estratégia de Produção:** A estratégia de produção, neste caso, é definida em concordância com as atividades que marcam o início do processo híbrido de fabricação, o próprio processo de manufatura e sua relação com os processos de apoio. As principais atividades a se realizar para definir a estratégia de produção incluem:

(i) a delimitação dos objetivos estratégicos de produção: os objetivos da área produtiva devem estar alinhados aos objetivos corporativos e assim alcançarão o grau de estratégicos. Estes objetivos são diferentes em cada organização e respondem àquelas atividades de produção críticas (principais), que geram lucros para a empresa e que não admitem desvios;

(ii) a adequação das atividades produtivas às demandas do mercado: neste caso, as demandas do mercado respondem às aplicações críticas industriais (aeronáutica, médica, esportiva, construção civil, automotiva, etc.) para as quais serão destinadas as peças fabricadas.

A partir da demanda do mercado, outras três atividades são desenvolvidas e dão continuidade à estratégia de produção, a saber:

(iii) construção do perfil do produto: inclui as informações técnicas, características de funcionalidade e modos de uso com segurança. Estas informações são coletadas a partir da demanda feita conjuntamente com o fabricante;

(iv) modelagem CAD/CAM: parâmetros e informações do perfil do produto serão projetados por meio de um software (etapa de design); e

(v) parâmetros críticos de fabricação: características do processo e do sistema que devem ser controladas e cujos limites devem estar dentro dos requisitos técnicos e de qualidade pré-definidos para atender o perfil do produto. Alguns parâmetros críticos de fabricação podem ser: tipos de tecnologias, estratégias de deposição, orientação da peça e da ferramenta, temperatura, potência do laser, técnica de fabricação, fluxo do pó, padrão de usinagem (*tool-path machining*), taxa de avanço da ferramenta, propriedades do material, acabamento superficial, ângulo e padrão de deposição, acessibilidade da ferramenta, quantidade de camadas, etc. [38][39][40]. Parâmetros qualitativos também podem ser considerados, por exemplo, tempo de degradação do material empregado para a fabricação das peças, estocagem e manipulação, validade das matérias primas e materiais auxiliares, etc.

O processo de inspeção pode ser feito mediante análise metrológica *in-situ*, *on-line* ou *at-line* [11], como processo de apoio à produção. Esta análise permite obter uma informação dimensional detalhada da peça durante a produção, isto é, uma estratégia proativa para minimizar erros durante a fabricação, o que é um estágio superior às estratégias de inspeção retroativas (*off-line*) [11]. A análise oferecerá elementos técnicos necessários para determinar se existe ou não a necessidade de execução do processo de pós-processamento para garantir os requisitos do perfil do produto. O resultado esperado da estratégia definida (saída do processo) é a peça metálica produzida segundo os padrões de qualidade requeridos, os parâmetros críticos de fabricação e os objetivos de produção antes definidos.

**Estratégia de Manutenção:** A formulação de uma sólida estratégia de manutenção condiciona o sucesso do processo

de gerenciamento da manutenção como função estratégica de uma organização e determina a eficácia da implementação subsequente das políticas de manutenção, os cronogramas de execução, as formas de controle e as melhorias pertinentes [16][19][31]. Inicialmente, requer-se a definição de: (i) a missão da função manutenção; (ii) os objetivos estratégicos de manutenção, ambos os elementos derivados diretamente das estratégias de produção e corporativas; e (iii) o sistema de organização da manutenção. Estas três atividades devem ir ao encontro das estratégias de produção e corporativas.

A declaração da missão surge da necessidade de explicar o propósito da manutenção na organização e seu papel no alcance da visão e objetivos estratégicos corporativos. A missão deve definir claramente o que se pretende alcançar e como se fará. Esta declaração precisa ser adotada e aprovada também pela alta gerência e difundida nas outras partes da organização [19]. Por outra parte, a missão deve refletir também como a empresa atenderá às necessidades de seus clientes [15]. Um exemplo de declaração de missão pode ser “*Garantia da disponibilidade e confiabilidade do sistema produtivo integrando as atividades de manutenção e operação, e otimizando a relação custo-tempo-benefício*”.

Os objetivos definidos nesta etapa devem responder à realização da missão. Estes objetivos estão diretamente ligados aos objetivos de produção e aos corporativos de forma geral. Eles devem ser expressos de forma qualitativa e quantitativa, e podem ser definidos com base em: indicação de quais os resultados esperados; atendimento das principais necessidades dos clientes; incremento dos aspectos fortes da função; superação dos desafios existentes; mitigação das ameaças [19], ou qualquer outro objetivo que a empresa queira potencializar para atingir um desempenho superior.

Com relação à atividade de organização da manutenção, este processo pode ser de diferentes maneiras, a saber: centralizada (todas as atividades/recursos são reportadas a apenas um profissional) vs. descentralizada (os recursos de manutenção são alocados diretamente na área de produção) ou híbrida (recursos específicos gerenciados de forma descentralizada, com recursos comuns operando de forma centralizada); interna (*in-house*) vs. terceirizada (*out-sourced*) [15][19]. Deve-se ressaltar que qualquer uma das formas adotadas para organizar a atividade de manutenção deve garantir uma resposta rápida com utilização eficiente dos recursos.

Já completadas as três fases iniciais acima descritas, é momento de analisar qual ou quais das políticas de manutenção estão melhor alinhadas às estratégias de produção e corporativas. Esta análise pode ser sustentada pela avaliação dos seguintes indicadores:

(i) Desempenho do equipamento: nível de criticidade dentro do sistema produtivo, análise da confiabilidade através do FMEA (*failure mode and effect analysis*), funcionalidade e disponibilidade da tecnologia, durabilidade (vida útil com/sem reparo), maximização do OEE, análise tempo médio entre falhas (MTBF - *mean time between failure*), tempo médio entre reparos (MTTR - *mean time to repair*), severidade das falhas, etc.;

(ii) Custos de manutenção: custo da execução das atividades com segurança, custos de reparo, facilidade de reparo, manutenção *in-house* vs. *out-sourced*, custo da má usabilidade dos componentes críticos, custos de

planejamento inadequado, custos de ensaios, pesquisas e desenvolvimento, etc.;

(iii) Gestão de recursos: adequado controle do estoque, disponibilidade de estoque de emergência, integração entre o controle do estoque e o planejamento da manutenção, desperdício de materiais, etc.;

(iv) Fatores humanos: força laboral disponível, necessidade de treinamentos, níveis de supervisão, integração entre o pessoal de operação e manutenção;

(v) Sistemas de informação: disponibilidade e integração dos sistemas computadorizados de gestão da manutenção (CMMS - *Computerized Maintenance Management System*) com outros processos, sistemas de diagnósticos, coleta e análise de dados;

(vi) Confiabilidade metrológica: garantia dos atributos críticos da peça (acabamento superficial, efeito “degrau”, geometria, *surface-texture metrology* [41]), capacidade de satisfazer o perfil de fabricação do produto, garantia da funcionalidade; e

(vii) Desempenho do sistema produtivo: *time-to-market*, atendimento às normas e regulamentos técnicos, satisfação das necessidades dos clientes, taxas de produção real vs. plano, confiabilidade, velocidade, flexibilidade.

#### 4.1 Integração e Melhoria Contínua

A integração entre as operações produtivas e as atividades de manutenção visa a elevar o nível de atendimento de manutenção aos equipamentos para garantir o aumento da confiabilidade e disponibilidade. O ciclo de melhoria contínua desenvolve-se como atividade recorrente para aperfeiçoar a gestão da manutenção e sua integração com a área produtiva e a alta gerência, visando à determinação de quais atividades podem ser melhoradas.

De forma geral, estes construtos e variáveis permitem mensurar objetivamente o desempenho da manutenção e sua influência na geração de valor agregado (relação oportunidade-qualidade-preço), o que, por sua vez, contribuirá para entender qual o comportamento do sistema em função das atividades de manutenção desenvolvidas e o que deve ser melhorado para elevar a disponibilidade e confiabilidade do equipamento.

### V. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A função manutenção deve ser considerada como um fator essencial para as principais operações de um negócio, e deve ser gerenciada/reconhecida intrinsecamente como um serviço para o negócio. A manutenção não apenas pode garantir o desempenho adequado do equipamento ou sistema, mas também exerce um papel crucial no alcance das metas e objetivos da organização, minimizando custos, elevando a disponibilidade, a confiabilidade e aumentando a produção.

Políticas adequadas de manutenção podem ser garantia de maximização do desempenho do sistema produtivo, do desempenho global dos equipamentos, assim como de uma elevada disponibilidade e confiabilidade. O desempenho aprimorado dos componentes ou do sistema resulta em menos necessidade de manutenção.

O incremento dos custos de manutenção nas empresas é dado porque a maioria delas não consegue definir adequadamente o papel e o funcionamento da manutenção

dentro da organização, já que não se considera como importante o impacto da função manutenção nas operações produtivas da empresa.

A seleção de pessoal de manutenção adequado, e com os recursos apropriados, apoiados por treinamento contínuo e bons esquemas de incentivo, é uma necessidade para a organização atingir a eficácia e a eficiência do desempenho. Importantes e notáveis benefícios para as empresas só poderão ser alcançados se definidos e implementados os processos comerciais chaves para a organização, alinhados às estratégias corporativas e usando o CMMS como ferramenta facilitadora para a correta gestão da manutenção.

O planejamento e a programação de manutenção devem atender aos objetivos globais da empresa e, portanto, devem basear-se em uma missão clara e nos objetivos para o seu sucesso. O gerenciamento estratégico da manutenção assegura a correspondência entre os objetivos de manutenção e os objetivos de produção, bem como os objetivos corporativos e de outras áreas funcionais. Portanto, o gerenciamento deve ser feito de forma a garantir o alinhamento entre as diversas partes da organização, bem como o sucesso de sua implementação. A adoção de uma política de manutenção adequada garante que o equipamento cumpra com a função requerida (confiabilidade), e que ele fique operando de forma contínua e sem falhas (disponibilidade).

O esquema conceitual apresentado neste trabalho ilustra o alinhamento entre as estratégias de manutenção com as estratégias da área produtiva e as corporativas. O planejamento das atividades de manutenção em concordância com as estratégias de produção e corporativas é um processo crucial para alcançar o desempenho de classe mundial em qualquer organização.

A partir do esquema desenvolvido, o processo de gerenciamento estratégico da manutenção, no contexto da utilização de HMT, pode ser resumido da seguinte maneira:

(1) Definir as estratégias corporativas no que diz respeito à missão, visão e objetivos estratégicos;

(2) Delimitar as estratégias de produção alinhadas à estratégia corporativa e com base na capacidade do sistema para atender a demanda do mercado;

(3) Analisar quais das políticas de manutenção são mais adequadas para a implantação no processo/equipamento da operação (HTM), com alinhamento às estratégias de produção e corporativas;

(4) Determinar quais indicadores de desempenho permitem avaliar/formular uma estratégia de manutenção adequada; e

(5) Integração das operações com as atividades de manutenção e melhoria contínua do processo: revisões periódicas das políticas adotadas.

Os construtos, variáveis e indicadores identificados neste trabalho podem ser úteis para os profissionais (gerentes, líderes, supervisores, técnicos, etc.) de manutenção no desenvolvimento de estratégias de manutenção. Os profissionais não só estarão cientes das implicações de diferentes estratégias no desempenho da manutenção, mas também poderão entender algumas das práticas de manutenção que suportam a seleção de estratégias que

permitirão à organização atingir um desempenho de classe mundial.

De forma geral, pode-se concluir que, a função manutenção não lida apenas com atividades relacionadas a preservar tecnologias já que, abrange a combinação de estratégias tecnológicas, operacionais e corporativas que incluem:

(i) Ações destinadas à conservação em um estado adequado de equipamentos, máquinas e instalações para trabalhar sem falhas recorrentes ou com baixa probabilidade de ocorrência;

(ii) Ações destinadas a garantir o funcionamento adequado de equipamentos, máquinas e instalações para produzir aquilo para o que foram projetados com o grau máximo de operabilidade; e

(iii) Ações destinadas ao gerenciamento da função manutenção como serviço estratégico do negócio para contribuir com a geração de valor (produtos com qualidade, custos baixos e com prazos adequados) de forma sustentável.

Sugere-se que, para futura implementação do modelo conceitual, a equipe formada para implementá-lo seja adequadamente capacitada neste assunto com profunda compreensão dos propósitos, objetivos, conceitos e ferramentas que possam contribuir no sucesso da implementação, assim como, avaliar a possibilidade de o modelo ser adaptado para outras organizações com sistemas similares.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

#### REFERÊNCIAS

- [1] Z. Zhu, V. Dhokia, A. Nassehi, S. T. Newman, "A review of hybrid manufacturing processes-state of the art and future perspectives," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 26, n. 7, p. 596-615, 2013.
- [2] S. Guessasma, W. Zhang, J. Zhu, S. Belhabib, H. Nouri, "Challenges of additive manufacturing technologies from an optimization perspective," *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, v. 6, n. A9, 2015.
- [3] ASTM. American Society for Testing and Materials, "Designation F2792-12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies," p. 3, 2012.
- [4] J. Liu, X. Wang, Y. Wang, "A complete study on satellite thruster structure (STS) manufactured by a hybrid manufacturing (HM) process with integration of additive and subtractive manufacture," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, n. 92, p. 4367-4377, 2017.
- [5] N. Guo, M. C. Leu, "Additive manufacturing technology, applications and research needs," *Frontiers of Mechanical Engineering*, v. 8, n. 3, p. 215-243, 2013.
- [6] J. Flynn, A. Shokrani, S. T. Newman, V. Dhokia, "Hybrid additive and subtractive machine tools – Research and industrial developments," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, n. 101, p. 79-101, 2016.
- [7] S. T. Newman, Z. Zhu, V. Dhokia, A. Shokrani, "Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, n. 64, p. 467-470, 2016.
- [8] M. Attaran, "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing," *Business Horizons*, n. 60, pp. 677-688, 2017.

- [9] S. Singh, S. Ramakrishna, R. Singh, "Issues in additive manufacturing: A review," *Journal of Manufacturing Processes - Review Material*, n. 25, p. 185-200, 2017.
- [10] Z. Xiao, Y. Yang, R. Xiao, Y. Bai, C. Song, D. Wang, "Evaluation of topology-optimized lattice structures manufactured via selective laser melting," *Materials & Design*, v. 143, pp. 27-37, April 5, 2018.
- [11] S. N. Tofail, E. P. Koumoulos, A. Bandyopadhyay, S. Bose, L. O'donoghue, C. Charitidis, "Additive manufacturing scientific and technological challenges, market uptake and opportunities," *Materials Today*, v. 21, n. 1, p. 22-37, 2018.
- [12] U. Al-Turki, "A framework for strategic planning in maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*," v. 17, n. 2, p. 150-162, 2011.
- [13] A. Rastegari, A. Salonen, "Strategic maintenance management: Formulating maintenance Strategy," *International Journal of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*, v. 18, p. 5-14, 2015.
- [14] D. N. P. Murthy, A. Atrens, J. A. Eccleston, "Strategic maintenance management," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 8, n. 4, p. 287-305, 2002.
- [15] C. P. Oberg, "Managing Maintenance as a Business," EPAC Software Technologies, Inc. White Paper. 2010.
- [16] A. Salonen, "Formulation of maintenance strategies - A simplified process," *International Journal of COMADEM*, v. 15, n. 3, p. 9-18, 2012.
- [17] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, "ABNT NBR 5462:1994 - Confiabilidade e Manutenibilidade," ABNT/CB-003 Eletricidade. p. 37, 1994.
- [18] A. K. Pinto, J. N. Xavier, *Manutenção: função estratégica*. 3ª ed. Rio de Janeiro. Qualitymark: Petrobrás, 2009, p. 384.
- [19] R. S. Velmurugan, T. Dhingra, "Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework," *International Journal of Operations & Production Management*, v. 35, n. 12, p. 1622-1661, 2015.
- [20] H. Lind, H. Muyingo, "Building maintenance strategies: planning under uncertainty," *Property Management*, v. 30, n. 1, p.14-28, 2012.
- [21] A. Jain, R. Bhatti, H. Singh, "Total productive maintenance (TPM) implementation practice: A literature review and directions," *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 5, n. 3, p. 293-323, 2014.
- [22] N. Slack, R. Johnston, S. Chambers, *Administração da produção*. 3a ed. São Paulo: Atlas, 2009, p. 703.
- [23] A. Tsang, "Strategic dimensions of maintenance management," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 8, n. 1, pp. 7-39, 2002.
- [24] T. Tinga, "Maintenance Concepts," In: *Principles of Loads and Failure Mechanisms*. Springer Series in Reliability Engineering. Springer, London, 2013.
- [25] E. I. Basri, I. H. A. Razak, H. Ab-Samat, S. Kamaruddin, "Preventive maintenance (PM) planning: a review," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 23, n. 2, pp.114-143, 2017.
- [26] K. Efthymiou, N. Papakostas, D. Mourtzis, G. Chryssolouris, "On a Predictive Maintenance Platform for Production Systems," *Procedia CIRP*, v. 3, p. 221-226, 2012.
- [27] S. El-Ferik, M. Ben-Daya, "Integrated maintenance production model under age-based maintenance policy & non-negligible maintenance times," *Asia Pacific Journal of Operations Research*, v. 27, n. 4, p. 539-558, 2010.
- [28] F. Trojan, R. M. Marçal, L. R. Baran, "Classificação dos tipos de manutenção pelo método de análise multicritério ELECTRE TRI. XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2013, Natal/RN.
- [29] G. Waeyenbergh, L. Pintelon, "A framework for maintenance concept development," *International Journal of Production Economics*, v. 77, p. 299-313, 2002.
- [30] A. C. Márquez, J. N. D. Gupta, "Contemporary Maintenance Management: Process, Framework and Supporting Pillars," *Omega*, v. 34, n. 3, p. 313-326, 2006.
- [31] A. C. Márquez, P. M. De León, J. F. G. Fernández, C. P. Márquez, M. A. L. Campos, "The maintenance management

- framework: A practical view to maintenance management,” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 15, n. 2, p.167-178, 2009.
- [32] L. Swanson, “Linking maintenance strategies to performance,” *International Journal of Production Economics*, v. 70, p. 237-44, 2001.
- [33] L. Pintelon, S. K. Pinjala, A. Vereecke, “Evaluating the effectiveness of maintenance strategies,” *Journal of Quality Maintenance Engineering*, v. 12, n. 1, p. 7-20, 2006.
- [34] S. K. Pinjala, L. Pintelon, A. Vereecke, “An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies,” *International Journal of Production Economics*, v. 104, n. 1, p. 214-229, 2006.
- [35] A. Jain, R. Bhatti, H. Singh, S. Sharma, “Implementation of TPM for enhancing OEE of small-scale industry,” *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR)*, v. 1, n 1, p. 125-136, 2012.
- [36] S. G. Katkamwar, S. K. Wadatar, R. V. Paropate, “Study of total productive maintenance its implementing approach in spinning industries,” *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, v. 4, n. 5, p. 1750-1754, 2013.
- [37] S. Nakajima, *TPM: Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press Inc., Cambridge, MA, 1988.
- [38] A. L. Helleno, “Contribuição para a manufatura de superfícies complexas com altas velocidades baseada em novos métodos de interpolação da trajetória da ferramenta,” 2008, 217p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste, 2008.
- [39] Y. Zhu, Z. Chen, T. Ning, R. Xu, “Tool orientation optimization for 3 + 2 -axis CNC machining of sculptured surface,” *Computer-Aided Design*, v.77, p. 60-72, 2016.
- [40] P. Bo, M. Bartoň, D. Plakhotnik, H. Pottmann, “Towards efficient 5-axis flank CNC machining of free-form surfaces via fitting envelopes of surfaces of revolution,” *Computer-Aided Design*, v. 79, p. 1–11, 2016.
- [41] A. Townsend, N. Senin, L. Blunt, R. K. Leach, J. S. Taylor, “Surface texture metrology for metal additive manufacturing: a review,” *Precision Engineering*, v. 46, October 2016, pp. 34-47, 2016.