

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS POR LÍQUIDOS PENETRANTES: INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS PARA PEÇAS SOLDADAS USADAS

(NONDESTRUCTIVE TESTING BY LIQUID PENETRANT EXAMINATION: SPECIFIC INSTRUCTIONS FOR USED WELDED PARTS)

Autores:

Estevam Ferreira Pais Filho, UNINORTE - Laureate International Universities - Manaus - AM, Mestre em Engenharia Industrial.

Ana Emília Diniz Silva Guedes, UNINORTE - Laureate International Universities - Manaus - AM, Doutora em Engenharia Mecânica.

Resumo:

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise dos aspectos relacionados aos Ensaios não Destrutivos por Líquidos Penetrantes em peças soldadas usadas com ênfase nas etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante. As peças foram obtidas de quatro empresas do ramo industrial que atuam no segmento automobilístico de duas rodas na América Latina. A análise dos aspectos relacionados aos ENDs por LPs em peças soldadas usadas enfatizou nas etapas de limpeza prévia da peça e de remoção do líquido penetrante. Foram executadas três etapas: observação das características superficiais das peças; análise de peças submetidas a ENDs por LPs e análise comparativa dos procedimentos de ensaio. Os resultados encontrados nas etapas 1 e 2 do estudo permitiram inferir que o emprego de ENDs por LPs em peças soldadas e usadas constitui num procedimento que merece maior atenção. A etapa 3 demonstrou que os procedimentos utilizados nas empresas eram pouco específicos para esse tipo de peça. Concluiu-se que para os ENDs por LPs serem realizados de forma eficiente em peças soldadas e, especialmente, nas usadas, se faz necessário que os procedimentos empregados contemplem instruções específicas nas etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante, de modo que o processo seja rigorosamente controlado.

Palavras-chave: Ensaio não destrutivo. Líquido penetrante. Peças soldadas.

Abstract:

The present work had as objective to perform an analysis of the aspects related to the Nondestructive Testing by Liquid Penetrant Examination in used welded parts with emphasis in the steps of previous cleaning and removal of the penetrant liquid. The parts were obtained from four industrial companies that operate in the automotive segment of two wheels in Latin America. The analysis of the aspects related to NDT by LPE in used welded parts emphasized in the steps of previous cleaning of the part and removal of the penetrating liquid. Three steps were performed: observation of the surface characteristics of the parts; analysis of parts submitted to NDT by LPE and comparative analysis of the test procedures. The results found in steps 1 and 2 of the study allowed us to infer that the use of NDT by LPE in welded and used parts constitutes a procedure that deserves more attention. Step 3 showed that the procedures used in the companies were not very specific for this type of part. It was concluded that for NDT by LPE to be performed efficiently in welded parts, and especially used ones, it is necessary that the procedures employed contemplate specific instructions in the steps of previous cleaning and removal of the penetrant liquid, so that the process is strictly controlled.

Keywords: Non-destructive testing. Penetrant liquid. Welded parts.

1. Introdução

Atualmente na maioria das montadoras, boa parte dos componentes utilizados na fabricação de motocicleta é adquirida de fornecedores especializados, sendo internamente executados processos mais relacionados à soldagem de peças componentes estruturais, tais com garfo traseiro, tanque de combustível e chassi, que desempenham função vital para o acabamento, a montagem e, conseqüentemente, para a segurança do usuário [1].

A soldagem constitui no mais versátil e importante processo de união de materiais, podendo ser empregado na montagem industrial de conjuntos mecânicos simples ou altamente complexos [2]. Garantir a qualidade em todas as fases do ciclo produtivo é essencial para evitar ou minimizar a geração de possíveis inconvenientes (falhas) inerentes ao processo de soldagem, assegurando que os produtos finais estejam de acordo com as especificações e adequados ao uso destinado [3].

Embora nem todos os defeitos gerados na soldagem sejam graves, a maioria é indesejada e precisa ser devidamente detectada, sendo usualmente selecionados para este fim os ensaios de materiais [4], dentre os quais se destacam os ensaios mecânicos, por sua grande abrangência e relevância atual.

Existem inúmeros ensaios mecânicos disponíveis, havendo opções para os vários produtos metálicos existentes. Quando a integridade geométrica e dimensional precisa ser preservada, os Ensaios não Destrutivos (ENDs) são os mais indicados, por não deixar marca ou sinal na peça ensaiada, constituindo-se numa importante ferramenta de controle de qualidade, por assegurar a confiabilidade da inspeção e contribuir para a redução dos custos de produção, devido economia de tempo e de dinheiro [5-8].

Os ENDs são bem diversificados, havendo métodos com sensibilidade e precisão capazes de identificar a extensão e a gravidade de defeitos superficiais ou internos [3]. Os ENDs por Líquidos Penetrantes (LPs) consistem num método específico para a detecção de descontinuidades superficiais, de inspeção indireta, fundamentado no fenômeno da capilaridade, sendo eficazes para a detecção de descontinuidades presentes na superfície de materiais não porosos [9].

Os ensaios mecânicos de materiais devem sempre ser realizados em conformidade com as normas técnicas, seguindo os procedimentos que permitam reprodução e comparação de resultados, sendo essencial o estabelecimento de níveis de exigência de acordo com o ensaio e com o material ensaiado [8, 10, 11].

Tanto quanto se sabe sobre ENDs por LPs, não há até o momento evidências de procedimentos diferenciados entre ensaios executados em peças novas e usadas. Pais Filho e Fujiyama [12] ao realizar análise comparativa em ENDs por LP em uma empresa do segmento de duas rodas concluíram que peças soldadas submetidas ao uso exigiram maior

cuidado nas etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante, havendo maior probabilidade de falsas indicações, sendo recomendada uma abordagem específica para esses ensaios. Tal fato se torna ainda mais relevante quando se observa que os ENDs por LP não são realizados exclusivamente com peças novas, sendo bem comum a inspeção em campo.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise dos aspectos relacionados aos ENDs por LPs em peças soldadas e usadas com ênfase nas etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante.

2. Metodologia

De modo a ampliar a abrangência das análises, o presente trabalho foi desenvolvido no âmbito de quatro empresas do ramo industrial que atuam no segmento automobilístico de duas rodas na América Latina:

- Empresa A - situada no Pólo Industrial de Manaus (PIM) no Brasil, começou suas atividades em 1976, possui hoje no seu quadro 5.000 colaboradores aproximadamente e uma capacidade produtiva de 1.600.000 motocicletas/ano.
- Empresa B - empresa Argentina, instalada na cidade de Campana, atua no mercado desde 1978 e hoje possui uma capacidade produtiva de 30.000 unidades/ano, contando com um efetivo de aproximadamente 1.300 colaboradores.
- Empresa C - com suas instalações em Cali na Colômbia, foi fundada em 1958 fabricando inicialmente peças componentes para automóveis vindo a partir de 1991 a produzir também motocicletas. Hoje com aproximadamente 24.000 colaboradores atua em diversos segmentos industriais, possuindo uma capacidade produtiva para motocicleta de 100.000 unidades/ano.
- Empresa D - situada na cidade de Guadalajara no México, começou suas atividades em 1985 produzindo, a semelhança da Empresa C, peças para automóveis, conta hoje com aproximadamente 2.000 colaboradores e possui uma capacidade produtiva anual de 70.000 unidades entre automóveis e motocicletas.

A análise dos aspectos relacionados aos ENDs por LPs em peças soldadas e usadas de motocicletas se baseou no fluxograma da (Figura 1) apresentado por Pais Filho e Fujiyama [12], com ênfase nas etapas 1 e 3, limpeza prévia da peça e remoção do líquido penetrante (excesso), respectivamente.

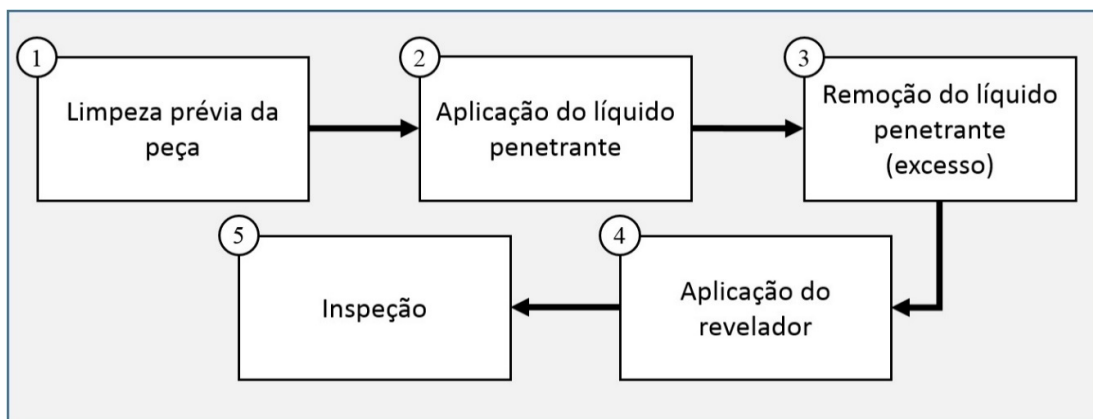


Figura 1: Fluxograma dos ENDs por LP.

As análises foram executadas em três etapas utilizando-se peças soldadas de motocicletas:

- **Observação das características superficiais das peças:** foram observadas peças submetidas a testes de durabilidade e sujeitas às intempéries durante o uso normal. Etapa realizada somente na Empresa A. Em sua execução foi utilizada câmera fotográfica digital para captura das imagens.
- **Análise de peças submetidas a ENDs por LPs:** foram observadas as características e possíveis dificuldades na formulação do parecer final dos ensaios. Etapa realizada nas quatro empresas. A análise deu-se *in loco*, sendo que, em alguns casos, o ensaio foi presenciado. Em sua execução foi utilizada câmera fotográfica digital para captura das imagens e os relatórios de cada ensaio.
- **Análise comparativa dos procedimentos de ensaio:** etapa também realizada nas quatro empresas. Em sua execução foram consultados os Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) utilizados na execução dos ensaios.

3. Resultados e discussão

3.1. Etapa 1 - Observação das características superficiais das peças

Ao observar as características superficiais de peças soldadas de motocicletas, foi verificado, que em função das condições de uso, do trabalho realizado e do grau de exposição às intempéries, as mesmas apresentaram alguns aspectos característicos e nocivos aos ENDs por LPs.

As extensas áreas de oxidação (Figura 2) e deslocamento de tinta (Figura 3) podem acarretar dificuldades na etapa de limpeza prévia, bem como a retenção do penetrante entre a camada de tinta e a superfície da peça, após a etapa de remoção do excesso de penetrante.

Em adição, as aderências de vegetação seca (Figura 3), e de poeira, lama e graxa (Figura 4) se constituem numa barreira física para a capilarização do penetrante podendo também reter o mesmo durante o ensaio.



Figura 2: Peça soldada e usada apresentando extensas áreas de oxidação.

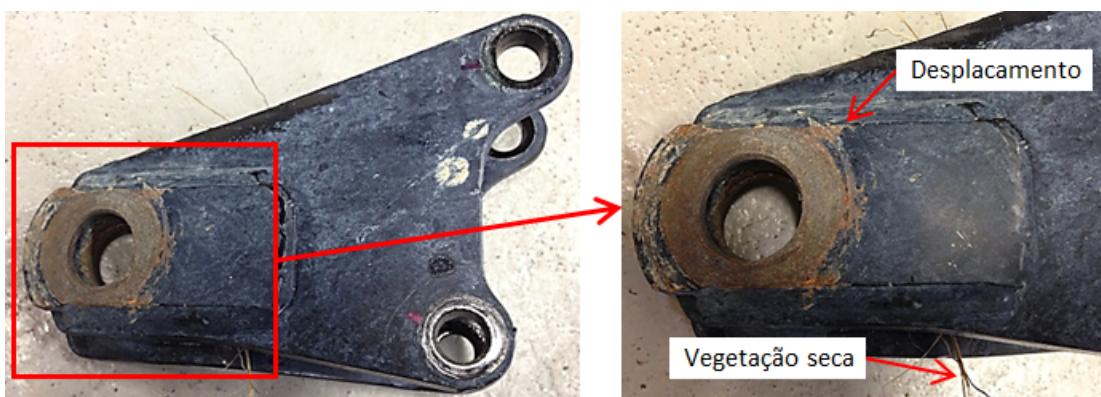


Figura 3: Peça soldada e usada apresentando deslocamento de tinta e aderência de vegetação seca.



Figura 4: Peça soldada e usada apresentando aderência de poeira, lama e graxa.

3.2. Etapa 2 - Análise de peças submetidas a ENDs por LPs

Nesta etapa foram analisadas peças contendo componentes soldados e/ou com geometria complexa. Todas apresentaram indicações que sugeriam a presença de descontinuidades. Entretanto, após a repetição do ensaio ou análise mais acurada dos resultados, foi constatado que:

- Na empresa A - a peça A1 (garfo traseiro) que apresentou manchas extensas, encontrava-se isenta de trinca ou de qualquer outra descontinuidade, já a peça A2 (pedal de apoio), apesar das várias indicações, possuía apenas uma trinca (Figura 5).
- Na empresa B - a peça (bomba d'água), embora não se tratando de peça soldada e usada, por possuir geometria bastante complexa, foi incluída nas análises e, a despeito das indicações surgidas, apresentava somente uma pequena porosidade (Figura 6).
- Na empresa C - a peça (garfo traseiro) estava isenta de quaisquer descontinuidades, pois as manchas características observadas eram falsas, sendo originadas por contaminantes diversos, retidos entre os componentes soldados, que não foram devidamente removidos (Figura 7).
- Na Empresa D - a peça (chassi completo) também estava isenta de problemas, a despeito das várias indicações, muitas inclusive com grandes proporções (Figura 8).



Figura 5: Peças A1 e A2 ensaiadas na Empresa A.

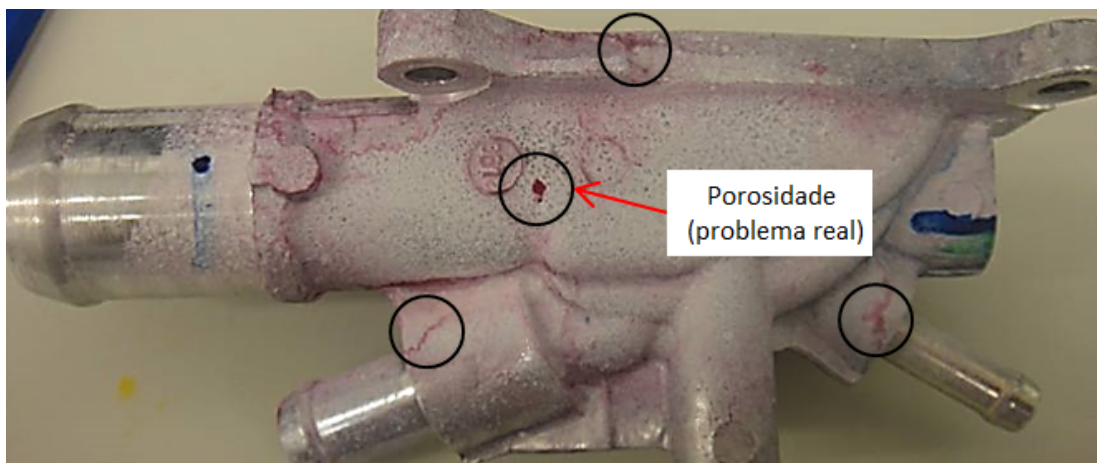


Figura 6: Peça ensaiada na Empresa B

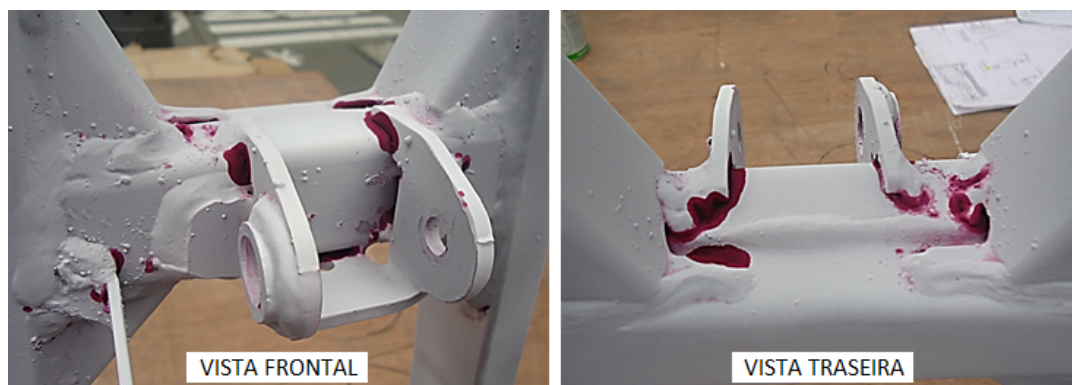


Figura 7: Peça ensaiada na Empresa C.

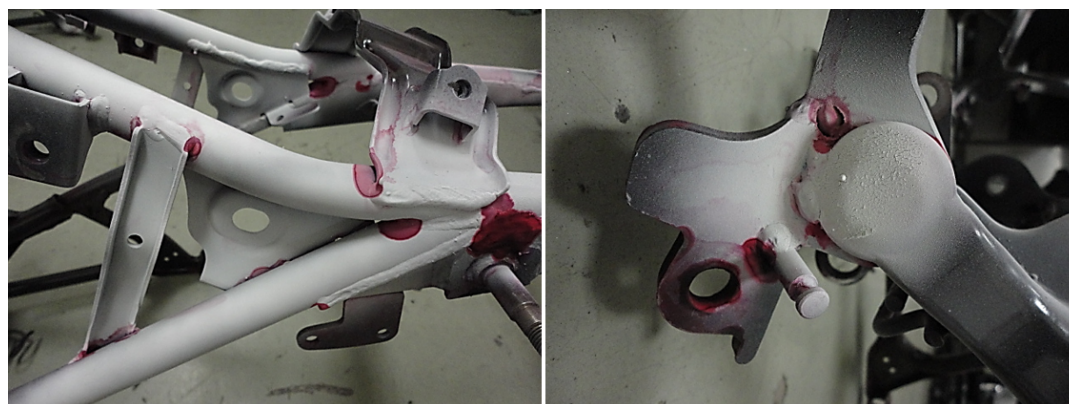


Figura 8: Peça ensaiada na Empresa D.

A Tabela 1 apresenta o resumo das análises realizadas nas peças ensaiadas previamente.

Tabela 1: Resumo da análise em peças ensaiadas previamente.

EMPRESA	LOCAL DO ENSAIO	MATERIAL	COMPONENTE SOLDADO?	CAUSA DAS FALSAS INDICAÇÕES	ETAPAS ENVOLVIDAS
A	BRASIL	ALUMÍNIO (A1)	SIM	① RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ② RETENÇÃO DE LÍQUIDO	ETAPA 1 - LIMPEZA PRÉVIA ETAPA 3 - REMOÇÃO DO EXCESSO DE PENETRANTE (PRINCIPALMENTE)
		AÇO (A2)	SIM	↑	↑
B	ARGENTINA	ALUMÍNIO	NÃO	↑	↑
C	COLÔMBIA	AÇO	SIM	① RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	ETAPA 1 - LIMPEZA PRÉVIA
D	MÉXICO	AÇO	SIM	① RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ② RETENÇÃO DE LÍQUIDO	ETAPA 1 - LIMPEZA PRÉVIA ETAPA 3 - REMOÇÃO DO EXCESSO DE PENETRANTE (PRINCIPALMENTE)

3.3. Etapa 3 - Análise comparativa dos procedimentos de ensaio:

Os resultados encontrados nas etapas 1 e 2 do estudo permitiram inferir que o emprego de ENDS por LPs em peças soldadas e usadas constitui num processo que merece maior atenção, considerando que há grande variedade de peças fabricadas por diferentes processos, com geometrias complexas, cujas saliências, reentrâncias e gaps quando postas em uso tendem a acumular substâncias de difícil remoção com uma limpeza padrão. Com isso, as falsas indicações encontradas podem ser bastante comuns, sendo necessário, em alguns casos, refazer os ensaios para se obter precisão nos resultados, gerando desperdício de tempo e de materiais.

Levando-se em consideração que os ENDS por LPs dependem em grande parte da habilidade do inspetor, é necessário que se tenham procedimentos que garantam sua perfeita execução, atenuando as dificuldades para a elaboração do parecer final. Nesse sentido, foi feita a análise comparativa dos procedimentos de ensaio utilizados nas quatro empresas. A fim de tornar o resultado do comparativo mais claro, as instruções referentes às etapas críticas do ensaio constante de cada procedimento foram transcritas na íntegra para a Tabela 2:

Tabela 2: Instruções referentes às etapas críticas de cada procedimento

EMPRESA	ETAPA 1	ETAPA 3
	LIMPEZA PRÉVIA DA PEÇA	REMOÇÃO DO LÍQUIDO PENETRANTE (EXCESSO)
A	RETIRAR EXCESSO DE SUJEIRA E OU GRAXA DA PEÇA (CUBA 2) COM LIPADOR DE SUPERFÍCIE E PANO.	RETIRAR EXCESSO DE PENETRANTE COM PANO UMEDECIDO EM ÁGUA.
B	ASM HANDBOOK VOLUME 17, NONDESTRUCTIVE EVALUATION AND QUALITY CONTROL (ASM INTERNATIONAL), LIQUID PENETRANT INSPECTION.	←
C	<p>APLICACIÓN DEL LIMPIADOR EN LA PIEZA PARA SER ANALIZADA. PUEDE SER DIRECTO O COM UN PAÑO.</p> <p>ES IMPORTANTE CONSEGUIR QUE LAS DISCONTINUIDADES QUE AFLORAN EN LA SUPERFICIE Y QUE PUEDAN QUEDAR OCULTAS POR ÓXIDOS, CASCARILLAS, ESCORIA, GRASA, ACEITE, PINTURA, ETC., QUEDEN LIBRE DE ESTOS OBSTACULOS. DESPUES DE LA LIMPIEZA Y ANTES DE APLICAR EL PENETRANTE, LU SUPERFICIE DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE SECA Y LIBRE DE RESTOS DE LOS PRODUCTOS LIMPIADORES EMPLEADOS.</p>	<p>RETIRE COM UM PAÑO IMPREGNADO DE LIMPIADOR (O AGUA) EL EXCESSO DE PENETRANTE DE LA SUPERFICIE, NO APLIQUE DIRECTAMENTE EL SPRAY O EL CHORRO DE AGUA SOBRE LA PIEZA.</p> <p>ESTA ETAPA TAMBIEN ES CRITICA POR LA INFLUENCIA EN LA SENSIBILIDAD DEL ENSAYO, YA QUE UN APLICACION DIRECTA DEL SPRAY PUEDE ELIMINAR TODO O PARTE DEL PENETRANTE ALOJADO EN LAS DESCONTINUIDADES Y UN LAVADO POR DEFECTO DEJARA EN LA SURPERFICIE RESTOS DE PENETRANTE QUE CONTRIBUIRAN A ENMASCARAR POSIBLES DISCONTINUIDADES.</p>
D	<ol style="list-style-type: none"> 1. SE REALIZA LIMPIEZA COM (CLEANER) 2. SECADO PIEZA (HORNO O INTERPERIE) 	<ol style="list-style-type: none"> 3. RETIRAR EL (PENETRANT) COM AGUA 2. SECAR PIEZA (HORNO O INTERPERIE)

As instruções constantes do procedimento da empresa A eram bem simples, sem recomendações adicionais ou qualquer distinção de peça, se soldada ou não, assim como sua condição de usada ou nova. O da empresa B indicava o ASM Handbook volume 17 (Nondestructive Evaluation and Quality Control), porém o mesmo não estava disponível no processo, não fazendo também distinção de peça.

O procedimento da empresa C foi o que apresentava instruções mais detalhadas, entretanto, também não fazia distinção das peças a serem ensaiadas.

Finalmente, o da empresa D apresentou-se extremamente simples, o que tornava a eficiência na execução do ensaio dependente exclusivamente do conhecimento e habilidade do inspetor.

Em relação aos cuidados adicionais na etapa 1, Andreucci [13] salienta que na limpeza prévia o inspetor deve ter consciência de que o material na área de interesse precisa estar aparente, sem óxidos ou qualquer sujeira que possa mascarar a observação da descontinuidade. A norma ASTM E165/E165-12 [14] também ressalta a importância da retirada completa das impurezas da superfície. Em adição, Prakash [15] salienta que a

primeira e principal precaução que deve ser observada é que antes do início do END por LP, a superfície deve ser cuidadosamente limpa, caso contrário pode resultar na não detecção de alguns defeitos genuínos e no surgimento de indicações falsas.

No que se refere a etapa 3, de acordo com a norma ASTM E165/E165-12 [14] se o penetrante for removível com água, o inspetor deve se certificar que a peça esteja completamente seca antes da aplicação do revelador, para que problemas como os que aqui foram mostrados possam ser evitados. Apesar de tal recomendação, o assunto na maioria das vezes é tratado de forma genérica, não sendo levado em consideração o tipo ou características das diversas peças que são submetidas ao ensaio.

Andreucci [13], também ressalta que essa situação ocorre com bastante frequência, sendo considerada a causa mais comum de falsas indicações, em especial nos ensaios manuais, podendo, inclusive, impossibilitar a avaliação dos mesmos. Fato que vem corroborar a necessidade de uma execução criteriosa na retirada do penetrante, principalmente, nos casos de superfície bruta de soldas, de métodos que utilizam penetrantes laváveis em água ou pós emulsificáveis. Cuidado adicional deve ser tomado após lavagem da peça, pois é possível a recontaminação com penetrante, proveniente das mãos do inspetor, das próprias descontinuidades, ou ainda, da bancada utilizada no ensaio.

Dessa forma, peças soldadas e usadas, em especial, quando há a combinação destas duas condições, exigem que a execução do ensaio considere a possibilidade de incorporação de etapas e materiais adicionais, de modo a afastar qualquer possibilidade de erro que possa vir a comprometer a qualidade e a confiabilidade do mesmo. Isto significa controlar o processo e proceder o acompanhamento de todos os fatores envolvidos, desde o momento do pré-ensaio, conforme fluxograma sugerido (Figura 9).

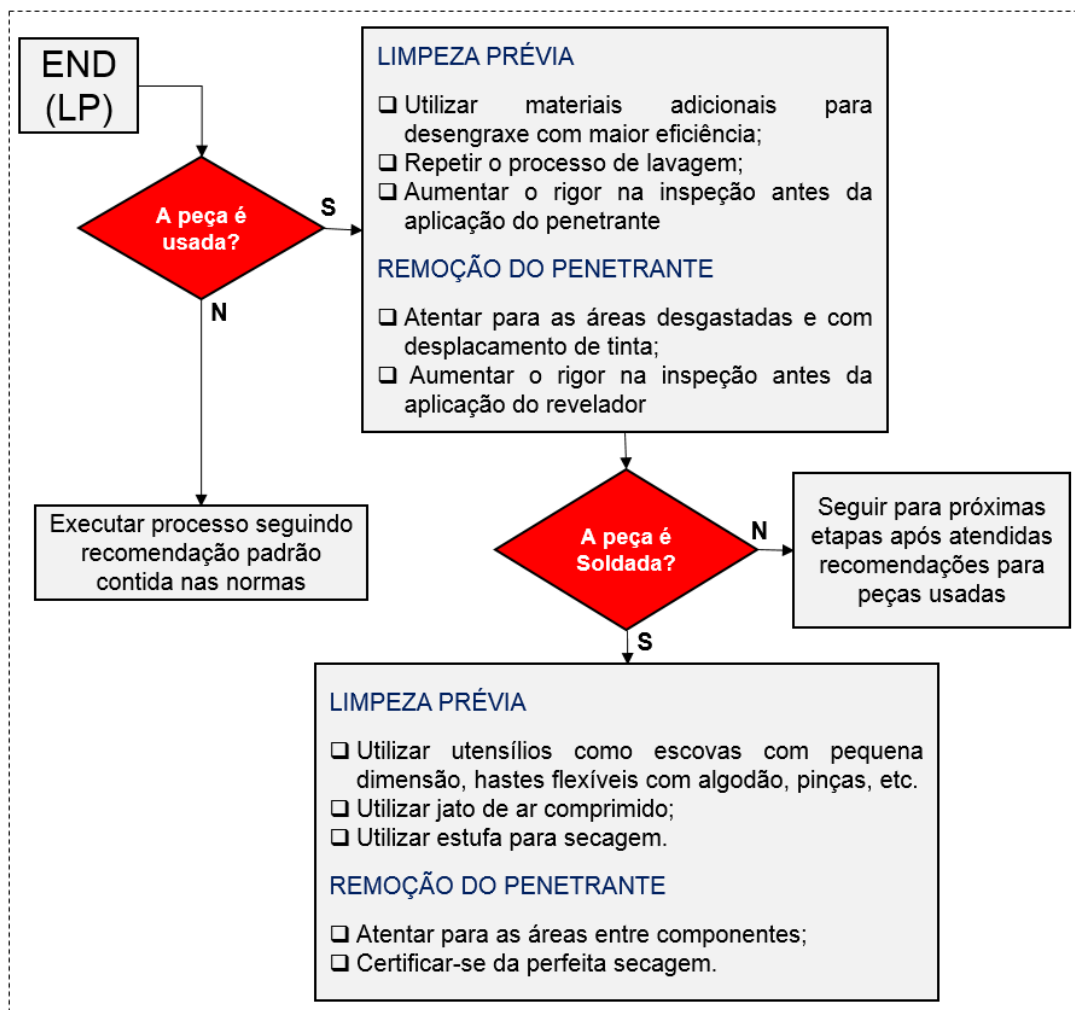


Figura 9: Fluxograma proposto para realização de ENDs por LPs em peças soldadas usadas.

4. Conclusão

Para que os ENDs por LPs em peças soldadas e, especialmente, nas usadas, sejam realizados de forma eficiente, sem necessidade de retrabalho, se faz necessário que os procedimentos empregados contemplem instruções específicas nas etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante, de modo que o processo seja rigorosamente controlado.

5. Referências bibliográficas

- [1] RIBARIC, Sergio Alejandro. **O manual da motocicleta**. Editora LSR Editores, 1ª. Edição, São Paulo, 2012.
- [2] KIMINAMI, Claudio Shyinti; CASTRO, Walman Benício de; OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blucher, 2013.
- [3] GEREMIA, Giovani. **Sistema Autônomo de Inspeção de Dutos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- [4] MARINHO JUNIOR, A. **Ensaio de Materiais: Introdução**. Rio de Janeiro, 2009. (Apostila).
- [5] CARVALHO, Diogo Jorge Teixeira de. **Desenvolvimento e Aplicação de Técnicas Inovadoras de Ensaios Não Destrutivos (END) com Células Bacterianas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [6] LEMOS, Lucas da Costa. **Ensaios não destrutivos: dispersão de fluxo magnético**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, 2010.
- [7] LOURENÇO, Cirlei de Souza. **Os ensaios não destrutivos como ferramenta indispensável na garantia total da qualidade dos projetos de engenharia de tecnologia militar da marinha do Brasil**. 2012. 165p. Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Especialização em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, 2012.
- [8] ZOLIN, Ivan. **Curso técnico em automação industrial: ensaios mecânicos e análises de falhas**. 3. ed. - Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria. 2010.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E165/E165M-12: Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry**. USA: 2012.
- [10] COZACIUC, Ivan; SILVA, Luís Rodrigues da; TOGNI, Marcos Antônio. **Telecurso 2000 profissionalizante - Mecânica - Ensaio de materiais**. São Paulo: Globo, 1997.
- [11] SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos, Fundamentos Teóricos e Práticos**. Edgard Blucher, 2ª. Edição, São Paulo, 1982.

[12] PAIS FILHO, Estevam Ferreira; FUJYAMA, Roberto Tetsuo. Análise comparativa em ensaios não destrutivos por líquido penetrante em peças usadas e novas: Influência da execução das etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante. **Revista abendi**, São Paulo, edição 63, ano VIII, 2014.

[13] ANDREUCCI, Ricardo. **Ensaio por Líquidos Penetrantes**. São Paulo: ABENDI, 2013.

[14] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E165/E165M-12**: Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry. USA: 2012.

[15] PRAKASH, Ravi. **Non-Destructive Testing Techniques**. Tunbridge Wells, Kent, UK. New Age Science, 2009.