

## Sustentabilidade nas estratégias de manutenção

Renan Stenico de Campos (Universidade Metodista de Piracicaba) [renanstenico@hotmail.com](mailto:renanstenico@hotmail.com)

Maria Júlia Xavier Belém (Universidade Metodista de Piracicaba) [majbelem@unimep.br](mailto:majbelem@unimep.br)

Alexandre Tadeu Simon (Universidade Metodista de Piracicaba) [atsimon@unimep.br](mailto:atsimon@unimep.br)

### Resumo:

No cenário industrial, as empresas estão adotando práticas sustentáveis como forma de integrar os critérios de desempenho econômico, preocupações ambientais e sociais em suas operações. A sustentabilidade permeia todos os processos industriais e empresariais, inclusive a manutenção. Envolver práticas sustentáveis durante a implementação de estratégias de manutenção contribui para a redução dos custos de manutenção e aumento da produtividade do sistema de produção, na diminuição das emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia, além de se importar com a saúde e segurança dos envolvidos durante as operações de manutenção. O objetivo desse trabalho é analisar como as estratégias de manutenção integram as questões relacionadas com a sustentabilidade. Para tanto, é realizada uma pesquisa teórico/conceitual, baseada em uma revisão bibliográfica.

**Palavras chave:** Sustentabilidade, Manutenção, Estratégia.

## Sustainability in maintenance strategies

### Abstract:

In the industrial scenario, companies are adopting sustainable practices as a way to integrate the criteria of economic performance, environmental and social concerns in their operations. Sustainability permeates all industrial and business processes, including maintenance. Involving sustainable practices during the implementation of maintenance strategies contributes to reducing maintenance costs and increasing the productivity of the production system, reducing greenhouse gas emissions and energy consumption, as well as caring about health and safety involved during maintenance operations. The objective of this work is to analyze how maintenance strategies integrate issues related to sustainability. For this, a theoretical/conceptual research is carried out, based on a bibliographical review.

**Key-words:** Sustainability, Maintenance, Strategy.

### 1. Introdução

Atualmente, é muito importante para as empresas terem consciência que sua função não deve se concentrar apenas em gerar empregos, produzir bens ou serviços, pagar impostos e lucrar. As organizações, com ou sem fins lucrativos, fazem parte do meio ambiente. As atitudes que tomam, positivas ou negativas, terão reflexos, tanto no cenário empresarial, quanto para a sociedade (COSTA; EZEQUIEL, 2011).

Um componente que vem sendo utilizado nas estratégias competitivas de muitas empresas, como forma de se diferenciarem no meio em que atuam, é a sustentabilidade. As empresas que adotam práticas sustentáveis são capazes de alcançar melhor qualidade em seus produtos e serviços, maior participação de mercado, bem como aumento nos lucros (NAMBIAR, 2010).

No cenário industrial, sistemas de produção sustentáveis incorporam questões econômicas, ambientais e sociais durante todas as fases do ciclo de vida do produto, desde a concepção, até

a entrega do produto acabado para um usuário final (NEUGEBAUER; WERTHEIM; HARZBECKER, 2011). Do lado econômico, observa-se que os processos de produção normalmente exigem grande capital investido, além de recursos de apoio elevados para se manter em operação. Consomem energia e geram resíduos com alto impacto para o meio ambiente. Adicionalmente, precisam dispor de programas voltados à saúde e segurança dos funcionários, resultando em impactos sociais (YAN; DINGGUO, 2010; JASIULEWICZ-KACZMAREK *et al.*, 2013).

Dentre os recursos de apoio envolvidos para o alcance dos objetivos estabelecidos por uma organização, a manutenção surge como uma função de negócio que se tornou parte crucial para que a empresa alcance a condição sustentável (SARI *et al.*, 2015).

Na concepção tradicional, a manutenção é definida como a combinação de todas as atividades técnicas e administrativas necessárias para manter os equipamentos, instalações e outros ativos físicos na condição operacional desejada ou restaurá-los para a condição desejada. Mais recentemente, surgiu o conceito de manutenção sustentável, que busca proporcionar um equilíbrio entre as dimensões social, ambiental e econômica por meio de operações de manutenção proativas (MUCHIRI *et al.*, 2011; JASIULEWICZ-KACZMAREK *et al.*, 2013).

Deve contemplar as questões de sustentabilidade, pois uma estratégia adequada de manutenção, além de reduzir os custos de manutenção e aumentar a produtividade do sistema de produção, reduz as emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia, e apresenta alta qualidade de serviço e segurança nas operações (TAKATA *et al.* 2004; YAN; DINGGUO, 2010). As estratégias de manutenção mais utilizadas nas tomadas de decisões em operações industriais são: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção baseada em condição (também conhecida como manutenção preditiva), manutenção produtiva total, e manutenção centrada em confiabilidade (NEZAMI; YILDIRIM, 2013; VELMURUGAN; DHINGRA, 2015).

O objetivo desse trabalho é analisar como as estratégias de manutenção contemplam as questões relacionadas com a sustentabilidade. Para tanto, é realizada uma pesquisa teórico/conceitual, baseada em uma revisão bibliográfica.

## 2. Revisão da literatura

Essa seção apresenta uma revisão da literatura sobre sustentabilidade, manutenção e estratégias de manutenção.

### 2.1. Sustentabilidade

É comum encontrar na literatura inúmeras definições para “desenvolvimento sustentável”, havendo rumores que existam mais de duzentas definições para esse termo em circulação. Porém, o conceito mais utilizado para desenvolvimento sustentável foi concebido, em 1987, pela *World Commission on Environment and Development* e aceito, em 1992, pela *United Nations at the Earth Summit*, sendo o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987).

Na definição de Brundtland não foi incluído a distinção entre desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. Em linhas gerais, o desenvolvimento sustentável é o processo pelo qual, ao longo do tempo, as pessoas consigam alcançar a sustentabilidade. Já a sustentabilidade é a meta a ser alcançada, onde o meio apresente condições para sustentar a vida na Terra. Assim, o desenvolvimento sustentável é um caminho para o progresso humano, no qual nossa espécie

opera seus próprios sistemas combinando com os do mundo natural, em vez de os comprometer no presente (PARKIN, 2000).

O desenvolvimento sustentável pode também ser conceituado contendo três dimensões: ambiental, econômica e social. Essas dimensões são muitas vezes simbolizadas como círculos sobrepostos e caracterizadas pelos negócios em particular como “*Triple Bottom Line*”, (ELKINGTON; FENNEL, 1998). Assim, o desenvolvimento sustentável deve alcançar um equilíbrio entre os objetivos econômicos, sociais e ambientais (JASIULEWICZ-KACZMAREK *et al.*, 2013).

Na produção, a sustentabilidade é incorporada nos sistemas produtivos por meio das questões ambientais, sociais e econômicas durante todas as fases do ciclo de vida do produto, desde a concepção inicial, até a entrega do produto final para os clientes (NEUGEBAUER; WERTHEIM; HARZBECKER, 2011).

## 2.2. Manutenção

A manutenção tem sido definida como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e gerenciais durante o ciclo de vida de um produto, como forma de manter os equipamentos, instalações e outros ativos físicos em condição de desempenhar a função requerida ou restaurá-lo para desempenhar a função requerida (DHILLON, 2002; NARAYAN, 2012).

Segundo Lind e Nenonen (2008), a manutenção não inclui apenas tarefas puramente técnicas, como desmontagem e substituição de peças de reposição, lubrificação e reparação. Na prática, o conceito é mais amplo e envolve o planejamento e organização dos trabalhos, bem como os recursos necessários para completar todos esses trabalhos, que vão desde a escolha das ferramentas adequadas para as atividades de manutenção, até o gerenciamento do transporte de peças de reposição, preparação de medidas de segurança e controle dos operários. Assim, a manutenção é uma mistura de gerenciamento, operações, tecnologia e estratégias de negócios (PINTELON; PARODI-HERZ, 2008).

A presença de falhas em equipamentos presentes em um sistema de produção pode causar efeitos catastróficos em todo o sistema, refletindo em custos de reparo mais altos e menor qualidade do produto final, além de ocasionar a parada da linha de produção. Os custos de manutenção constituem 15-60% do custo total de produção com base no tipo de indústria (MOBLEY, 2002).

O planejamento da manutenção pode prolongar a vida útil da máquina, evitar avarias dispendiosas, diminuir as despesas operacionais e aumentar a lucratividade (SHARMA; KUMAR; KUMAR, 2005).

## 2.3. Estratégia de manutenção

A estratégia de manutenção pode ser definida como uma abordagem sistemática para manter as instalações e equipamentos, variando de uma instalação para outra. A estratégia de manutenção envolve: a identificação, investigação e execução de reparações; substituição e inspeção; e se preocupa com a formulação do melhor projeto de vida para cada unidade fabril, em coordenação com a produção e outras funções envolvidas (SHERWIN, 2000; PINTELON; PARODI-HERZ, 2008). A estratégia de manutenção descreve quais eventos (por exemplo, falha, passagem de tempo, condição) acionam o tipo de ação de manutenção (inspeção, reparo ou substituição). Para Marquez e Gupta (2006), a estratégia de manutenção são os métodos utilizados para transformar objetivos de negócios em objetivos de manutenção.

Dentre as várias estratégias de manutenção presentes na literatura, as estratégias mais adotadas são:

- A manutenção baseada em falhas, ou manutenção corretiva (CM) é a estratégia de manutenção utilizada quando ocorre uma falha aleatória de um componente, e o custo depende do número de componentes substituídos durante todo o período de operação do sistema e das ações de manutenção. Normalmente, essa estratégia é implementada em empresas com grandes lucros marginais (CHITRA, 2003; WANG; CHU; WU, 2007);
- Manutenção preventiva (PM) é a manutenção planejada que têm como objetivo melhorar a vida útil dos equipamentos, prevenindo-os do excesso de depreciação e debilitação. Esse tipo de manutenção inclui, mas não se limita, as atividades de ajustes, limpeza, lubrificação, reparos, substituições e extensão da vida útil do equipamento (WIREMAN, 1990). A manutenção preventiva utiliza a inspeção periódica em tempos específicos (idade ou tempo de calendário), independentemente da condição da máquina. Intervalo de inspeção inadequado e a imprevisibilidade de manutenção podem expor custos desnecessários ao sistema (AL-NAJJAR; ALSYOUF, 2003).
- Hoje em dia, muitas organizações estão adotando a manutenção baseada em condição (CBM), também denominada manutenção preditiva (PdM). A estratégia CBM utiliza dados coletados - por meio do monitoramento de vibração, análise de lubrificação, testes ultrassônicos, entre outros - para analisar as condições dos elementos que constituem o(s) equipamento(s). Se o valor monitorado exceder o nível normal, o componente é reparado ou substituído. Normalmente, os custos de implementação desse tipo de manutenção são altos, por necessitar de mão-de-obra especializada e uso de equipamentos específicos de medição. Porém, com a correta aplicação e gerenciamento, a CBM pode levar a reduções consideráveis no custo de produção e investimento de capital, com aumento da taxa de qualidade, lucros e participação de mercado (GRALL *et al.*, 2002; AL-NAJJAR; ALSYOUF, 2003; SHARMA; KUMAR; KUMAR, 2005);
- O modelo de gestão japonês que têm como foco principal a eficiência máxima do sistema produtivo é a manutenção produtiva total (TPM). A eficiência máxima do sistema produtivo é alcançada através da eliminação das falhas por quebras, melhoramento do sistema produtivo (por meio da redução do tempo de paradas do sistema e preparo das máquinas, buscando manter a velocidade do sistema constante), melhorando a qualidade dos produtos e serviços, além do constante aperfeiçoamento do conhecimento e habilidades dos empregados (WILLMOTT; MCCARTH, 2000);
- A manutenção centrada em confiabilidade (RCM) é um método lógico e sistemático utilizado para definir quais ações de manutenção devem ser realizadas nos equipamentos, a partir das consequências ambientais, de segurança e operacionais de cada falha identificada. Ou seja, é a estratégia de manutenção que determina o que deve ser feito para garantir que um equipamento continue cumprindo suas funções pretendidas no atual contexto operacional, mantendo o nível de confiabilidade da máquina ao invés de restaurá-la (MOUBRAY, 2000). O sucesso desta abordagem depende da disponibilidade de dados de falha, métodos de análise e experiência operacional para atingir seu objetivo (GANDHARE; AKARTE, 2012). Então, uma das dificuldades da implementação do RCM é a indisponibilidade de dados de falhas no sistema analisado (SHARMA; KUMAR; KUMAR, 2005).

### 3. Método de Pesquisa

Do ponto de vista de sua natureza, a pesquisa caracteriza-se como pesquisa básica, pois gera conhecimento novos, úteis para o avanço da ciência, sem aplicação prática prevista. Quando se diz respeito à forma de abordagem, a pesquisa é do tipo qualitativa por fundamentar-se

principalmente em análises de dados que não envolvem métodos quantitativos, sendo o ambiente natural a fonte direta para coleta de dados, e o pesquisador é o instrumento chave. Quanto aos objetivos propostos no trabalho, a pesquisa é classificada como exploratória, com pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Em relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é classificada como teórico-conceitual, baseada em uma revisão bibliográfica (MENEZES; SILVA, 2001). Segundo Cook *et al.* (1997), a revisão bibliográfica é a forma simples e concisa de descrever o tema estudado por meio de informações encontradas na literatura.

O método de pesquisa iniciou-se com a definição da problemática de pesquisa e, a partir dela, foi estabelecido o objetivo do trabalho. Como forma de obter dados para cumprimento do objetivo estabelecido, foi feita uma coleta de dados a partir de fontes científicas (artigos, teses, dissertações) e em fontes de divulgação de ideias (revistas, sites, vídeos, entre outros meios). Na etapa seguinte, foram identificadas, selecionadas e analisadas as pesquisas científicas que apresentaram as estratégias de manutenção contemplando, no mínimo, um pilar da sustentabilidade. Em seguida, são apresentados e discutidos os resultados encontrados. Por fim, são feitas as considerações finais. O fluxograma da Figura 1 mostra as etapas do método de pesquisa.

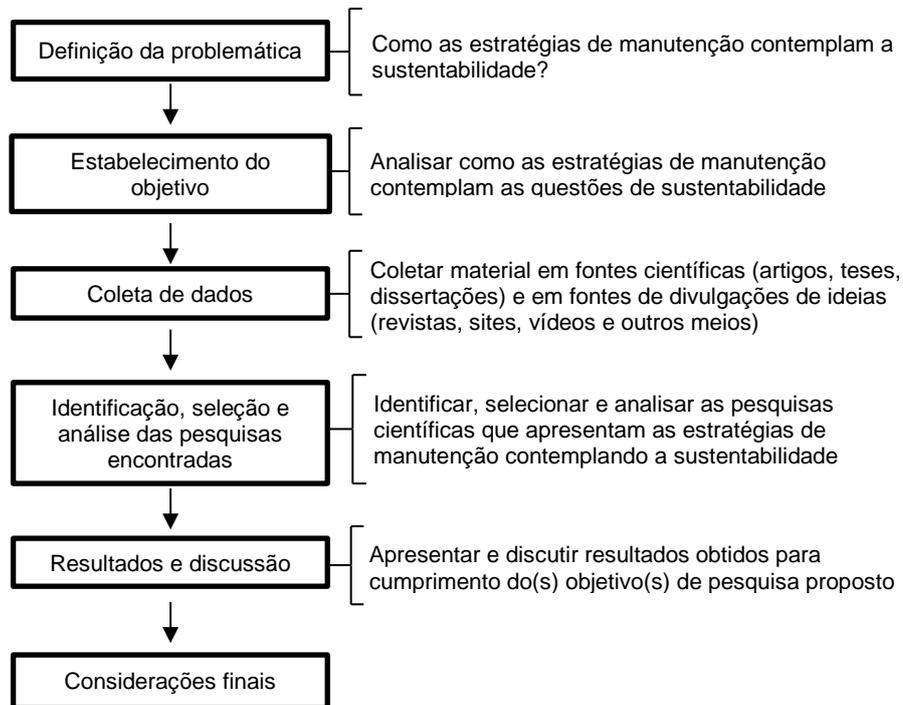


Figura 1 – Principais etapas do método de pesquisa

#### 4. Resultados e Discussões

Nessa seção, estão presentes os resultados e discussões do envolvimento da sustentabilidade com as estratégias de manutenção.

Um importante trabalho que estuda a sustentabilidade junto às estratégias de manutenção é o estudo de Nezami e Yildiram (2013), onde os pesquisadores procuraram analisar quais são os principais critérios de sustentabilidade considerados durante o processo de seleção de estratégias de manutenção em uma empresa fabricante de automóveis. Por meio de uma profunda revisão da literatura, identificaram 32 subcritérios econômicos considerados em manutenção (ex. custos de *hardware* e *software*, disponibilidade de máquinas e peças de reposição, custos de reparação, tempo espera das reparações, viabilidade técnica), 10

subcritérios sociais (ex. participação de stakeholders, saúde, segurança, treinamento da equipe, salários, regulamentação) e 10 subcritérios ambientais (ex. consumo de energia, planejamento ambiental, consumo de matéria-prima, emissões de substâncias tóxicas, avaliação dos recursos). Recentemente, alguns desses subcritérios, como o custo de reparação, consumo de energia, emissões de gases, eliminação de resíduos tóxicos, saúde e segurança de trabalho foram constatados, por meio de um processo de redes analíticas, como os principais indicadores para a avaliação da manutenção sustentável em uma indústria de cimento (AMRINA; ARIDHARMA, 2016).

Por meio de uma análise fatorial, Nezami e Yildirim (2013) reduziram esses subcritérios para 12 fatores, conforme a Tabela 1. Esses fatores foram analisados durante os processos de tomadas de decisões para seleção das estratégias de manutenção, considerando três cargos de gerenciamento na empresa estudada (chefe executivo, gerente de manutenção e gerente de produção). Com a aplicação do método *fuzzy*, os pesquisadores constataram:

- Para a seleção da manutenção preventiva, em relação ao pilar econômico, são considerados a viabilidade tecnológica e confiabilidade do sistema e satisfação da demanda, com pouca atenção à inovação e eficiência do tempo de reparo. Quanto ao pilar ambiental, o controle das emissões de resíduos e gerenciamento ambiental são considerados, não havendo importância quanto ao controle de consumo de energia. Já para o pilar social, a segurança e competência da equipe são os fatores mais considerados na seleção;
- Quanto à seleção da manutenção corretiva, percebeu-se que: não há importância para a inovação e satisfação da demanda no pilar econômico; não houve nenhuma importância para os fatores ambientais; e foi considerado apenas a satisfação dos *stakeholders* no pilar social;
- Para a manutenção preditiva ou CBM, viabilidade tecnológica e confiabilidade do sistema, inovação, controle de custos de implementação e eficiência do tempo de reparo são considerados no pilar econômico. Há apenas atenção para o controle de consumo de energia e competência da equipe de manutenção no pilar ambiental e social, respectivamente;
- No processo de seleção da estratégia de TPM, foram considerados todos os fatores sustentáveis levantados pelos pesquisadores. Houve uma ênfase para inovação e eficiência do tempo de reparo no pilar econômico, controle de emissões de resíduos para o pilar ambiental e ênfase em segurança para o pilar social;
- Para a estratégia RCM, praticamente todos os fatores econômicos foram considerados durante o seu processo de seleção, com exceção do controle de custos de implementação. Para o pilar ambiental, o controle de emissões de resíduos foi o fator mais considerado. E, para o pilar social, houve maior atenção para a satisfação dos *stakeholders*.

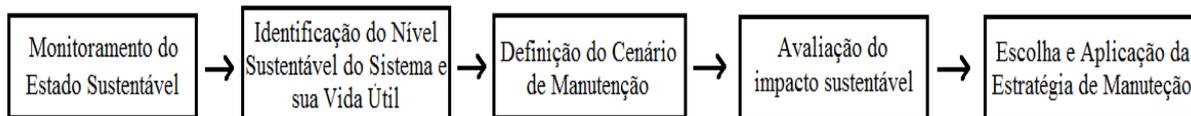
<b>Pilares da sustentabilidade</b>	<b>Fatores</b>
Econômico	a) Viabilidade tecnológica e confiabilidade do sistema; b) Inovação; c) Controle dos custos de implementação; d) Satisfação da demanda; e) Eficiência do tempo de reparo; f) Compatibilidade sistemática.
Ambiental	a) Controle de emissões de resíduos; b) Gestão ambiental; c) Controle de consumo de energia.
Social	a) Satisfação dos <i>stakeholders</i> ; b) Segurança; c) Competência da equipe de manutenção.

Fonte: adaptado de Nezami e Yildirim (2013)

Tabela 1 – Fatores de sustentabilidade para seleção das estratégias de manutenção

Enquanto o estudo de Nezami e Yildirim (2013) identificou a não consideração do controle de consumo de energia durante a seleção da manutenção preventiva por parte dos entrevistados, Yan e Dingguo (2010) estudaram o efeito do consumo de energia em máquinas-ferramenta após a manutenção preventiva, e a emissão de carbono ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) ao meio ambiente por meio da conversão do consumo de energia desenvolvida pelo *Climate Registry*. Por meio de um conjunto de dados históricos do consumo de energia de máquinas-ferramenta, coletados durante os seus ciclos de vida, apresentando intervenção da manutenção preventiva em períodos pré-determinados, os autores simularam esses dados e constataram: a confiabilidade da máquina-ferramenta diminui conforme há um aumento na corrente elétrica (após 800 horas de funcionamento, a corrente elétrica utilizada sobe de 10 para 25 Amperes e a confiabilidade desce de 1.0 para 0); o aumento do consumo de eletricidade é proporcional à quantidade de emissão de carbono por hora (após 800 horas de funcionamento, o consumo de eletricidade sobe de 5 para 12 kWh e o consumo de carbono de 4 para 12  $\text{kgCO}_2/\text{h}$ ); após a realização da manutenção preventiva nas máquinas-ferramentas, o consumo de energia e emissão de carbono cai drasticamente (a emissão de carbono passa de 10 para 6  $\text{kgCO}_2/\text{h}$  durante o período de 800 a 950 horas após o uso da manutenção preventiva).

No estudo de Sénéchal (2017), há uma proposição de integrar a sustentabilidade junto à estratégia de manutenção baseada em condição, integração essa denominada de “manutenção baseada em condição sustentável” (SCBM). A SCBM é realizada por meio de cinco etapas: monitoramento do estado sustentável do sistema (uso da termografia, análise de vibrações, espectrometria, radiografia, entre outras ferramentas de monitoramento sob a óptica sustentável); identificação do nível sustentável do sistema e sua vida útil; definição do cenário de manutenção; avaliação do impacto sustentável (com adoção de KPI's e quadros de métricas); e escolha e aplicação da estratégia de manutenção adequada ao sistema analisado, avaliação do impacto sustentável de sua aplicação. A Figura 2 mostra as etapas para realização do SCBM.



Fonte: adaptado de Sénéchal (2017)

Figura 2 – Etapas para aplicação da manutenção baseada em condição sustentável

Voltando novamente aos resultados do estudo de Nezami e Yildirim (2013), foi constatado que a TPM é a estratégia de manutenção que mais considera os fatores sustentáveis em sua aplicação. Essa informação pode ser constatada em outros estudos, como na pesquisa de Jasiulewicz-Kaczmarek (2014a), que integrou a concepção de manutenção enxuta (foco em redução de custos e eliminação de desperdícios) e manutenção verde (foco em redução de custos ligados ao uso de recursos e energia, menor desperdício e impacto ao meio ambiente) junto à estratégia TPM, resultando em um quadro do impacto dessa integração nos três pilares da sustentabilidade, conforme a Tabela 2.

Além da TPM, também foi constatado no estudo de Nezami e Yildirim (2013) que a estratégia da RCM considera bastante as questões sustentáveis durante a sua implantação. A importância de considerar os impactos econômicos, ambientais e à saúde humana causados pelas falhas durante o processo de implantação da RCM é bem notória no estudo de Jasiulewicz-Kaczmarek *et al.* (2014b).

	Econômico	Social	Ambiental
Impacto da TPM	Redução do material, de peças	Maior planejamento dos eventos, maior tempo de gerenciamento, maior compreensão da tecnologia	Controle mais próximo do equipamento, menor erro humano
Impacto do pensamento <i>lean</i>	Redução do inventário	Menor movimento, menor desordem, condições anormais tornam mais visíveis, maior valor ao cliente	Evitar o excesso de produção
Impacto do pensamento <i>green</i>	Diminuição das taxas ambientais	Reduzir os riscos para a saúde dos trabalhadores, aumentar a consciência dos trabalhadores	Redução dos riscos para o ambiente, redução do uso de recursos não renováveis, uso da gestão do ciclo de vida do produto

Fonte: adaptado de Jasiulewicz-Kaczmarek (2014a)

Tabela 2 – Impacto da TPM, pensamento *lean* e *green* na sustentabilidade

## 5. Considerações finais

A manutenção foi reconhecida, por muito tempo, como uma atividade responsável pela otimização da disponibilidade dos equipamentos ao menor custo possível. Porém, em uma perspectiva estratégica, a manutenção não se concentra apenas em reduzir os custos e aumentar a produtividade do sistema de produção, mas tem como responsabilidade reduzir os impactos ambientais e ajudar no bem-estar social.

O objetivo desse artigo foi analisar como as estratégias de manutenção contemplam as questões relacionadas com a sustentabilidade. No processo de seleção, foram considerados os estudos que apresentaram as estratégias de manutenção (manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção baseada em condição, manutenção produtiva total e manutenção centrada em confiabilidade) contemplando, no mínimo, um pilar da sustentabilidade.

Constatou-se que existem poucas pesquisas científicas que contém estratégias de manutenção contemplando os três pilares da sustentabilidade, havendo maior ênfase para a dimensão econômica e ambiental. Além disso, a maior parte das pesquisas encontradas são estudos de casos contendo resultados baseados em entrevistas com especialistas em manutenção e em produção atuando em setores específicos, como o setor automotivo e construção civil. Assim, foram encontradas semelhanças e contradições ao analisar os seus resultados.

Em relação às estratégias de manutenção, percebe-se que a manutenção produtiva total é a estratégia que apresentou maior ligação às questões sustentáveis em sua aplicação, seguido pelas estratégias RCM e CBM.

## Referências

- AL-NAJJAR, B.; ALSYOUF, I. *Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making*. International journal of production economics, v. 84, n. 1, p. 85-100, 2003.
- AMRINA, E.; ARIDHARMA, D. *Sustainable maintenance performance evaluation model for cement industry*. IEEM, 2016.
- BRUNDTLAND, G. H. *Our common future - Call for action*. Environmental Conservation, v. 14, n. 04, p. 291-294, 1987.
- CHITRA, T. *Life based maintenance policy for minimum cost*. Reliability and Maintainability Symposium.

IEEE, p. 470-474. 2003.

**COOK, D J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R.B.** *Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. Annals of internal medicine*, v. 126, n. 5, p. 376-380, 1997.

**COSTA, L. G.; EZEQUIEL, T.** *Alcance da Sustentabilidade Ambiental através da Manutenção Produtiva Total*, 2011. Disponível em: <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Alcance-Sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2017.

**DHILLON, B. S.** *Engineering maintenance: a modern approach*. CRC press. 2002.

**ELKINGTON, J.; FENNELL, S.** *Partners for sustainability. Greener Management International*, 48-48. 1998.

**GANDHARE, B. S.; AKARTE, M.** *Maintenance strategy selection*. Proc. of Ninth AIMS Int. Conf. on Management. p. 1330-1336. 2012.

**GRALL, A.; DIEULLE, L.; BÉRENGUER, C.; ROUSSIGNOL, M.** *Continuous-time predictive-maintenance scheduling for a deteriorating system*. IEEE transactions on reliability, v. 51, n. 2, p. 141-150, 2002.

**JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.; BAPTISTA, J. S.; BARROSO, M.; CARNEIRO, P.; LAMB, P.; COSTA, N.; PERESTRELO, G.** *The role of ergonomics in implementation of the social aspect of sustainability, illustrated with the example of maintenance*. Occupational Safety and Hygiene, p. 47-52. 2013.

**JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.** *Integrating Lean and Green Paradigms in Maintenance Management*. IFAC Proceedings Volumes, v. 47, n. 3, p. 4471-4476, 2014a.

**JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.** *Practical aspects of the application of RCM to select optimal maintenance policy of the production line*. In: Safety and Reliability: Methodology and Applications- Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL. p. 1187-1195. 2014b.

**LIND, S.; NENONEN, S.** *Occupational risks in industrial maintenance*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 14, n. 2, p. 194-204, 2008.

**MARQUEZ, A. C.; GUPTA, J.** *Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars*. Omega, v. 34, n. 3, p. 313-326, 2006.

**MENEZES, E. M.; SILVA, E. L. D.** *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. Florianópolis: Laboratório de ensino a distância da UFSC, 2001.

**MOBLEY, R. K.** *An introduction to predictive maintenance*. Butterworth-Heinemann, 2002.

**MOUBRAY, J.** *The case against streamlined RCM*. Aladon, UK, 2000.

**MUCHIRI, P., PINTELON, L., GELDERS, L., MARTIN, H.** *Development of maintenance function performance measurement framework and indicators*. International Journal of Production Economics, v. 131, n. 1, p. 295-302, 2011.

**NAMBIAR, A. N.** *Challenges in sustainable manufacturing*. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Dhaka, Bangladesh, p. 1-6. 2010.

**NARAYAN, V.** *Business performance and maintenance: how are safety, quality, reliability, productivity and maintenance related?* Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 18, n. 2, p. 183-195, 2012.

**NEUGEBAUER, R.; WERTHEIM, R.; HARZBECKER, C.** *Energy and resources efficiency in the metal cutting industry*. Advances in Sustainable Manufacturing. Springer Berlin Heidelberg, p. 249-259. 2011.

**NEZAMI, F. G.; YILDIRIM, M. B.** *A sustainability approach for selecting maintenance strategy*. International Journal of Sustainable Engineering, v. 6, n. 4, p. 332-343, 2013.

**PARKIN, S.** *Sustainable development: the concept and the practical challenge*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering. Thomas Telford Ltd, p. 3-8, 2000.

**PINTELON, L.; PARODI-HERZ, A.** *Maintenance: an evolutionary perspective*. Complex system maintenance handbook, p. 21-48, 2008.

**SARI, E.; SHAHAROUN, A.M.; MA'ARAM, A.; MOHD YAZID, A.** *Sustainable maintenance performance measures: a pilot survey in Malaysian automotive companies*. Procedia CIRP. 2015.

**SÉNÉCHAL, O.** *Research directions for integrating the triple bottom line in maintenance dashboards*. Journal of Cleaner Production, v. 142, p. 331-342, 2017.

**SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P.** *FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model.* Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.11, n.4, p. 359-374, 2005.

**SHERWIN, D.** *A review of overall models for maintenance management.* Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 6, n. 3, p. 138-164, 2000.

**TAKATA, S.; KIMURA, F.; VAN HOUTEN, F.J.A.M.; WESTKAMPER, E.; SHPITALNI, M.; CEGLAREK, D.; LEE, J.** *Maintenance: changing role in life cycle management.* CIRP, v. 53, n. 2, p. 643-655, 2004.

**VELMURUGAN, R. S.; DHINGRA, T.** *Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework.* International Journal of Operations & P. M., v. 35, n. 12, p. 1622-1661, 2015.

**WANG, L.; CHU, J.; WU, J.** *Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process.* International journal of production economics, v. 107, n. 1, p. 151-163, 2007.

**WILLMOTT, P.; MCCARTHY, De.** *TPM-A Route to World Class Performance: A Route to World Class Performance.* Newnes, 2000.

**WIREMAN, T.** *World class maintenance management.* Industrial Pr, 1990.

**YAN, J.; DINGGUO, H.** *Energy Consumption Modelling for Machine Tools After Preventive Maintenance.* IEEE, p. 2201– 2205, 2010.