

ESTUDO DE CASO REFERENTE AO CUSTO ATRELADO A MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS QUE INTEGRA UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Ana Carolina Alves da Paz¹

Lucas Lima Queiroz¹

Annete Silva Faesarella²

acarolinadapaz@gmail.com | lucas.lima@mail.usf.edu.br

¹Alunos do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco; Campus Itatiba

²Professora Orientadora, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco; Campus Itatiba.

Resumo. Apresenta-se um estudo comparativo entre as condições de realização da manutenção em ativos presentes nas indústrias brasileiras, discute-se a relação de custo-benefício e desempenho de equipamentos em relação a escolha entre as opções de reparo, substituição e realização de manutenção preventiva. O estudo é embasado em dados fornecidos pela empresa Siemens Infraestrutura e Indústria Ltda, em que é detalhado o volume de equipamentos recebidos com a finalidade de se realizar um possível reparo. A partir deste estudo, são analisados os benefícios da realização da manutenção preventiva para uma empresa, em relação à economia, segurança, aumento da vida útil dos equipamentos, *performance* e confiabilidade.

Palavras-chave: manutenção preventiva, processos, confiabilidade de máquina.

Introdução

A manutenção preventiva é formada por ações combinadas que visam manter o melhor desempenho de um equipamento em seu período de utilização. Dentro das indústrias essa necessidade está presente em diferentes áreas e segmentos, na qual, mediante uma aplicação efetiva impede problemas relacionados às paradas indesejadas, mitigando assim, os gastos destinados à manutenção corretiva ou até mesmo a troca precoce do equipamento.

Com o progresso da globalização econômica, a manutenção preventiva está associada não somente à confiabilidade de produção e *performance*, como também aos custos atrelados a esse tipo de serviço. Desta forma, mesmo existindo uma demanda é necessário efetuar uma análise referente ao custo, e a partir daí é determinado se será realizado ou não a manutenção preventiva.

Cada indústria possui suas particularidades, contudo, os equipamentos utilizados e a necessidade de manutenção das máquinas se repetem, diante disso, foram contemplados nesta análise equipamentos recebidos pelo Centro de Reparo da Siemens Infraestrutura e Indústria Ltda com a finalidade de serem reparados, sendo eles motores elétricos trifásicos, servomotores, inversores de frequência de baixa tensão e controladores lógicos programados.

De acordo com os dados recebidos, o volume anual de equipamentos enviados com a finalidade de serem reparados é equivalente a 1700 equipamentos, e com base nesse volume foi possível analisar que os clientes envolvidos não efetuam a manutenção de forma preventiva e só se dão conta da necessidade de ter o equipamento operando em sua integridade quando ele apresenta falha.

O objetivo deste trabalho de graduação é apresentar uma agregação de valor sobre a realização da manutenção preventiva periódica, evidenciando a mitigação dos problemas, o prolongamento do ciclo de vida e principalmente o custo-benefício em relação a manutenção

corretiva e a substituição do equipamento, mantendo a segurança para as pessoas, máquinas e entregando sempre uma alta *performance*.

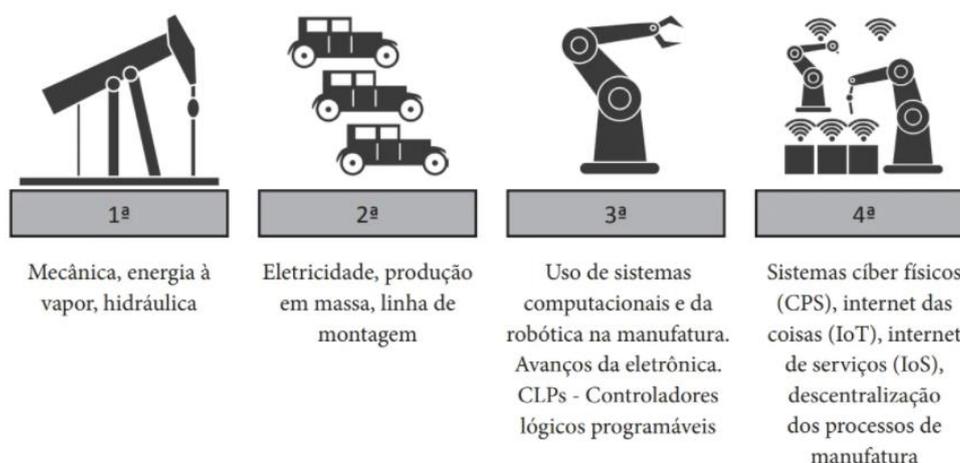
Complementando esta introdução este trabalho contém um embasamento teórico sobre a manutenção preventiva, os equipamentos considerados, o ciclo de vida dos equipamentos e os custos atrelados a este tipo de processo, em seguida encontra-se o método de análise utilizado e por fim os resultados comprovando os benefícios da manutenção preventiva.

Referencial Teórico

Manutenção Industrial

Conforme a evolução da indústria ilustrada na figura 1 foi acontecendo e a demanda por produção foi aumentando, a necessidade de se ter uma planta operando em sua totalidade se tornou fundamental para o processo, e com isso em meados do século XVI surge a manutenção industrial, que de acordo com Almeida (2015) é entendida como o conjunto de cuidados e procedimentos técnicos necessários para o reparo e bom funcionamento de máquinas e equipamentos.

Figura 1 – Fases da evolução industrial



Fonte: Sacomano, José, B. (2018, p. 28)

Assim como na evolução industrial, a manutenção pode ser dividida em quatro partes, na primeira realizava-se apenas serviços simples como limpeza, lubrificação e reparos mediante a quebra, na segunda já com o aumento da mecanização inicia-se o conceito de manutenção preventiva, na terceira origina-se a manutenção preditiva e pôr fim na quarta que é caracterizada pela minimização do uso de manutenções corretivas e preventivas, dando espaço para a análise de falhas.

De acordo com as exigências da indústria, a manutenção foi se adequando e melhorando, segundo Almeida (2015) para que cada necessidade industrial fosse atendida, foram criados cinco tipos de manutenção sendo elas:

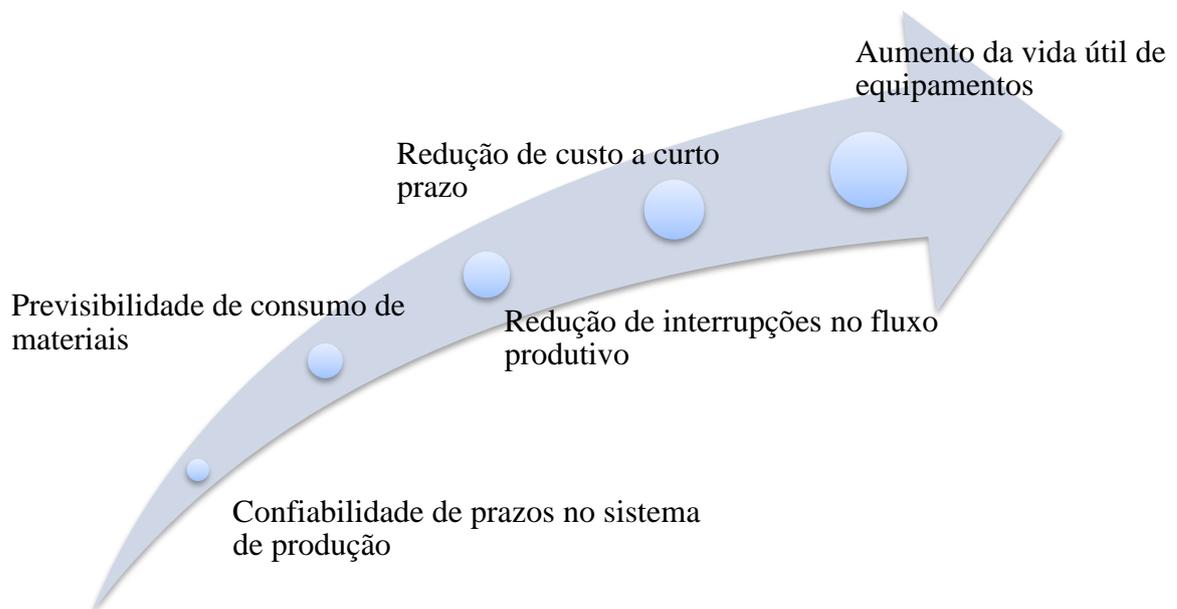
- Corretiva: definida como o conjunto de procedimentos que são realizados para o reparo de equipamentos imediatamente após a apresentação da falha e parada de produção.
- Preventiva: manutenção realizada em datas determinadas de modo a evitar falhas imprevistas, realizando a troca de peças antecipadamente.

- Preditiva: manutenção baseada em um conjunto de análises realizadas no equipamento, permitindo se saber a real condição do equipamento e acompanhar a evolução de um defeito, e planejar uma intervenção a curto prazo.
- Manutenção Produtiva Total: manutenção desenvolvida com a junção das manutenções preventivas e preditivas, com a adição de um programa de treinamento para os operadores de máquina, que auxiliam tanto no monitoramento quanto em operações de manutenção preventiva simples como troca de filtros.
- Manutenção Centrada na Confiabilidade: Baseia-se em um sistema que busca prevenir defeitos, de forma a eliminar suas causas. É muito utilizada em casos em que falhas ou defeitos podem causar tragédias e grandes prejuízos.

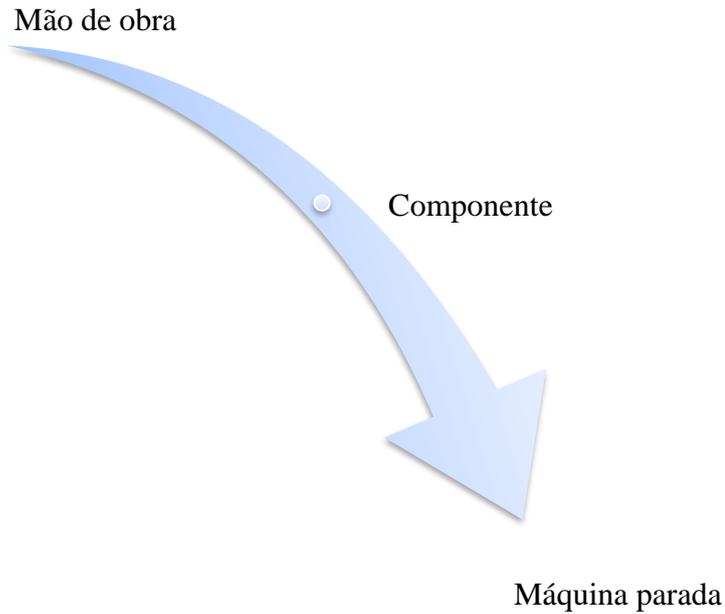
A Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é realizada em períodos determinados de acordo com a criticidade de cada equipamento, nesse caso, como o próprio nome sugere a manutenção é realizada de forma preventiva, isto é, antes que ocorra uma acusação da falha ou até mesmo a parada da máquina, tendo como sua finalidade sempre manter o equipamento em condições adequadas para operação mitigando assim as paradas não programadas.

O método para realização da manutenção preventiva ganhou forma a partir de estudos relacionados ao volume de atendimentos corretivos e segundo Seleme (2015 apud PARREIRA; SILVEIRA, 2018) e Almeida (2015) esse método possui diversas vantagens dentre elas estão:

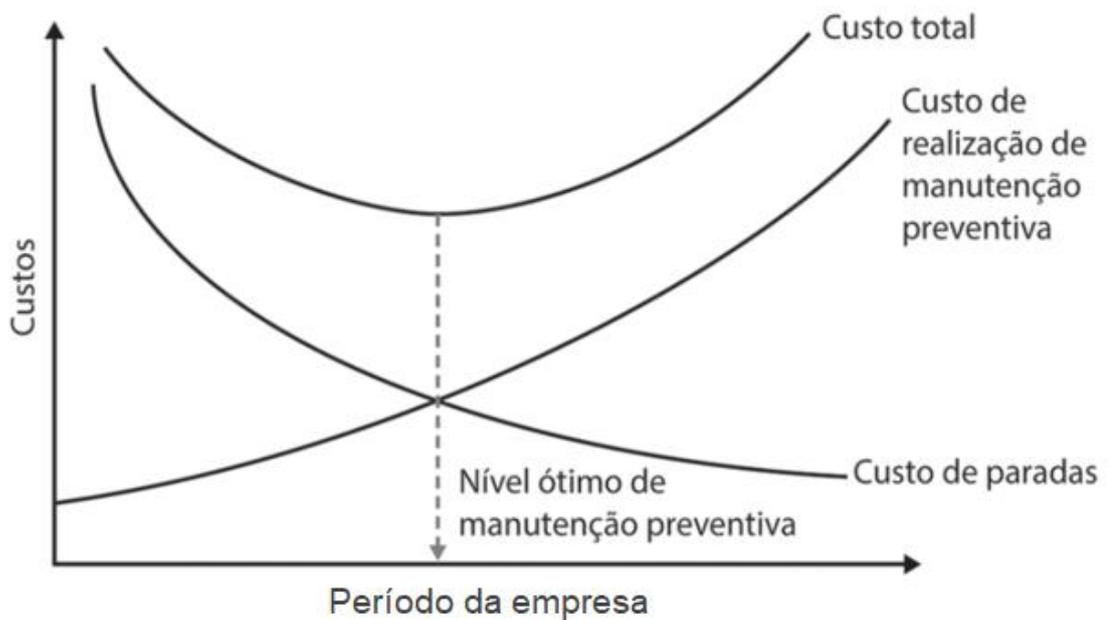


No entanto, para alguns casos em que existe um baixo custo-benefício a realização deste tipo de manutenção pode não ser recomendada, por isso, é importante antes da execução da manutenção preventiva realizar uma análise dos custos de:



Essa análise de custos é realizada conforme ilustrado na figura 2, onde observa-se que existe um ponto onde a curva de custo de paradas e a curva de custo para realização da preventiva se interceptam, indicando assim o melhor momento para a realização da manutenção preventiva, pois esse é o momento em que o processo apresentará o menor custo total para a empresa.

Figura 2 - Custos associados à manutenção preventiva



Fonte: Seleme (2015, p. 43 apud PARREIRA; SILVEIRA, 2018, p. 36).

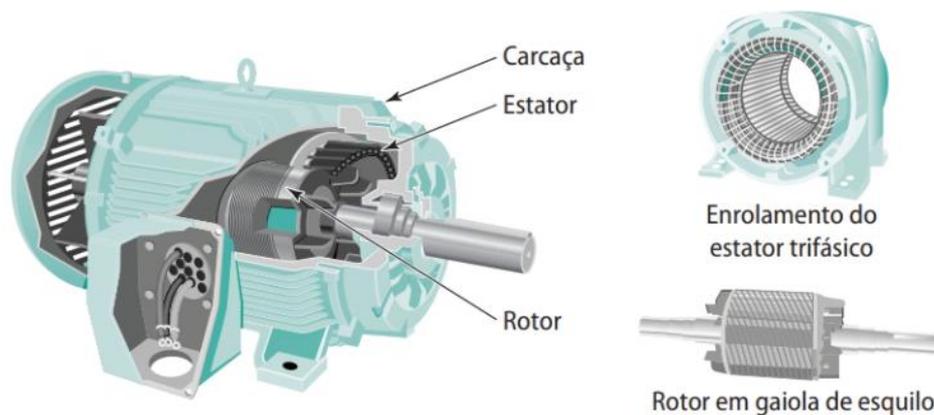
Confiabilidade

Com a chegada da economia globalizada nas indústrias além do aumento da produtividade e do bom desempenho, o custo e a redução de falhas também se tornaram fatores importantes para o processo. Desta forma, um equipamento é fabricado para funcionar por uma quantidade definida de horas e sua confiabilidade está relacionada a esta entrega fiel, sem quebras e sem a presença de falhas.

Motores Trifásicos

O motor trifásico assíncrono está presente em grande parte das indústrias, suas principais vantagens estão em sua robustez e baixa complexidade para manutenção. Conforme ilustrado na figura 3 seu funcionamento pode ser explicado a partir de seus principais componentes, o estator e o rotor.

Figura 3 - Motor de indução trifásico gaiola de esquilo



Fonte: Frank (2013, p. 142).

No qual o estator é formado por três enrolamentos monofásicos defasados em 120° entre eles, ao alimentar cada enrolamento com uma fase da fonte de tensão trifásica é produzido um campo magnético girante no qual induz uma força eletromotriz no rotor, que está localizado no centro do estator, por indução o rotor acaba criando o seu próprio campo magnético fazendo com que o mesmo gire para se alinhar com o campo magnético no estator, nesse caso, a velocidade do campo magnético girante varia diretamente com a frequência da fonte de alimentação e inversamente com o número de pólos construídos no enrolamento do estator.

O rotor dos motores de indução trifásicos pode ter seu enrolamento bobinado ou gaiola de esquilo, na maioria das aplicações industriais e comerciais os motores do tipo gaiola de esquilo são mais utilizados. A confecção deste tipo de enrolamento é realizada curto circuitando um número determinado de barras individuais com anéis em suas extremidades, de forma a configurar uma roda como mostrado na figura 3.

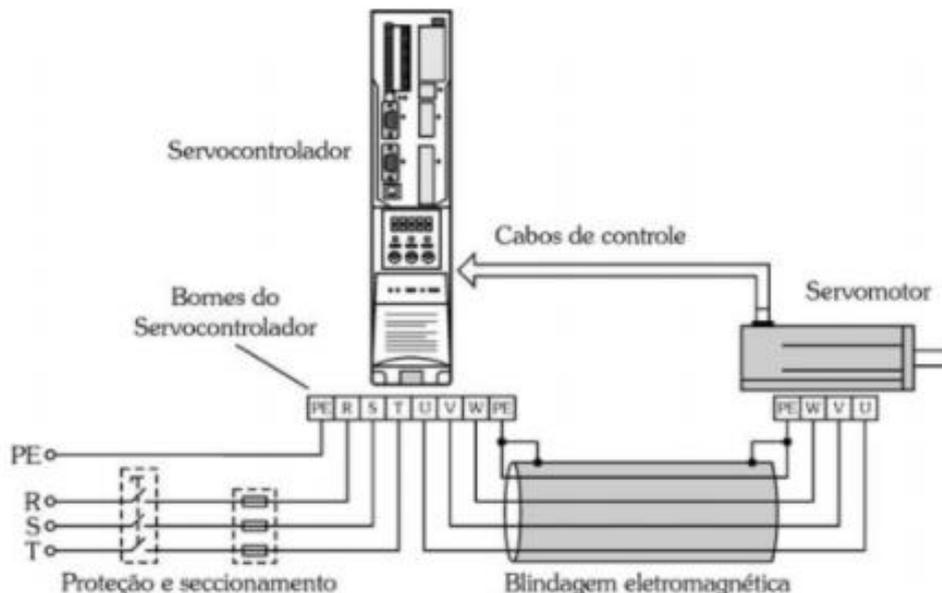
Servomotores

O servomotor é um equipamento eletromecânico que foi desenvolvido para atender necessidades específicas da indústria e é ideal para processos que necessitam de torque,

velocidade ou precisão, sua maior diferença comparado com os outros tipos de motores é que em sua estrutura ele possui *encoder* e um controlador.

Assim como no motor convencional o servomotor possui estator bobinado, porém, não pode ser ligado diretamente na rede, já o rotor é diferente pois é composto por ímãs permanentes e para o fornecimento dos dados contém um gerador de sinal. De acordo com a figura 4 o circuito do servomotor é dividido em duas partes, a primeira é a de potência e a segunda é a parte do controle.

Figura 4 - Circuito Básico do Servomotor



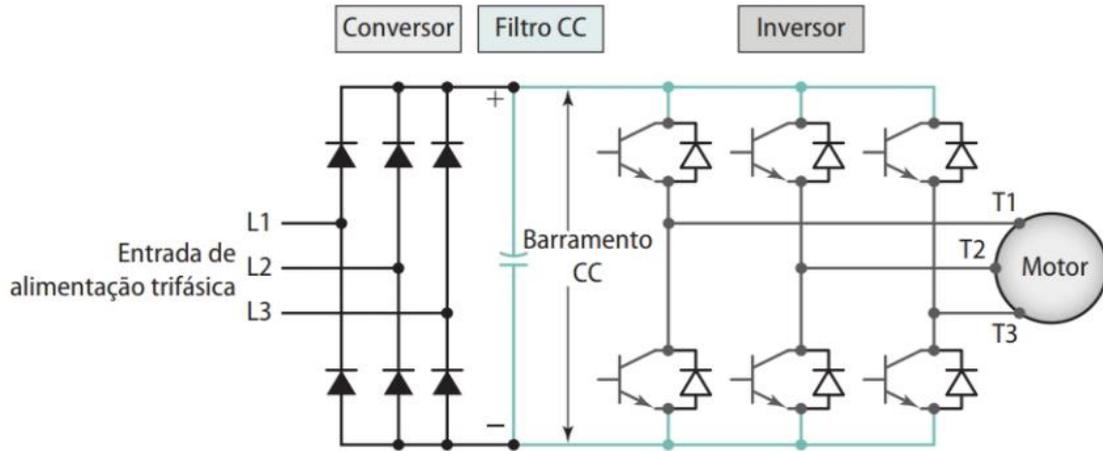
Fonte: Carvalho (2011, p. 230).

Inversores de frequência de baixa tensão

Um dos meios de realizar o acionamento de motores em corrente alternada é a utilização do inversor de frequência, o equipamento possibilita o controle de velocidade, torque, sentido de rotação, aceleração e desaceleração, além de garantir a eficiência dos motores de indução.

O funcionamento de um inversor de frequência pode ser explicado de acordo com suas três seções principais como mostrado na figura 5:

Figura 5 – Controlador de uma unidade de inversor de frequência



Fonte: Frank (2013, p. 155).

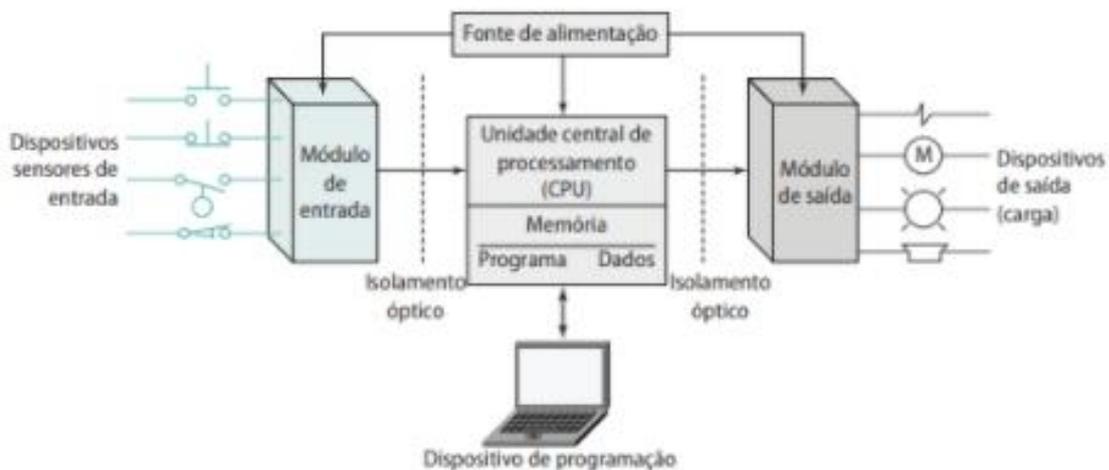
O conversor é a seção onde ocorre a retificação da onda convertendo a tensão alternada em contínua, o filtro CC suaviza esta tensão convertida a fim de fornecer uma tensão da forma mais contínua possível e por fim, o inversor é onde se realiza a comutação da tensão contínua de modo a simular uma tensão alternada, podendo assim controlar a frequência aplicada ao motor.

Controlador lógico programável

Os controladores são programados pelo homem e possui a finalidade de executar as funções de acionamento, atualmente é uma das tecnologias mais utilizadas na indústria.

A configuração do CLP é composta de acordo com a figura 6, contém fonte, CPU e módulos de entrada/saída.

Figura 6 - Sistema CLP

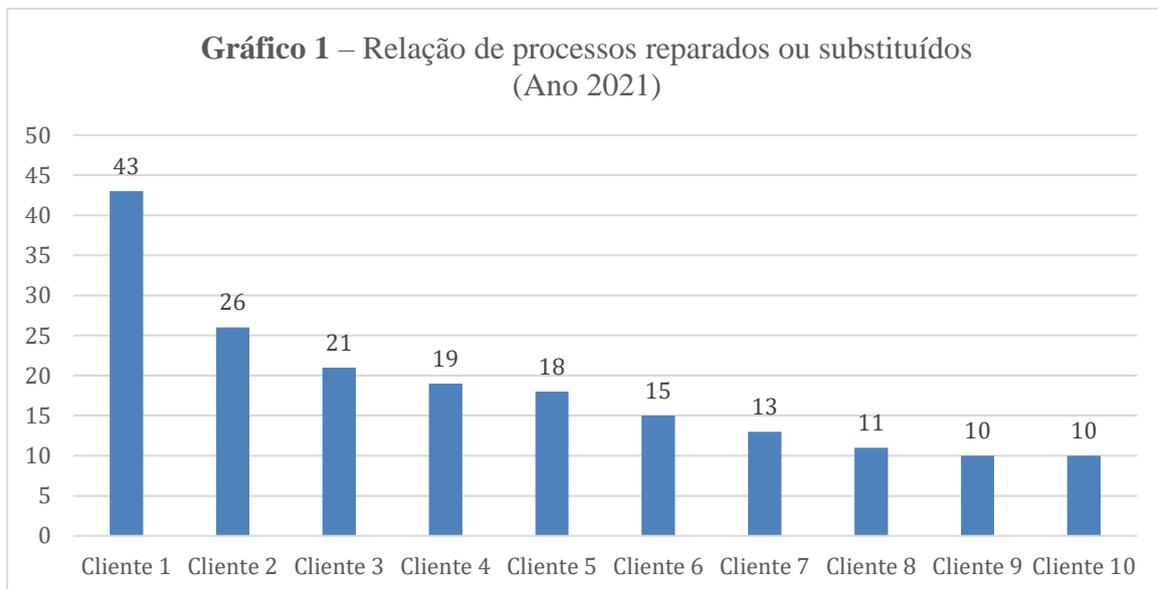


Fonte: Frank (2013, p. 337).

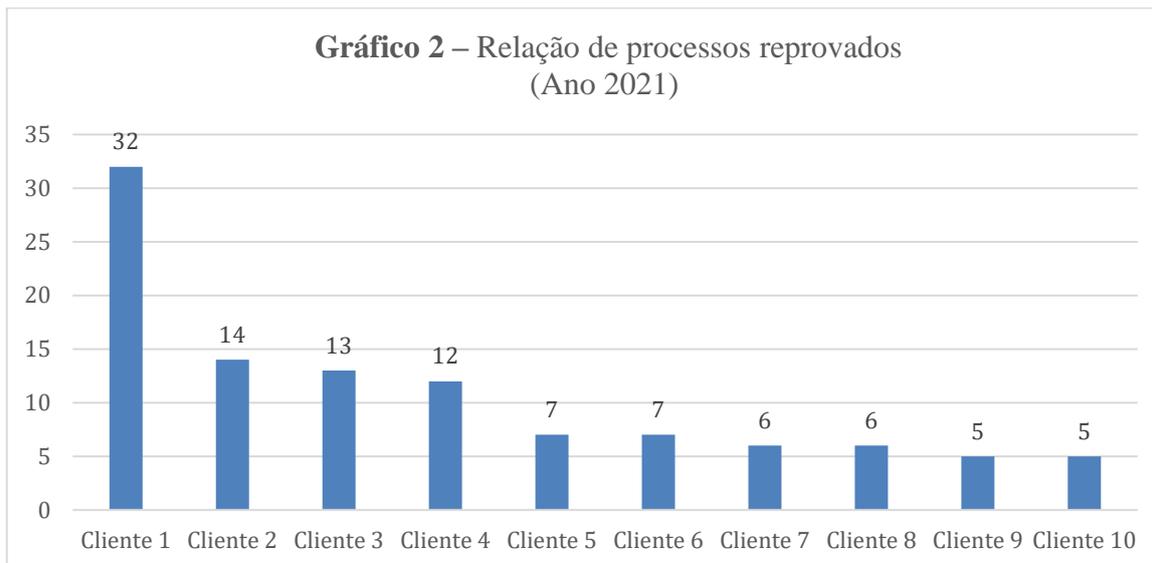
Para o sistema com controlador lógico programável a fonte de alimentação converte a tensão CA em CC, tensão essa exigida pelo processador e pelos módulos, essa fonte está disponível em diversas tensões de entrada e sua especificação é fundamentada no tipo da CPU dos módulos. A CPU e a memória compõem a inteligência de todo o sistema do CLP, é ela que reconhece o estado das entradas mediante a execução do programa e os sinais para atualização das saídas. Os módulos de entrada recebem os sinais de um dispositivo e convertem em sinais lógicos que são utilizados pela CPU, os módulos de saída controlam os equipamentos ao acionar os dispositivos de partida convertendo os sinais via CPU em valores digitais.

Metodologia

O presente estudo foi guiado com base no volume de equipamentos recebidos pelo Centro de Reparos da Siemens Infraestrutura e Indústria Ltda no período de um ano, no qual o gráfico 1 representa os 10 maiores clientes em relação aos processos reparados ou substituídos e o gráfico 2 apresenta os casos reprovados. Nesse caso, foram compiladas as informações referentes ao tipo do equipamento, tempo que ele está no mercado e principalmente o custo para cada tipo de serviço.



Fonte: Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA.



Fonte: Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA.

Com base no gráfico 2, referente ao volume de processos reprovados em 2021 e nos resultados da análise feita, a fim de mostrar valor agregado ao serviço em questão, e visando uma maior adesão para a realização dos serviços corretivos, preventivos ou até mesmo uma substituição com descarte de forma correta, para todos os casos em que não ocorreram a aprovação o cliente foi questionado e de acordo com a tabela 1 obteve-se o seguinte retorno:

Tabela 1 – Questionamento

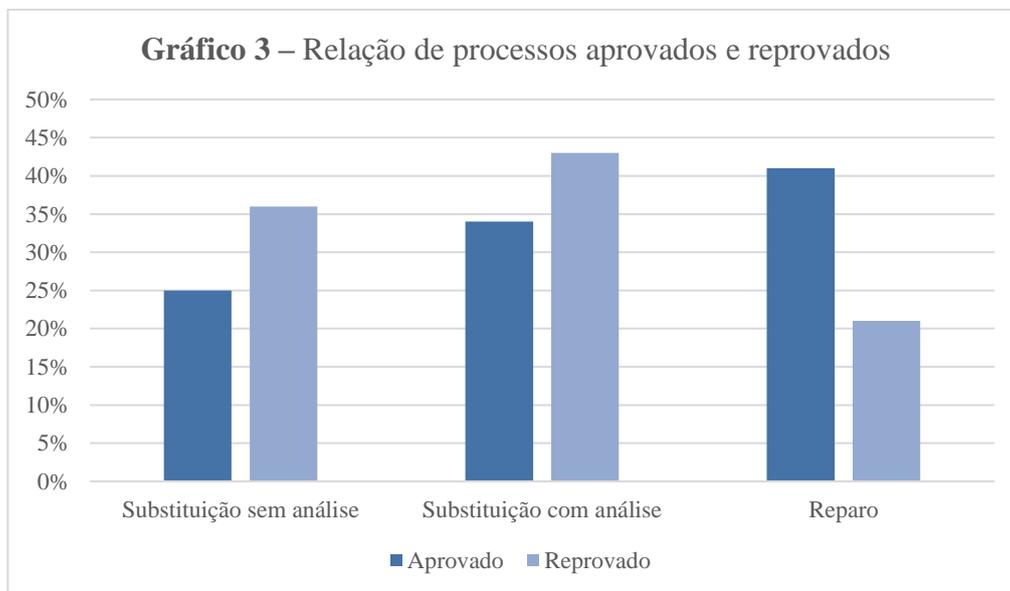
Cliente	Principal motivo	Efetuiu a compra de equipamentos novos?	Realiza manutenção preventiva de forma planejada?
Cliente 1	Custo	Sim	Não
Cliente 2	Custo	Sim	Não
Cliente 3	Custo	Sim	Não
Cliente 4	Custo	Sim	Não
Cliente 5	Custo	Não	Não
Cliente 6	Custo	Sim	Não
Cliente 7	Custo	N/A	Não
Cliente 8	Custo	Sim	Não
Cliente 9	Custo	Não	Não
Cliente 10	Custo	Não	Não

Fonte: Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA.

A partir dessas informações efetuou-se o levantamento de custos específicos para os serviços de manutenção, reparo e substituição dos equipamentos, para que então, tendo em mãos os números, seja comprovado a viabilidade de executar um plano de manutenção preventiva de forma eficaz e que possua valor agregado a curto, médio e a longo prazo.

Resultados obtidos

As amostras analisadas representam 30% do volume total de processos em cada situação, sendo separados em processos aprovados e reprovados, desta relação 67% representam equipamentos com vida útil inferior a 10 anos. De acordo com o gráfico 3 obteve-se a classificação dos processos em três tipos:



Fonte: Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA.

A substituição de um equipamento sem análise significa que o valor total do equipamento é inferior ao custo referente às horas gastas para se realizar uma análise, inviabilizando assim a opção de conserto. Para os outros dois tipos de processos, se faz necessária uma análise detalhada para que se obtenha um diagnóstico correto, desta forma, o que levará a opção de se realizar um conserto ou uma substituição, será a condição em que se encontra o equipamento.

De acordo com o gráfico 3, a relação de processos classificados como substituição aprovadas atinge o valor de 59%, representando assim, uma quantidade superior em relação aos processos classificados como reparo. Esta diferença demonstra que a necessidade de cuidar dos equipamentos só é perceptível quando é apresentada uma falha, ocasionando uma parada indesejada.

Em relação aos 21% dos reparos que foram reprovados como mostra o gráfico 3, mesmo com um comparativo detalhado dos valores o processo não se alterou, e devido a necessidade de o equipamento estar funcionando após a conclusão do processo, o cliente optou pela compra de um novo, no entanto, em alguns casos a compra acaba se tornando inviável como pode ser observado na tabela 2. A tabela 2 a seguir demonstra a relação em porcentagem do valor de custo para a realização de um reparo em razão do custo total da substituição do equipamento.

Tabela 2 – Relação reparo *versus* substituição

Equipamento	Relação (%)
Equipamento 1	1
Equipamento 2	5
Equipamento 3, 4 e 5	7
Equipamento 6, 7 e 8	12
Equipamento 9	21
Equipamento 10	23
Equipamento 11	27
Equipamento 12 e 13	37
Equipamento 14	43
Equipamento 15	54
Equipamento 16	88

Fonte: Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA.

Já em relação aos 41% dos reparos aprovados demonstrados no gráfico 3, realizou-se uma classificação por segmento como descrito na tabela 3, obtendo-se os custos em horas para a realização da manutenção preventiva em relação aos custos para reparo dos equipamentos.

Como pode ser observado na tabela 3, a manutenção preventiva também se torna uma opção viável, visto que nesse caso é possível abranger a totalidade dos equipamentos desejados.

Tabela 3 – Relação de custos manutenção preventiva *versus* reparo

Segmentos	Relação (%)
Motores Trifásicos	50
Servomotores	50
Inversores	50
CLP	0

Fonte: Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA.

A opção por realizar uma manutenção preventiva é mais viável a longo prazo, pois, com a realização de atividades periódicas, a criticidade em solucionar um defeito em uma máquina parada é reduzida, sendo assim transformada em atividades simples, tais como a troca de componentes, limpeza, atualização, revisão e testes. Com a realização periódica destas atividades preventivas nas empresas obtém-se o prolongamento da vida útil dos equipamentos.

Conclusão

O trabalho aqui desenvolvido possui como objetivo a análise da relevância da realização da manutenção de forma preventiva, fundamentando-se especificamente em equipamentos industriais presentes em empresas que não dispõem dessa prática e como foi observado ao longo dos resultados, conclui-se que a proposta do estudo foi alcançada com eficiência. As empresas consideradas nos dados dos relatórios são de pequeno, médio e grande porte, e contêm um volume expressivo de produção que exige o funcionamento perfeito das máquinas em tempo integral.

A comprovação da necessidade de realizar uma manutenção preventiva foi firmada com base na demanda de equipamentos recebidos que possuem a finalidade de serem realizados serviços de forma corretiva após a apresentação de falha. Diante disso, por falta de planejamento e realização de serviços preventivos de forma periódica, o ciclo de vida dos equipamentos é afetado fazendo com que ele apresente falha em menos de 10 anos de uso, impactando principalmente o seu desempenho.

De acordo com o estado do equipamento foi possível classificá-los em dois tipos, os equipamentos que passaram por uma análise e foram diagnosticados, observando a possibilidade de reparo e os casos em que se tornou inviável gastar tempo para realizar uma análise. Para as opções nas quais não foi possível considerar um conserto é necessário efetuar a troca por um equipamento novo.

Cruzando as informações referentes ao segmento, tipo de serviço e o custo atrelado a cada opção, manter um equipamento funcionando em seu melhor estado, com vida útil prolongada e com número de paradas indesejadas tendendo a zero está atrelado a um planejamento de realização de serviços preventivos.

Após a análise observou-se que a relação entre efetuar um reparo ou a substituição está associada ao estado do equipamento, pois, dependendo do serviço a ser executado o custo pode ficar 100% em relação a um equipamento novo inviabilizando assim o conserto. Diferente da comparação entre a manutenção preventiva e o reparo que nesse caso representa 50% relação essa que permitiu concluir que a longo prazo, prevenir é a forma mais acessível de conservar um equipamento, pois, nesse caso o custo é diluído nos anos de forma planejada, diferente de um conserto corretivo que acontece de forma inesperada tendo que assumir o custo de forma imediata.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, P.S. D. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. 9788536519791. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519791/>. Acesso em: maio 2021

Carvalho, G. **Máquinas Elétricas - Teoria e Ensaio**. São Paulo: Editora Saraiva, 2011. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536505831/cfi/0!/4/4@0.00:57.5/>. Acesso em: junho 2021

Filho, G. F. **Motor de Indução**. São Paulo: Editora Saraiva, 2013. 9788536519999. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519999/>. Acesso em: maio 2021

FOGLIATO, Flavio. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 9788595154933. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154933/>. Acesso em: junho 2021.

FRANK, P. **Motores Elétricos e Acionamentos**. Porto Alegre: Grupo A, 2013. 9788580552584. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552584/>. Acesso em: maio 2021

PARREIRA, G.G.F.; DA., S.A.M. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. 9788595026971. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595026971/>. Acesso em: maio 2021

SACOMANO, José. B.; GONÇALVES, Rodrigo. F.; BONILLA, Sílvia. H. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. 9788521213710. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213710/>. Acesso em: agosto 2021.

Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA. **Relatório de processos geral**. Jundiaí – SP, 2021. Disponível em: Dados internos. Acesso em: outubro 2021

Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA. **Relatório de processos reprovados**. Jundiaí – SP, 2021. Disponível em: Dados internos. Acesso em: outubro 2021

Siemens Infraestrutura e Indústria LTDA. **Relatório de processos aprovados**. Jundiaí – SP, 2021. Disponível em: Dados internos. Acesso em: outubro 2021