

ENSAIO POR ULTRASSOM EM GARFOS DE EMPILHADEIRA¹

Acadêmico: Edson Cesar Silva²

Orientador: Prof. Daniel Fernando da Silva³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a aplicabilidade da técnica de ultrassom na manutenção preditiva em garfos de empilhadeira. Esta técnica é considerada entre outras, como não destrutiva pois não existe a necessidade de causar danos ao equipamento. Os ensaios não-destrutivos (END) vêm sendo cada vez mais empregados nas empresas. O experimento foi realizado em garfos de empilhadeiras, em delineamento inteiramente ao acaso, em uma empresa multinacional. Foram utilizados dois aparelhos de ultrassom, um que realiza leitura longitudinal e outro de leitura transversal. Os resultados obtidos foram tabulados em planilhas eletrônicas e apresentados em gráficos de linhas para o aparelho de leitura transversal e a análise da saída dos dados da tela LCD do longitudinal. Os resultados encontrados, nos dois aparelhos utilizados, foram similares ao que diz respeito a uma das empilhadeiras, devido a descontinuidade do sinal e perfil da profundidade que está abaixo do recomendado pelo fabricante, apontando assim, que a técnica de ultrassom apresenta uma boa aplicabilidade em manutenção preventiva.

Palavras-chave: Manutenção preditiva, Ondas Sônicas, Predição de danos.

ABSTRACT

TESTING BY ULTRASOUND IN FORKLIFT FORKS

The objective of this study was to analyze the applicability of the ultrasound technique in predictive maintenance for forklift forks. This technique is considered among others, such as non-destructive because there is no need to cause damage to the equipment. Non-destructive testing (NDT) has been increasingly used in business. The experiment were conducted in forklift forks under completely randomized design, in a multinational company. Form using two ultrasound apparatus, one that performs reading and another longitudinal cross-reading. The results were tabulated in spreadsheets and presented in graphic lines for cross reading device and the analysis of the output of the longitudinal LCD screen data. The results were similar to the concerns of the forklift which suggests that presents some defect due to signal discontinuity and profile depth that is below the recommended by the manufacturer.

Keywords. Predictive maintenance, Sonic waves, Prediction of damage

¹ Artigo apresentado à Faculdade de Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção, Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, 2015;

² Aluno de Graduação, Faculdade de Engenharia Produção, Universidade de Rio Verde, 2015. E-mail: edson.mpi@hotmail.com

³ Orientador, Professor Faculdade de Engenharia Produção, Universidade de Rio Verde, 2015. E-mail: danielprofessorengemec@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Em se tratando de manutenção predial, vivencia-se um aumento considerável da automação, das tecnologias de informações (T.I) e informatização dos meios de produção nos diferentes setores de produção sejam eles; nos setores primários, secundários ou terciários. Com o aumento da concorrência o desafio é otimizar os processos produtivos.

A busca de novas tecnologias que procurem inovações tecnológicas só é tendência nas organizações, visto a economicidade que esta pode oferecer. Técnicas, metodologias e novos paradigmas vêm sendo pesquisados e aplicados cada vez mais no intuito de maximizar e otimizar os meios de produção.

Diante de um cenário em que a tecnologia e informação tornam-se comum a todos, a manutenção preditiva e/ou preventiva vem sendo um diferencial para as organizações, no segundo setor em geral (industrialização), mostrando-se como um diferencial preponderante, sob a ótica da economicidade e maximização da utilização dos recursos físicos e materiais que estas fazem uso. Justifica-se esse trabalho na busca e análise de novas metodologias para maior eficácia no processo de produção.

As hipóteses inicialmente estabelecidas é que a técnica permite a detecção de falhas no equipamento de fábrica, torna-se uma ferramenta útil para a manutenção preditiva sem a necessidade de destruição do equipamento e agrega maior confiabilidade e vida útil para o manuseio dos garfos de empilhadeiras em relação a troca e danos.

A técnica de ultrassom é um método não destrutivo, ou seja, sem necessidade de causar danos, fissuras ou destruição de equipamentos que podem estar ainda em bom estado uso. A técnica utiliza-se de ondas não auditivas (nas faixas ultra e infra sonoras), analisando danos internos tanto operacionais quanto de fábrica.

Para tanto foi utilizada três empilhadeiras da fabricante Hyster utilizada numa empresa multinacional de grande porte, na qual foi utilizado o aparelho de ondas sonoras de 20 kHz geradas por um aparelho eletrônico. Os dados obtidos foram comparados com as normas do fabricante bem como com as normas técnica estabelecida pela NR-11 da Port. 3214/78 MTb.

O objetivo deste trabalho é analisar a aplicabilidade da técnica de ultrassom na manutenção preditiva em garfos de empilhadeira. Assim, buscou-se analisar a eficiência da

técnica no equipamento; comparando os resultados com a avaliação convencional (manual) e os resultados com outros procedimentos consolidados utilizados em empilhadeiras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ensaio Não-Destrutivo (END)

Segundo a Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivo e Inspeção (ABENDI, 2015), procedimentos realizados na fabricação, construção, montagem, e manutenção em que os materiais, equipamentos, máquinas não passam por um processo de danificação é considerado como ensaio não destrutivo (END).

Os métodos são expandidos cada vez mais, e, novas metodologias estão sendo desenvolvidas para à detecção de defeitos e danos internos em diversos compostos, sobretudo os laminados e poliméricos. Os Estudos realizados em diversas áreas da mecânica e mecatrônica vêm possibilitando o diagnóstico da integridade e confiabilidade de material e estruturas (MIRANDA, 2011).

A ABENDI (2015), afirma que os resultados dependem ainda de diversos fatores, os quais o autor relaciona a questão da mão de obra qualificada e sua necessidade de certificação, para a realização dos trabalhos, aparelhos em bom estado de uso e devidamente calibrados, além da realização dos procedimentos seguirem a normatização e regulamentação, que regem a aplicabilidade dos ensaios.

Toda a confiabilidade e eficiência dos métodos dependem de operadores e equipamentos especializados. Os operadores necessitam de treinamento, qualificação e certificação além do domínio das técnicas, e os equipamento devem ser calibrados e utilizados de forma correta.

ABENDI (2014. p.1), relata as normativas necessária para certificação dos profissionais atuantes nos END, as quais variam deste qualificação e certificação de pessoas em ensaios Não Destrutivos, a área e o sistema ao qual operará, segundo ABNT, NBR. NM, ISO 9712:2007, e suas NAs.

Para cada tipo de setor ou área industrial existe uma normativa que certifica e qualifica os funcionários a lidarem com os ensaios não destrutivos. Assim, as técnicas utilizadas variam de acordo com o equipamento, sendo considerados como métodos de manutenção preditiva ou preventiva.

2.2 Manutenção preditiva/prevenção

A melhoria nos sistemas de produção vem sendo uma prática cada vez mais adotada aos diversos segmentos das indústrias. O que inicialmente era paliativo hoje se depara com a preocupação da prevenção seja na questão dos recursos humanos ou patrimonial.

Ferreira (2009), afirma em seu trabalho que esta mudança de ótica vem se consolidando cada vez mais, visto que a pressão do mercado com relação a concorrência torna-se presente. Para o autor, a preocupação passou a ter tamanha relevância que a manutenção hoje é tida como um processo de gestão de ativos de uma organização.

Manutenção pode ser definida como sendo um conjunto de procedimentos e de monitoramento com a finalidade de manter o funcionamento, tão bem quanto novas, máquinas, instalações e edificações, durante períodos maiores, com máxima eficiência, buscando atenuar desperdícios (CURY NETTO, 2008).

Segundo Vieira (2011, p.1), a manutenção pode ser (Quadro 01):

QUADRO 01- Tipos de Manutenção

Manutenção Corretiva	Trata-se da atuação voltada para a correção de uma falha ocorrida em um equipamento, ou um desempenho abaixo do esperado, com propósito de corrigi-los.
Manutenção Corretiva Não Planejada	Realiza-se aqui a correção da falha ou problema de maneira aleatória, ou seja, na maioria dos casos ocorre após a ocorrência do fato responsável por prejudicar o desempenho do equipamento;
- Manutenção Corretiva Planejada	Neste caso a correção se faz a partir de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo por uma decisão da gerência, com custo menor
- Manutenção Preventiva	Trata-se de um processo de atuação realizado com o propósito de reduzir a incidência das falhas ou queda no desempenho, partindo-se de um planejamento baseado em manutenções periódicas. Sua eficiência esta condicionada à eficiência na determinação do intervalo de tempo necessário para sua realização;

Fonte: Elaborado a partir de Vieira (2011, p.1).

A manutenção preditiva, conforme Prado Filho (2010,p.1) “é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação”. Almeida (2015, p.4), complementa a afirmação ressaltando “Trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais de manufatura e de produção.” Assim observa-se que a

manutenção preditiva possui uma interligação com a gestão e otimização da utilização dos maquinários, tornando-se uma estratégia de maior confiabilidade e eficiência na busca de melhores meios de produção e utilização dos recursos produtivos.

A adoção de um programa de manutenção preditiva, conforme Prado Filho (2010), deve abordar ações que buscam antecipar-se e diagnosticar possíveis falhas, quebras e defeitos nos equipamentos, levando a perda de produção uma vez que estes podem parar o funcionamento de um processo de produção todo.

As técnicas de monitoramento preditiva podem basear-se no monitoramento visual e acompanhamento do funcionamento das máquinas e equipamentos (como monitoria dos processos, inspeção visual e observação das vibrações) bem como fazer utilização de técnicas e equipamentos que apontam falhas, desgastes ou defeitos nas máquinas por exemplo Termografia , Cromatografia gasosa, Espectrometria, Radiografia, dentre outros. (COSTA; MURUYAMA; INGRACI NETO, 2015). Prado Filho (2010, p.1), afirma que “entre os vários métodos destacam-se os seguintes: estudo das vibrações; análise dos óleos; análise do estado das superfícies e análises estruturais de peças.” Os métodos relacionados não utilizam equipamentos e procedimentos, que envolvem, desde artifícios mais sofisticados, como ultrassom e raio X, até os mais simples com a utilização de líquidos penetrantes, assim como as análises permitem, tanto detecção de danos externos, como internos sem que haja a necessidade de destruição das peças ou mesmo do equipamento.

2.3 Ultrassom

A utilização da técnica de Ultrassom em manutenção preditiva não destrutiva vem cada vez mais sendo utilizada. Andreucci (2008), relata que existem sons ultra e infra sônicos, em escala que variam em 20 ou 20.000 Hertz (Hz), que se tornam imperceptíveis devido a sua alta ou baixa frequência.

Spamer (2009), afirma que a utilização da técnica ultrassônica tem oferecido bons resultados, nas questões de redução de custo na produção. Sua eficácia também é ressaltada pela autora na economia de energia e otimização dos recursos humanos culminando, em maior lucratividade das organizações.

O método tem como característica a detecção de defeitos advindos do próprio procedimento de produção do artefato ou peças que são submetidos ao teste, sendo comum: “bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros” (REZENDE; CRUZ; MELO, 2011 p.1). A vantagem vista neste diagnóstico é a diminuição da utilização de máquinas, peças ou componentes, que venham a comprometer a produção.

As vantagens e desvantagens do método podem ser vistas no Quadro abaixo (Quadro 02), segundo o Manual do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 1997, p.1) e Miranda e Sato (2008, p.3):

QUADRO 2- Vantagens e desvantagens do ultrassom

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • O método ultrassônico possui alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas discontinuidades internas, como trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes (radiografia ou gamagrafia). • Para interpretação das indicações, o ensaio por ultrassom dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção, como ocorre na radiografia ou gamagrafia. • Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio por ultrassom não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação. • A localização, a avaliação do tamanho e a interpretação das discontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultrassônico, enquanto que outros exames não definem tais fatores. 	<ul style="list-style-type: none"> • O ensaio por ultrassom apresenta algumas desvantagens, como a exigência de grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor, além do preparo da superfície; o registro permanente do teste não é facilmente obtido; faixas de espessuras muito finas constituem uma dificuldade para aplicação do método; em alguns casos de inspeção de solda existe a necessidade da remoção total do reforço da solda, o que demanda tempo de fábrica. • O ensaio por ultrassom de materiais com ondas superficiais é aplicado com severas restrições, pois somente são observados defeitos de superfície; para detectar este tipo de discontinuidade, existem ensaios não destrutivos mais simples, como os ensaios por líquidos penetrantes e por partículas magnéticas, que em geral são de custo e complexidade inferiores aos do ensaio por ultrassom.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de SENAI (1997 p.1) e Miranda e Sato (2008, p. 3)

Um exemplo desta economicidade pode ser visto no trabalho de Comitti (2003), que pelo uso do ultrassom detectou vazamento no diafragma no regulador de pressão da máquina em estudo. Os prejuízos evitados vão de acordo com o diâmetro de cada vala, variando de 3,98 a 143,42 reais/mês, referindo ao diâmetro de 0,5 a 3 m² respectivamente.

Souza (2008), analisando as vantagens das técnicas constatou-se a sua aplicabilidade em usinas hidroelétricas, na quais foi possível detectar fissuras e perdas de rigidez. O baixo custo dos

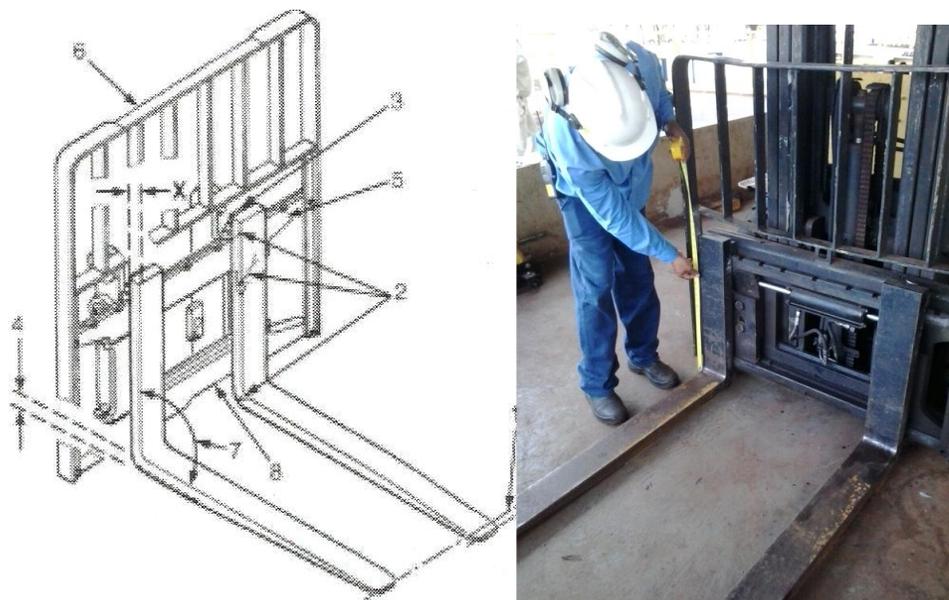
transdutores e a eficiência mostrada nos ensaios confere a técnica uma ferramenta importante, nas manutenções preditivas.

No ultrassom dois tipos de ondas são empregadas: ondas longitudinais aplicáveis a sólidos, líquidos e gases e transversais restringida a uso em sólidos (ANDREUCCI, 2008). Estas classificam o modo de vibração das ondas conforme o autor. Isso confere a técnica mais versatilidade e aplicabilidade na indústria.

A técnica pode ser compreendida de forma resumida como um pulso eco. As ondas são emitidas a determinada peça, em que se houver algum dano ou falha esta é parte refletida e parte transmitida de volta ao transdutor (SOUZA, 2008; ANDREUCCI,2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma empresa multinacional situada no município de Santa Helena de Goiás – GO. A natureza da pesquisa é tida como experimental, uma vez que as variáveis são controladas e passíveis de manipulação conforme afirma (CRUZ, 2011). Para tanto foram realizados ensaios não destrutivos nos garfos em três (03) empilhadeiras da fabricante Hyster® modelo Hyster D177Y-3910V, com assessorio carro Side-Shift com 1067 mm, peso de 4450 Kg, inclinação 10° e altura nominal 3700 mm de referência o Manual de Operação da empresa (HYSTER, 2005) e visita em loco (Figura 02), as análise por ultrassom foi realizada nos garfos, do tipo gancho, em quatro pontos críticos (Figura 01), analisando ao longo do comprimento dos garfos (cinco pontos), realizando quatro (4) repetições em cada ponto de cada empilhadeira, sob um delineamento inteiramente ao acaso (DIC).



Fonte: Hyster (2005, p.134); pesquisa de campo (2015).

FIGURA 1 – Plataforma de acoplamento dos garfos. Pontos 1 e 7 são os críticos para verificação periódica.

O ensaio inicialmente foi realizado com a limpeza dos garfos que seriam submetidos ao teste, procedimento padrão que os operadores realizam ao término do trabalho. Após a limpeza foram utilizados dois equipamentos de ultrassom disponível, sendo um mais simples o HM1200 ultra-sônico (fabricante Highmed) e o APARELHO DE ULTRASSOM MFD800C ULTRASONIC FLAW (fabricante Mitech). A diferença básica entre os dois aparelhos é que o primeiro faz uma leitura pontual (somente onde se coloca o cabeçote) ou seja transversal a superfície, na qual o cabeçote do aparelho é colocado e o segundo já faz uma varredura, longitudinal, apresentando em gráfico as leituras (Figura 02)



Fonte: Autor (2015).

FIGURA 2 – Leituras realizadas no experimento.

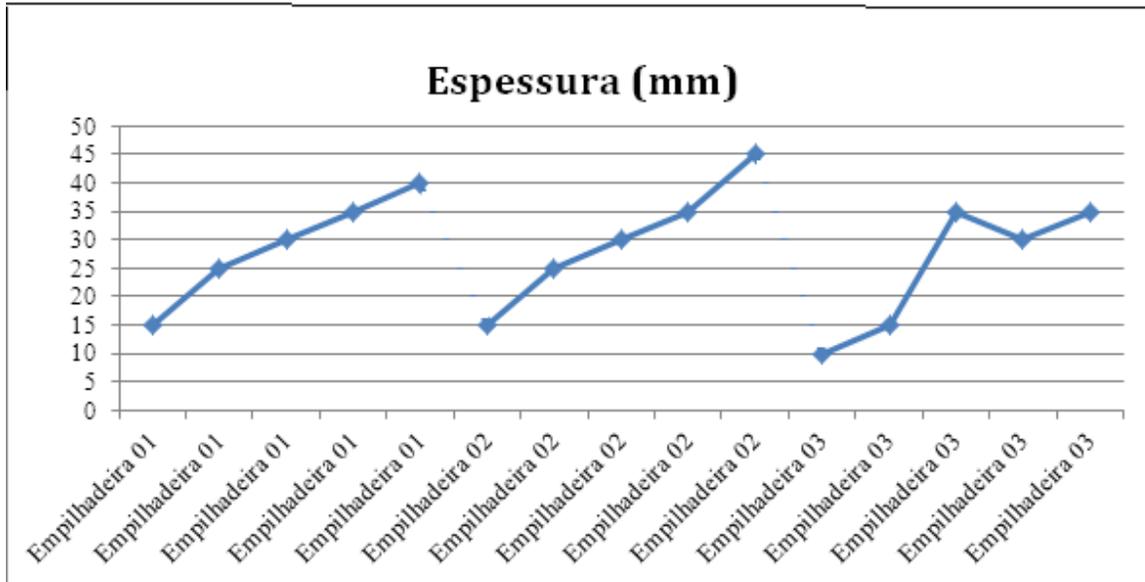
Os dados foram coletados em planilhas manuais registrando-se: espessura, pulso sônico e distância projetada. (REZENDE; CRUZ; MELO, 2011). Os resultados obtidos serão tabulados em planilhas eletrônicas, sendo apresentados em gráficos de polígonos de frequência buscando melhor representação dos resultados.

Os dados obtidos foram comparados com as recomendações técnicas do fabricante, e a avaliação da eficiência sob a técnica utilizada comparada ao método visual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados obtidos pelo aparelho HM1200 ultrassônico, que realiza as medidas de forma transversal, observa-se que as empilhadeiras um e dois possuem um comportamento mais linear, aumentando de acordo com o ponto que foi retirado. As medições que foram realizadas na ponta do garfo da empilhadeira até a curvatura desta, sugerem que não existem pontos de perturbação, ou seja, apresenta um comportamento normal. Já a terceira

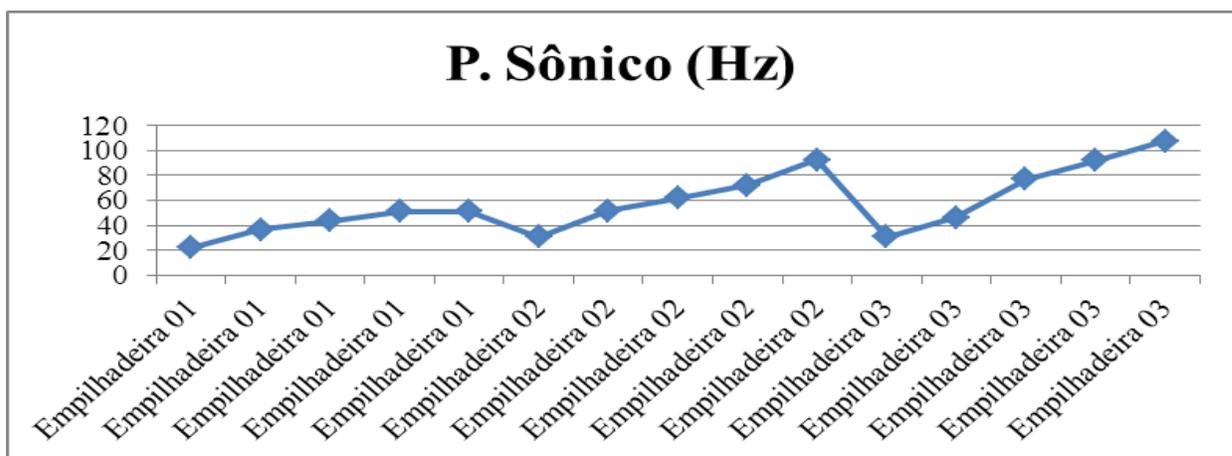
empilhadeira apresenta um perfil mais irregular, o que se pode dizer que (locais de leitura) em alguns pontos apresentam alguma perturbação (Figura 3).



Fonte: autor (2015)

FIGURA 3 – Espessura observada nas leituras com o aparelho transversal.

O mesmo comportamento é observado no pulso sônico (ou pulso-eco) obtido nas leituras, em que as altas frequências, que sugerem uma descontinuidade no material analisado tende a ser maior (Figura 4).



Fonte: autor 2015.

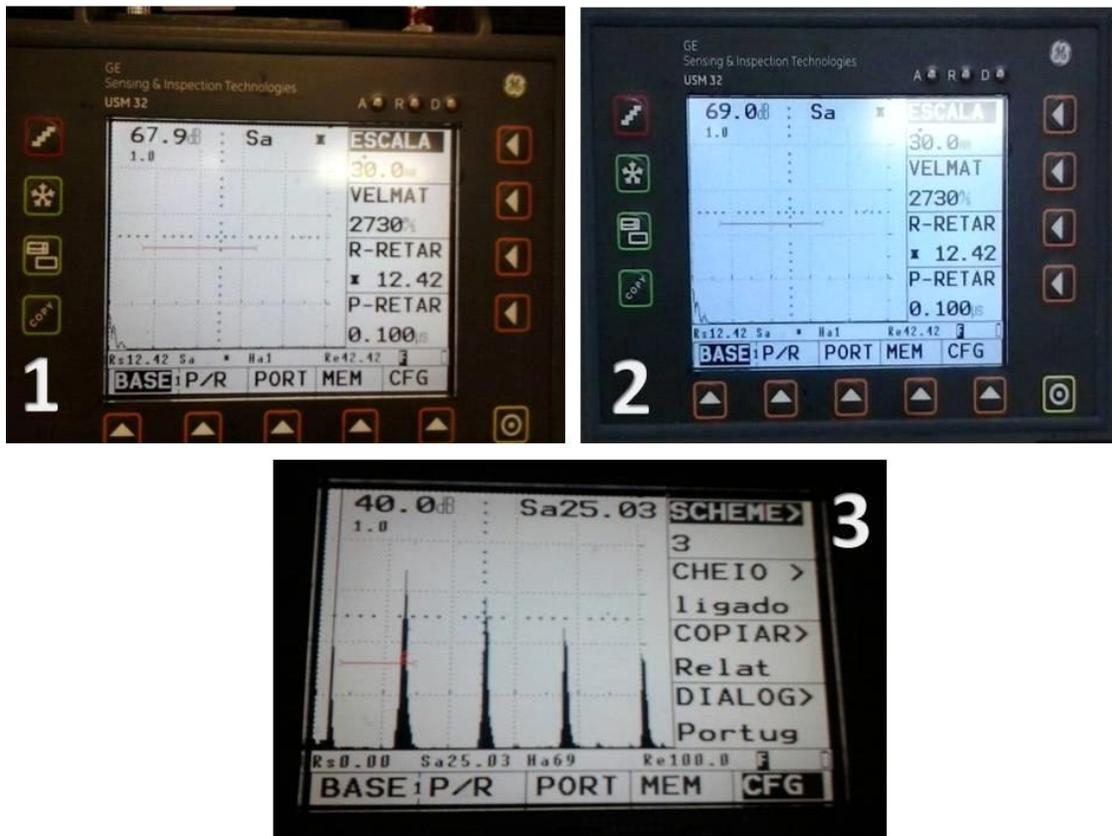
FIGURA 4 – Pulso-eco observado utilizando o aparelho HM1200 ultra-sônico.

Como afirmam Costa; Muruyama e Igraci Neto (20015), as extensões fidedignas de uma descontinuidade (a qual pode sugerir um defeito) interno podem ser aferidas, com uma admissível precisão, permitindo-se que uma determinada peça ou componente analisado seja passível de uma decisão de ser aceito, ou rejeitado, tomando como base, os critérios de aceitação da norma aplicável. A ultrassom pode ser utiliza para estimar esses defeitos e também para mensurar a espessura ou mesmo diagnosticar alguma corrosão com extrema praticidade e precisão.

Tomando por base o manual do operador das empilhadeiras Hyster (2005), a perda máxima de espessuras para os garfos utilizados é de 37 mm ou seja 3%. Assim nota-se, que no equivalente a 100% a terceira empilhadeira apresenta-se em estado critico, para a reparação ou mesmo a substituição dos garfos.

MMTEC (2015), utilizando a mesma técnicas em empilhadeiras das marcas Hyster; Yale e Clark observou que as mesma não apresentavam desgastes acima de 3% sendo que todos os garfos analisados, por ultrassom estavam acima de 37 mm, o aceitável pelas normas técnicas do fabricante.

Para maior confiabilidade da indicação do método do ultrassom como um procedimento não destrutivo, na prevenção preventiva foi utilizado outro aparelho, que realiza uma leitura transversal, na superfície que é aplicado (ULTRASSOM MFD800C ULTRASONIC FLAW). Os resultados obtidos encontram-se na Figura 5.



Fonte: autor (2015)

FIGURA 5 – Layout das leituras nos garfos das três empilhadeiras (os números discriminam cada uma)

Similar aos resultados encontrados com o aparelho de leitura transversal, as leituras longitudinais mostram que os garfos da terceira empilhadeira possuem uma descontinuidade maior, em relação à primeira e à segunda.

Assim, como afirmam Miranda; Bulhões e Brilhante (2012), o perfil mostrado na terceira empilhadeira assemelha-se ao se detectar uma descontinuidade que pode ter vários fatores como existência de solda, porosidade e trincas.

Para Resende; Cruz e Melo (2011), ensaios não destrutivos pela técnica de ultrassom torna-se um método de grande relevância ao que diz respeito à manutenção sem destruição dos equipamentos, porém ressaltam, que esse tipo de ensaio ainda possui o gargalo de ser um método de auto custo e sua complexidade de análise de resultados, bem como na complexidade da manipulação do aparelho. Contudo como se pode perceber o ultrassom aponta possíveis falhas, dada a descontinuidade dos sinais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como observa-se ambos os aparelhos apontaram comportamentos diferenciados nos garfos das empilhadeiras analisadas, sendo que a terceira apresentou maior descontinuidade, o que sugere possíveis falhas ou defeitos.

O método da ultrassom mostrou-se útil para verificação na manutenção preventiva não destrutiva no estudo em questão. Mesmo não apontando precisamente qual a falha que apresentava (trinca interna, descaste, fadiga entre outros comum), torna-se uma ferramenta útil para a tomada de decisão e prevenção de possíveis acidentes.

A utilização e interpretação dos resultados mostrou que há a necessidade de uma maior experiência e vivência na utilização desta técnica, para tomar pareceres mais exatos, quanto aos resultados obtidos. Contudo, mesmo ainda sendo considerada uma técnica de alto custo pode ser associada a outras não-destrutivas (como a visual), na manutenção de equipamentos.

O estudo apresenta a técnica e relatos da literatura, quanto a sua aplicabilidade em superfícies metálicas, com resultados satisfatórios.

Este trabalho oferece uma abertura de novos horizontes para que outros venham a serem realizados no intuito de melhorar e facilitar a interpretação dos dados, promovendo mais a utilização da técnica.

REFERÊNCIAS

ABENDI - Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção. **Ensaio não destrutivo e inspeção.** Disponível em <<http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=>> Acesso em: 28 mar. 2015

_____. **Supervisão de treinamento de ensaios não destrutivos.** Manual: SNQC/END-
Página: 1 de 3 - Revisão: 6 (Ago/2014)

ALMEIDA, M. T. **Manutenção preditiva : confiabilidade e qualidade.** Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

ANDREREUCCI. R.. **Aplicação industrial: Ensaio por ultra-som.** Abende: Ed. Jul/2008. Disponível em: <www.infosolda.com.br/andreucci> Acesso em 25 de mar. 2015.

COMITTI, A. Manutenção Preditiva Ultra-Som. **Revista Mecatrônica Atual** - Nº11 - Set/03. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1108-manutencao-preditiva-ultra-som>>. Acesso 31 Mar. 2015.

COSTA A. H. MARUYAMA; M. H.; INGRACI NETO Rubens Roberto. **Manutenção Preditiva**. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_8.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2015.

CRUZ, V. A.G. **Metodologia da pesquisa científica**. São Paulo: Pearson, 2011.

CURY NETTO, W. A. **A importância e a aplicabilidade da manutenção produtiva total (TPM) nas indústrias**. 2008. 53 f. : il. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008_3_Wady.pdf>. Acesso 30 mar. 2015.

FERREIRA, L. L. **Implementação da Central de ativos para o melhor desempenho do setor de manutenção: Um Estudo de Caso Votorantim Metais - Minas Gerais 2009**, 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (UFJF, Graduação, Engenharia de Produção,). Universidade Federal de Juiz de Fora. 2009.

HYSTER. C. **Manual do operador**. Nacco Materials Handling Group Brasil LTDA: 2005.178p.

MIRANDA. M. **Comparação entre métodos de inspeção não destrutiva aplicados a peças compósitorias Laminadas solidas estruturais aeronáuticas**. 2011 159fls. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos – UFSCar. 2011

MMTEC – Manutenção Preditiva. Medida de espessuras. Disponível em: http://www.mmtec.com.br/Blog_MMtec/medi-o-de-espessura.html. Acesso em 20 mai. 2015

PRADO FILHO, H. R. **Manutenção preditiva: acompanhando as condições dos equipamentos**. 2010. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/03/08/manutencao-preditiva-acompanhando-as-condicoes-dos-equipamentos/>. Acesso em 30 Mar. 2015.

REZENDE, E. J. O.; CRUZ, J. G. S.; MELO, J. C. Ensaio não destrutivo por ultrassom. IN: XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. **Anais...** 2011.

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Indústria. Ensaio Não-destrutivo: Ultra-som. Soldagem – Coleção tecnológica SENAI – 1ª ed. 1997. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos/214-ensaio-nao-destrutivo-ultrassom.html?tmpl=component>>. Acesso em 29 de mar. 2015.

SOUZA, R. Q. Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando a melhoria da confiabilidade de ativos de Usinas hidrelétricas. 2008, 226p..
Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos). Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

SPAMER, F. R. Técnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas. 2009, 254fls.
Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro. 2009.

VIEIRA, R. P. A importância da manutenção preditiva nas empresas para redução de custos e aumento da lucratividade. Publicado em: 18/04/201. Disponível em:<
<http://www.artigonal.com/tecnologias-artigos/a-importancia-da-manutencao-preditiva-nas-empresas-para-reducao-de-custos-e-aumento-da-lucratividade-4627899.html>>. Acesso 20 Mar. 2015.