



**SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL  
SENAI DR BA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS E DE  
SOLDAGEM**

**ORLIANGELA MACHADO MAGALHÃES**

**INFLUÊNCIA DO JATEAMENTO NA DETECÇÃO DE  
DESCONTINUIDADES ATRAVÉS DO ENSAIO POR LÍQUIDO  
PENETRANTE**

SALVADOR  
2009

**ORLIANGELA MACHADO MAGALHÃES**

**INFLUÊNCIA DO JATEAMENTO NA DETECÇÃO DE  
DESCONTINUIDADES ATRAVÉS DO ENSAIO POR LÍQUIDO  
PENETRANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec, como exigência à obtenção do título de Tecnólogo em Inspeção de Equipamentos e de Soldagem.

Orientador: Prof. Manoel Teodoro Belitardo Pereira, Msc. Eng.

SALVADOR  
2009

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

M188

Magalhães, Orliangela Machado

Influência do jateamento na detecção de descontinuidades através do ensaio por líquido penetrante/ Orliangela Machado Magalhães. -Salvador, 2009.

43f.;il.; color.

Orientador: Prof<sup>oa</sup> Msc. Manoel Teodoro Belitardo Pereira  
Monografia (graduação) – Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec, 2009.

1. Jateamento abrasivo. 2. Solda. 3. Ensaio não-destrutivo. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Pereira, Manoel Teodoro Belitardo. III. Título.

CDD 671.52

**ORLIANGELA MACHADO MAGALHÃES**

**INFLUÊNCIA DO JATEAMENTO NA DETECÇÃO DE  
DESCONTINUIDADES ATRAVÉS DO ENSAIO POR LÍQUIDO  
PENETRANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec, como exigência à obtenção do título de Tecnólogo em Inspeção de Equipamentos e de soldagem.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009.

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Prof. Manoel Teodoro Belitardo Pereira, Msc. Eng. – SENAI  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Prof. Tarso Barreto Nogueira, Msc. Eng. – SENAI  
Membro

\_\_\_\_\_  
Prof. Charles Chemale Yurgel, Msc. Eng. – SENAI  
Membro

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso (TCC) tem como objetivo observar a influência de um tratamento de superfície largamente utilizado na indústria, o jateamento abrasivo, sobre a detecção de descontinuidades superficiais em soldas através do ensaio não destrutivo (END) por líquidos penetrantes. Este trabalho contém uma breve revisão bibliográfica sobre o tratamento de superfície e o END utilizado, revisão esta que tem a função de introduzir o procedimento experimental realizado. Foram utilizados corpos de prova (CP) soldados pelo processo eletrodo revestido e introduzidos intencionalmente defeitos para que fossem detectados através do ensaio. Após esse processo, foi realizado o ensaio de líquido penetrante nas soldas e foram registrados os resultados. Em seguida realizou-se o jateamento e novamente as soldas foram submetidas ao ensaio de LP com o objetivo de comparar os resultados, os quais são apresentados detalhadamente no escopo deste TCC.

Palavras - Chave: jateamento, líquido penetrante, descontinuidades.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 END.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS CONVENCIONAIS.....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Ensaio Visual.....	12
1.2.2 Partículas Magnéticas.....	13
1.2.3 Ultrassom.....	14
1.2.4 Ensaio Radiográfico.....	14
1.2.5 Líquido Penetrante.....	15
1.2.5.1 Tipos de líquidos penetrantes.....	16
1.2.5.1.1 Características necessárias.....	17
1.2.5.1.2 Etapas do ensaio.....	17
1.2.5.2.1 Limpeza da Superfície.....	18
1.2.5.2.2 Aplicação do Penetrante.....	18
1.2.5.2.3 Remoção do excesso de penetrante.....	19
1.2.5.2.4 Revelação.....	19
1.2.5.2.5 Avaliação e Inspeção.....	20
1.2.5.2.6 Limpeza pós-ensaio.....	21
<b>1.3 MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE.....</b>	<b>22</b>
1.3.1 Graus de intemperismo da superfície.....	22
1.3.2 Modos de preparação da superfície.....	24
1.3.2.1 Graus de preparação com ferramentas mecânicas.....	24
1.3.2.2 Graus de preparação com Jateamento abrasivo.....	25
1.3.2.3 Jateamento.....	27
<b>2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....</b>	<b>28</b>
2.2 ENSAIO POR LP NOS CORPOS DE PROVA SEM JATEAMENTO.....	29
<b>2.3 JATEAMENTO DOS CORPOS DE PROVA.....</b>	<b>32</b>
2.4 ENSAIO DE LP NOS CORPOS DE PROVA APÓS JATEAMENTO.....	33

<b>3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>36</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrando a posição do inspetor na realização do ensaio visual direto.....	12
Figura 2 – Ensaio visual remoto utilizando o boroscópio.....	13
Figura 3 – Ensaio através de partícula magnética.....	13
Figura 4 – Ensaio por ultrassom em uma tubulação.....	14
Figura 5 – Arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico.....	15
Figura 6 – Ensaio por líquido penetrante.....	16
Figura 7 – Aplicação do LP na superfície examinada.....	18
Figura 8 – Remoção do excesso de líquido da superfície.....	19
Figura 9 – Aplicação do revelador e observação da indicação.....	20
Figura 10 – Absorção do líquido, pelo revelador, de dentro da abertura.....	21
Figura 11 – Grau A de intemperismo no Aço Carbono.....	23
Figura 12 – Grau B de intemperismo no Aço Carbono.....	23
Figura 13 – Grau C de intemperismo no Aço Carbono.....	23
Figura 14 – Grau D de intemperismo no Aço Carbono.....	24
Figura 15 – Grau Sa 1 de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo.....	25
Figura 16 – Grau Sa 2 de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo.....	25
Figura 17 – Grau Sa 2 ½ de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo.....	26
Figura 18 – Grau Sa 3 de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo.....	26
Figura 19 – Corpos de prova soldados.....	28
Figura 20 – Corpos de prova ensaiados pela técnica utilizando LP fluorescente.....	30
Figura 21 – Corpos de prova ensaiados pela técnica utilizando LP colorido.....	30
Figura 22 – Descontinuidades do CP X – LP tipo II.....	31
Figura 23 – Descontinuidades do CP X – LP tipo I.....	31
Figura 24 – Descontinuidades do CP Y – LP tipo II.....	31
Figura 25 – Descontinuidades do CP Y – LP tipo I.....	32
Figura 26 – Corpos de prova jateados.....	33
Figura 27 – Revelação de descontinuidades nos CPs jateados – LP tipo II.....	34
Figura 28 – Descontinuidades do CP X Jateado – LP tipo II.....	35
Figura 29 – Descontinuidades do CP X Jateado – LP tipo I.....	35
Figura 30 – Descontinuidades do CP Y Jateado – LP tipo II.....	35
Figura 31 – Descontinuidades do CP Y Jateado – LP tipo I.....	36
Figura 32 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP X sem jateamento e depois jateado e escovado – LP tipo II.....	37
Figura 33 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP X sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo I.....	38
Figura 34 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP Y sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo II.....	39
Figura 35 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP Y sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo I.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos tipos de líquido penetrante.....	16
Tabela 2 – Parâmetros de soldagem.....	28
Tabela 3 – Material utilizado para o ensaio.....	29

## INTRODUÇÃO

Os ensaios não destrutivos compreendem um conjunto de técnicas utilizadas tanto no monitoramento de equipamentos em operação quanto na verificação dos requisitos de qualidade nas etapas de fabricação. Em qualquer situação torna-se importante as condições de acabamento das superfícies que serão analisadas. Assim, entre os tipos de preparação dessas regiões, pode-se mencionar dentre muitas, o jateamento abrasivo.

Porém, em particular, no caso da utilização do ensaio por líquido penetrante o jateamento abrasivo pode influenciar substancialmente nos resultados obtidos. Neste trabalho é feita uma comparação qualitativa dos resultados observados pela realização do ensaio por líquido penetrante.

Os corpos de prova foram preparados pelo processo de soldagem por eletrodo revestido, tendo-se introduzido defeitos nos cordões de solda para a realização dos ensaios.

Na primeira etapa o ensaio foi realizado na superfície bruta (conforme soldada) mediante aplicação dos líquidos penetrantes fluorescente e colorido, procedendo-se o registro dos resultados observados. Na segunda etapa os corpos de prova foram jateados e posteriormente ensaiados; os resultados registrados e em seguida comparados àqueles obtidos na primeira etapa.

# 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 END

O ensaio não destrutivo - END é definido como teste para o controle da qualidade, realizado sobre peças acabadas ou semi-acabadas, para a detecção de falta de homogeneidade ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados. Constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade e são utilizados na inspeção de produtos soldados, fundidos, forjados, laminados, entre outros, com vasta aplicação nos setores petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, naval, autopeças e transporte rodoviário. O método a ser utilizado depende das propriedades físicas do material. Um conhecimento geral dos métodos de END disponíveis é necessário para a seleção do método adequado. A sua utilização também está relacionada à prevenção de acidentes, redução de custos, melhoria da confiabilidade de produtos a serem aceitos por uma determinada norma e registro de informações para reparo.

Para obtenção de resultados válidos deve haver: pessoal treinado e qualificado, um procedimento para conduzir o ensaio, um sistema para anotar os resultados e uma norma para interpretar os resultados (ABENDE, 1996).

Os ENDS podem ser classificados em função da aplicação como: detecção de defeitos, caracterização de materiais e metrologia ou em função dos princípios físicos associados como: ondas eletromagnéticas, ondas acústicas, emissão de radiação e outros (absorção, capilaridade, etc.), também podem ser classificados em função da capacidade de detecção como ensaios volumétricos – permitem avaliar todo o volume da peça (raios-X, ultra-som e correntes induzidas), ensaios subsuperficiais – permitem avaliar além da superfície uma pequena parte subsuperficial da peça (partículas magnéticas) e ensaios superficiais – permitem avaliar apenas a superfície da peça (líquido penetrante).

## 1.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS CONVENCIONAIS

### 1.2.1 Ensaio Visual

O ensaio visual é o mais usado dentre os ensaios não destrutivos, seja separadamente ou em conjunto com outros ensaios utilizados no controle da qualidade. É considerado um método razoavelmente simples e relativamente barato para a análise de soldas, componentes e itens que requeiram um certo grau de qualidade. O ensaio visual é classificado como direto ou indireto. Assim, é chamado de direto quando a distância máxima do olho do inspetor ao local examinado é de 600 mm e o ângulo de observação for maior do que 30°. Como pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 – Esquema ilustrando a posição do inspetor na realização do ensaio visual direto.

Extraído de ANSWERS, 2009.

O exame é realizado a olho nu ou com o auxílio de uma lupa. O ensaio indireto ou remoto é aquele cuja posição do inspetor excede os limites definidos na classificação do ensaio visual direto. Em alguns casos, o exame visual remoto pode substituir um exame visual direto. Ainda o exame visual remoto pode utilizar-se de elementos auxiliares, tais como espelhos, boroscópios, câmaras, fibras óticas ou outros instrumentos adequados. A Figura 2 mostra o ensaio utilizando o boroscópio (SILVA JUNIOR E MARQUES, 2006).



Figura 2 – Ensaio visual remoto utilizando o boroscópio. Extraído de ABENDE, 2004.

### 1.2.2 Partículas Magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado na localização de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos e pode ser aplicado tanto a peças acabadas quanto semi-acabadas e durante as etapas de fabricação. Ele é baseado no princípio de que as linhas de campo magnético em um material ferromagnético são distorcidas por uma interrupção na continuidade do material, que pode ser provocada por variações dimensionais abruptas, presença de descontinuidades estruturais (como trincas e porosidades) ou presença de qualquer material (inclusões) com propriedades magnéticas diferentes daquelas do metal base. Se estas descontinuidades são abertas à superfície ou se estão suficientemente próximas à mesma, as linhas de fluxo distorcidas nesta região darão origem aos chamados campos de fuga, promovendo o aparecimento de pólos magnéticos, capazes de atrair partículas magnetizáveis para esta região, realizando a revelação. A Figura 3 demonstra a utilização do equipamento para partícula magnética (SILVA JUNIOR E MARQUES, 2006).



Figura 3 – Ensaio através de partícula magnética. Extraído de emmapro, 2009.

### 1.2.3 Ultrassom

O método de ensaio por ultrassom consiste na introdução de um feixe sonoro de alta frequência no material ou componente de interesse, com o objetivo de detectar, localizar e dimensionar descontinuidades internas ou superficiais porventura existentes na região analisada. Durante o seu percurso, o feixe sonoro pode sofrer reflexões em interfaces existentes no material. As interfaces podem ser as paredes ou superfície do material e descontinuidades como poros, trincas, inclusões diversas, dupla laminação, falta de fusão, falta de penetração e que são sinalizadas por meio de pulsos gerados na tela do aparelho de ultrassom que é usado para a apresentação de sinais. A informação obtida é utilizada para a verificação da conformidade do componente com as especificações de fabricação ou, no caso de componentes em operação, para fornecer subsídios para avaliações utilizando técnicas de mecânica da fratura. Na Figura 4 é apresentada a inspeção por ultrassom (SILVA JUNIOR E MARQUES, 2006).



Figura 4 – Ensaio por ultrassom em uma tubulação. Extraído de **tubonal**, 2009.

### 1.2.4 Ensaio Radiográfico

O ensaio radiográfico baseia-se na absorção diferenciada da radiação pela matéria. Consiste, basicamente, em fazer passar um feixe de radiação X, radiação gama ou nêutrons através do objeto em estudo e registrar as características da radiação emergente do objeto utilizando um meio adequado,

como um filme radiográfico, uma tela fluorescente ou dispositivos eletrônicos de detecção da imagem radiográfica. A Figura 5 mostra um arranjo básico para o ensaio (SILVA JUNIOR E MARQUES, 2006).

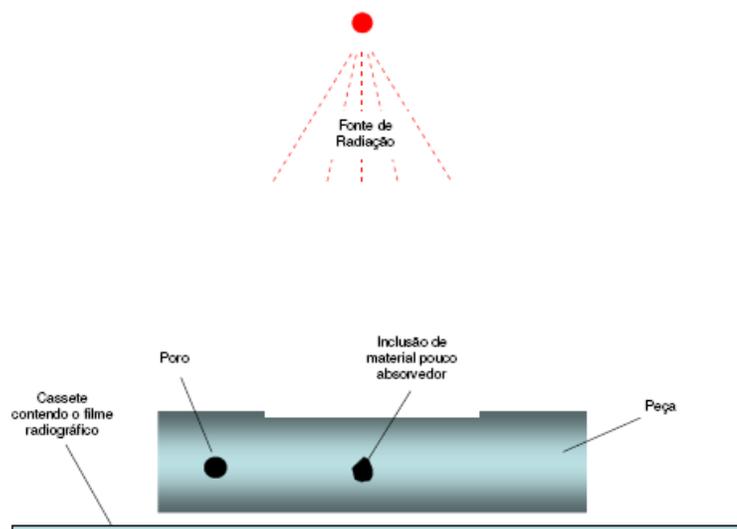


Figura 5 – Arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico. Extraído de SILVA JUNIOR E MARQUES, 2006.

### 1.2.5 Líquido Penetrante

É um método de ensaio não destrutivo (END) para a detecção de descontinuidades abertas à superfície de materiais sólidos e não porosos. Esse método emprega um líquido penetrante, o qual é aplicado na superfície, penetrando nas descontinuidades, caso existentes. Após um determinado tempo de penetração, o excesso é removido, aplicando-se em seguida um revelador que é usualmente um pó fino (talco) branco. Finalmente é feita a análise das descontinuidades através da observação do afloramento do líquido penetrante contrastando com o fundo branco do pó aplicado (ANDREUCCI, 2008). A Figura 6 mostra o ensaio por líquido penetrante.



Figura 6 – Ensaio por líquido penetrante. Extraído de ETEU, 2009.

### 1.2.5.1 Tipos de líquidos penetrantes

Os líquidos penetrantes são classificados quanto à visibilidade e quanto ao tipo de remoção de excesso. A Tabela 1 apresenta essa classificação.

Tabela 1 – Classificação dos tipos de líquido penetrante

<b>Classificação</b>	
<b>Quanto à visibilidade</b>	<b>Quanto ao tipo de remoção</b>
Fluorescente (tipo I)	Lavável em água
Colorido (tipo II)	Pós-emulsificável
	Removível por solvente

Os fluorescentes são constituídos por substâncias naturalmente fluorescentes, são ativados e processados para apresentarem alta fluorescência quando excitados por raio ultravioleta (luz negra). Ao passo que os penetrantes visíveis coloridos são geralmente de cor vermelha, para que as indicações produzam um bom contraste com o fundo branco do revelador.

Quanto ao tipo de remoção do excesso, podem ser: laváveis em água, pós-emulsificáveis e removíveis por solventes.

Os laváveis com água permitem a remoção do excesso com água; esta operação deve ser cuidadosa; se for demorada ou se for empregado jato de água, o líquido pode ser removido do interior das discontinuidades. Já o pós-emulsificáveis são insolúveis diretamente em água. A remoção do excesso é facilitada pela adição de um emulsificador, aplicado em separado. Este se combina com o excesso de penetrante, formando uma mistura lavável com água. Os removíveis por solventes são fabricados de forma a permitir que o excesso seja removido com pano seco, papel-toalha ou qualquer outro material

absorvente que não solte fiapo, até que reste uma pequena quantidade de líquido na superfície de ensaio; esta deve ser então removida com um solvente removedor apropriado (ANDREUCCI, 2008).

#### 1.2.5.1.1 Características necessárias

O líquido penetrante é uma composição de vários produtos para atender determinadas propriedades físicas (ANDREUCCI, 2008). Conforme descritos abaixo.

- Capilaridade – capacidade de penetrar em pequenas fissuras;
- Viscosidade – velocidade que o líquido penetrante entra e sai de uma fissura;
- Tensão superficial – para manter o líquido aderido na superfície da peça;
- Molhabilidade – capacidade do líquido se espalhar sobre a superfície da peça;
- Densidade – geralmente um pouco menor que 1 não influi na capacidade do líquido;
- Volatilidade – dificuldade para evaporar, o líquido não deve evaporar da superfície da peça;
- Ponto de fulgor – é a temperatura que um líquido começa a emitir vapores que podem se inflamar, o líquido penetrante não deve se inflamar na temperatura de ensaio;
- Inércia química – o líquido utilizado não deve agredir a peça ensaiada, não pode provocar corrosão na peça, não pode reagir com a peça;
- Solubilidade – o líquido deve ser removido facilmente da peça;
- Toxicidade – o líquido penetrante deve ter um baixo índice de toxidez, pois muitas vezes é utilizado em lugares confinados com pouca ventilação.

#### 1.2.5.2 Etapas do ensaio

As etapas de ensaio por líquido penetrante consistem em: limpeza da superfície

a ser inspecionada, aplicação do líquido penetrante, remoção do excesso de líquido, aplicação do revelador, inspeção e laudo final e limpeza final da peça. Cujas características e procedimentos são apresentados a seguir.

#### 1.2.5.2.1 Limpeza da Superfície

A limpeza da superfície se divide em duas etapas: remoção de irregularidades da superfície e limpeza. A remoção de irregularidades fará a eliminação de carepas de óxido, escórias, respingos de solda e outros depósitos que possam impedir a penetração do líquido na descontinuidade. Nesse processo são utilizadas ferramentas mecânicas para escovamento, esmerilhamento, jateamento ou usinagem. A limpeza da superfície é a remoção de camadas gordurosas, graxas, óleo ou umidade e resíduos da etapa anterior. É utilizado um removedor não gorduroso à base de solvente, detergente, desengraxante ou limpeza ultra-sônica ou decapagem.

#### 1.2.5.2.2 Aplicação do Penetrante

Consiste na aplicação de um líquido ao qual denomina-se líquido penetrante, geralmente de cor vermelha, de tal maneira que forme um filme sobre a superfície e que por ação da capilaridade penetre na descontinuidade. Aguarda-se um tempo mínimo, chamado tempo mínimo de penetração para certificar-se de que, independente do tamanho da descontinuidade, a penetração tenha ocorrido completamente. A Figura 7 demonstra a aplicação do LP.



Figura 7 – Aplicação do LP na superfície examinada. Extraído de SENAI.FIEB, 2009.

#### 1.2.5.2.3 Remoção do excesso de penetrante

Consiste na remoção do excesso do penetrante da superfície, através de produtos adequados, condizentes com o tipo de líquido penetrante aplicado, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo. Na Figura 8 observa-se a remoção do excesso de LP (ANDREUCCI, 2008).



Figura 8 – Remoção do excesso de líquido da superfície. Extraído de COPERTEC, 2009.

#### 1.2.5.2.4 Revelação

Após a remoção do excesso de penetrante deve ser observado um tempo para que a superfície da peça fique totalmente seca, isenta de umidade e solvente.

O revelador é um produto formulado e balanceado que é aplicado sobre a superfície examinada após a remoção do excesso de penetrante, sobre forma de uma fina camada.

Por efeito da capilaridade o líquido se espalha (“efeito mata borrão”) na camada de revelador fazendo com que a largura da indicação seja bem maior que a da descontinuidade, o que permite sua visualização.

O revelador a seco é uma mistura de sílica e talco e pode ser aplicado através de pulverização a seco, manualmente com peneiras de malha fina, em câmaras fechadas ou com pistolas eletrostáticas.

Este tipo de revelador é mais empregado em sistemas estacionários pela necessidade de grandes equipamentos.

O revelador úmido pode ser aquoso ou não. O método úmido aquoso pode ser utilizado em suspensão, onde o pó seco é misturado com água e aplicado por pulverização, derramamento sobre a superfície da peça ou por imersão da peça em recipiente contendo a solução. Sua utilização é restrita a sistemas estacionários. O revelador úmido aquoso em solução é composto de um pó cristalino que quando misturado com água, numa determinada concentração proporciona uma solução clara. Pode ser aplicado do mesmo modo que o revelador úmido aquoso em suspensão. O revelador úmido não aquoso é composto por um pó misturado com solvente que pode ser uma nafta ou álcool. Sua aplicação é feita por pulverização sobre a peça, geralmente sistema portátil, obtendo-se uma facilidade na uniformidade da camada e cobertura da superfície alcançando assim uma alta sensibilidade.

Um outro sistema de revelador consta de um filme plástico formado por laca clara ou resina coloidal onde são adicionadas partículas de revelador. Este sistema permite a remoção da película e o arquivamento do resultado.

A aplicação pode ser por imersão, pulverização ou em câmaras fechadas. Quanto menor a espessura da película do revelador sobre a peça, maior será a sensibilidade do ensaio. A Figura 9 demonstra observação da indicação (ANDREUCCI, 2008).



Figura 9 – Aplicação do revelador e observação da indicação. Extraído CCISP, 2009.

#### 1.2.5.2.5 Avaliação e Inspeção

Após a aplicação do revelador, as indicações começam a ser observadas no “manchamento” causado pela absorção do penetrante contido nas aberturas,

e que serão objetos de avaliação. A inspeção deve ser feita sob boas condições de luminosidade, se o penetrante é do tipo visível (cor contrastante com o revelador) ou sob luz negra, em área escurecida, caso o penetrante seja fluorescente. A interpretação dos resultados deve ser baseada no código de fabricação da peça ou norma aplicável ou ainda na especificação técnica do cliente. Nesta etapa deve ser preparado um relatório escrito que mostre as condições do ensaio, tipo e identificação da peça ensaiada, resultado da inspeção e condição de aprovação ou rejeição da peça.

Em geral a etapa de registro das indicações é bastante demorada e complexa, quando a peça mostra muitos defeitos. Portanto, o reparo imediato das indicações rejeitadas com posterior re-teste, é mais recomendável. A absorção do líquido na peça é ilustrada na Figura 10 (ANDREUCCI, 2008).



Figura 10 – Absorção do líquido, pelo revelador, de dentro da abertura. Extraído de TEMAFLUX, 2009.

#### 1.2.5.2.6 Limpeza pós-ensaio

A limpeza final é necessária, pois pode ocorrer a necessidade de execução de ensaios complementares que seriam prejudicados pelos resíduos deixados. Também o ensaio de líquido penetrante pode ser a última etapa de um produto antes da embalagem para entrega e por este motivo a peça deve ser limpa. (ANDREUCCI, 2008).

### 1.3 MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE

A eficiência dos revestimentos anticorrosivos depende primordialmente do preparo da superfície a ser protegida. Uma superfície bem limpa, livre de ferrugem, graxa, sujeira e umidade é o melhor substrato para um bom revestimento protetor. Pode-se afirmar que este revestimento tem a mesma importância que a superfície à qual foi aplicado, e o seu desempenho é função direta do preparo desta.

A seleção e correta indicação do preparo da superfície melhora a adesão do sistema ao substrato e prolonga a vida útil da pintura.

Os substratos de metais ferrosos, concreto e galvanizado são normalmente protegidos, por serem os que mais se deterioram em ambientes agressivos. A seleção do método correto de preparação da superfície depende do substrato, da agressividade do ambiente, da expectativa de vida útil e do sistema de pintura. O aspecto econômico, a contaminação do substrato e o tipo de metal também influem na seleção do método de preparação da superfície (EVS, 2002).

Os métodos de preparação de superfícies de metais ferrosos indicados neste trabalho referem-se à norma sueca Swedish Standards Institution 51505 5900-1984 que posteriormente foi incorporada ao padrão International Organization for Standardization (ISO) 8501-1 e apresenta os vários padrões visuais de comparação de preparação de superfícies.

#### 1.3.1 Graus de intemperismo da superfície

O padrão ISO 8501-1 estabelece padrões fotográficos de comparação visual para a determinação do grau de intemperismo da superfície da peça para possibilitar a escolha adequada do tipo de preparação superficial. Os graus de intemperismo são os seguintes:

- **Grau A** - Substrato de aço sem corrosão, com carepa de laminação ainda intacta  
Figura 11.



Figura 11 – Grau A de intemperismo no Aço Carbono. Extraído de ISO, 2007.

- **Grau B** - Substrato de aço com início de corrosão e destacamento da carepa de laminação a Figura 12 apresenta o destacamento da carepa.

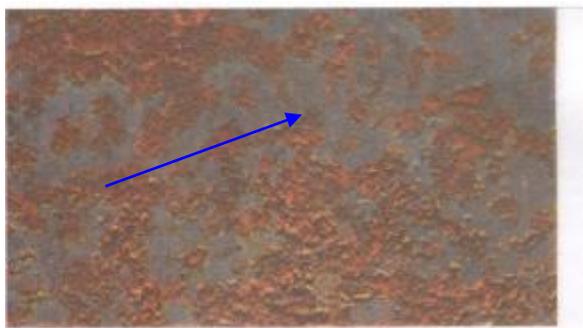


Figura 12 – Grau B de intemperismo no Aço Carbono. Extraído de ISO, 2007.

- **Grau C** - Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou que possa ser removida por raspagem, com pouca formação de cavidades visíveis. Segundo observado na Figura 13.

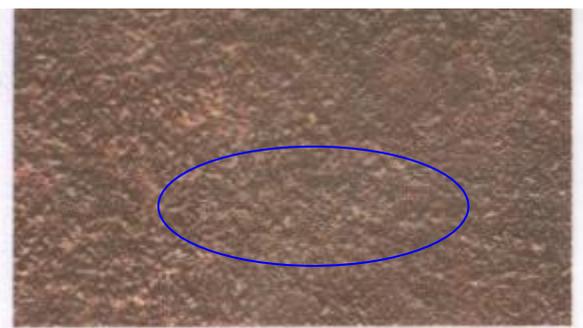


Figura 13 – Grau C de intemperismo no Aço Carbono. Extraído de ISO, 2007.

- **Grau D** - Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e com grande formação de cavidades visíveis mostrada na Figura 14.



Figura 14 – Grau D de intemperismo no Aço Carbono. Extraído de ISO, 2007.

### 1.3.2 Modos de preparação da superfície

A partir do grau de intemperismo em que se encontra a peça, deverá ser escolhido o método de preparação de superfície mais adequado. Esta preparação pode se dar através de ferramentas mecânicas ou de jateamento abrasivo, sendo este último o foco do presente trabalho. O padrão ISO 8501-1 também estabelece padrões para a determinação do grau de preparação de superfície. Os modos de preparação da superfície serão apresentados a seguir (EVS, 2002).

#### 1.3.2.1 Graus de preparação com ferramentas mecânicas

- **St 2** - Limpeza minuciosa por raspagem, escovamento ou lixamento manual para remoção de toda carepa de laminação solta e outras impurezas. Em seguida, limpar a superfície com ar comprimido limpo e seco, devendo-se obter leve brilho metálico.
- **St 3** - Limpeza minuciosa por raspagem, escovamento ou lixamento (mecânica ou manual) para remoção de toda carepa de laminação solta e outras impurezas, porém mais rigorosa que a feita em St 2. Em seguida, limpar a superfície com ar comprimido limpo e seco, devendo-se obter intenso brilho metálico.

### 1.3.2.2 Graus de preparação com Jateamento abrasivo

- Sa 1 - Limpeza por Jateamento ligeiro (*brush-off*):

O jato é aplicado rapidamente e remove a carepa de laminação solta e outras impurezas, Figura 15.



Figura 15 – Grau Sa 1 de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo. Extraído de ISO, 2007.

- Sa 2 - Limpeza por Jateamento comercial:

O jato deve remover praticamente toda carepa de laminação e outras impurezas. Caso a superfície possua cavidades (graus C e D), pelo menos 65% de cada área de 6,45 cm<sup>2</sup> deverão estar livres de resíduos visíveis no fundo das cavidades. Após o tratamento a superfície deve apresentar uma coloração acinzentada conforme Figura 16 (EVS, 2002).

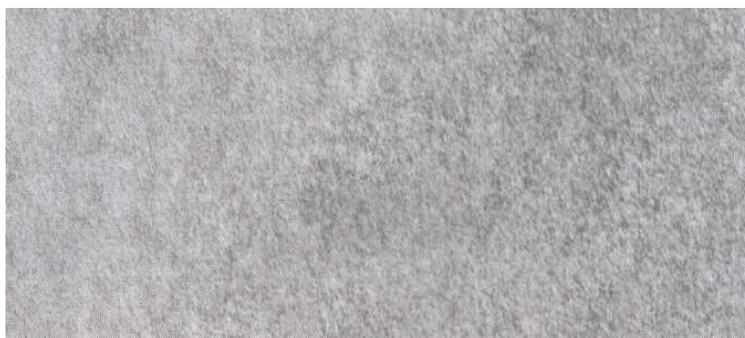


Figura 16 – Grau Sa 2 de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo. Extraído de ISO, 2007.

- Sa 2 ½ - Limpeza por Jateamento ao metal quase branco:

O jato deve remover toda carepa de laminação e outras impurezas, de modo que possam aparecer apenas leves manchas na superfície. Após a limpeza, 95% de cada área de 6,45 cm<sup>2</sup> deverão estar livres de resíduos visíveis e apresentar coloração cinza clara como mostra a Figura 17.

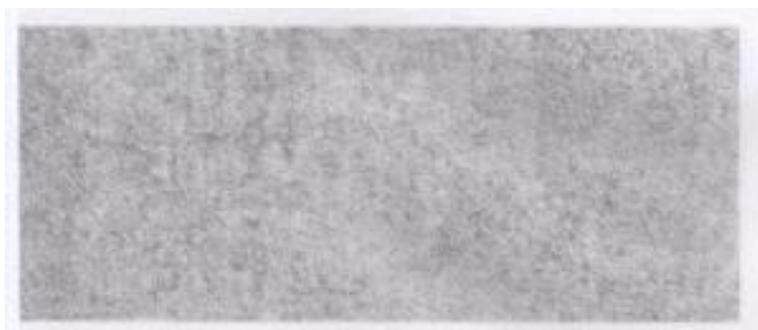


Figura 17 – Grau Sa 2 ½ de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo. Extraído de ISO, 2007.

- Sa 3 - Limpeza por Jateamento ao metal branco:

O jato deve remover toda carepa de laminação ou outras impurezas, de modo que a superfície fique totalmente livre de resíduos visíveis. Após a limpeza, a superfície deverá apresentar coloração cinza clara e uniforme como mostra a Figura 18 (EVS, 2002).

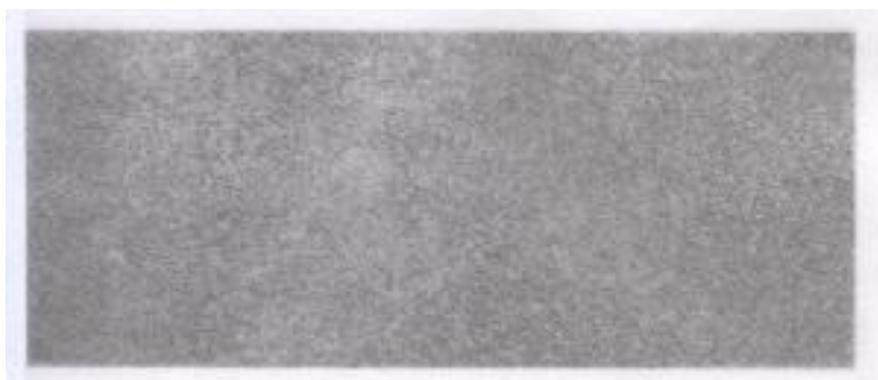


Figura 18 – Grau Sa 3 de jateamento no Aço Carbono grau C de intemperismo. Extraído de ISO, 2007.

### 1.3.2.3 Jateamento

O jateamento é uma técnica de tratamento superficial por impacto, através do qual pode-se obter um excelente grau de limpeza e simultaneamente um correto acabamento superficial. Esse processo em geral é usado para:

- Limpeza de peças fundidas, ferrosas e não ferrosas, forjadas, etc;
- Decapagem mecânica de arames, barras, chapas, etc;
- *Shot-Peening* (aumenta a resistência à fadiga de molas, elásticos, engrenagem, etc.);
- Limpeza e preparação de superfície, onde será aplicado revestimento posterior.

De forma geral, pode-se dizer que o jateamento é o bombardeio de partículas abrasivas a alta velocidade (65 – 110 m/s), que após o impacto com a peça remove os contaminantes da superfície. O tipo de material, o tamanho, a forma, as condições da superfície a ser limpa e a especificação do acabamento superficial, têm influência direta quanto à seleção do sistema de jateamento, do abrasivo e a definição do procedimento (EVS, 2002).

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este capítulo tem como objetivo descrever o procedimento experimental que foi realizado com a finalidade de verificar o efeito do jateamento como forma de preparação das superfícies que serão submetidas ao ensaio de LP.

### 2.1 CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram utilizadas duas chapas de aço carbono SAE 1020 (CP X e CP Y) com espessura de 10 mm e dimensões de 200X200 mm. Na Figura 19 observar os corpos de prova soldados. Os parâmetros de soldagem são apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Parâmetros de soldagem

Processo de soldagem	ER (SMAW)
Posição de soldagem	PLANA
corrente	110 A
tensão	22 V
Diâmetro do eletrodo	3,2 mm
Metal de adição	AWS ER-7018

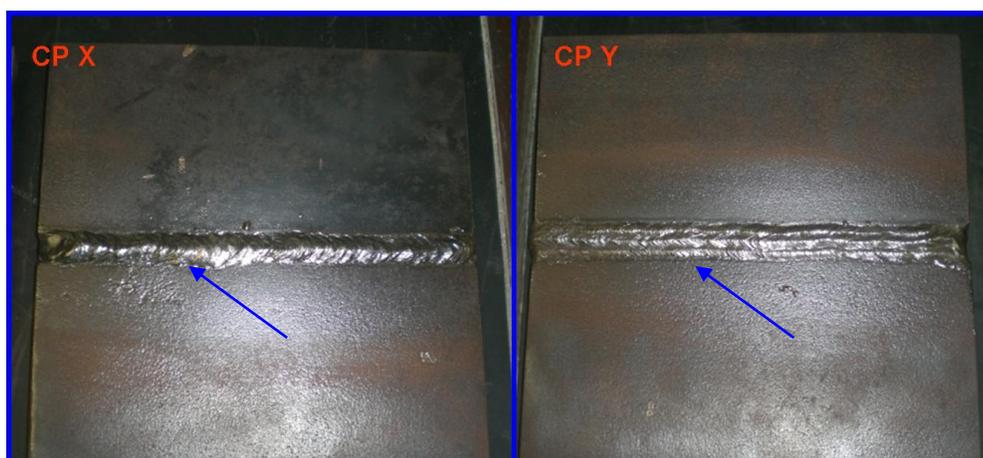


Figura 19 – Corpos de prova soldados.

Para que os cordões de solda apresentassem as descontinuidades necessárias à avaliação, foram introduzidas pequenas quantidades de cobre na poça de fusão, ocasionado trincas transversais e longitudinais para que fossem detectadas através da utilização do ensaio por LP.

## 2.2 ENSAIO POR LP NOS CORPOS DE PROVA SEM JATEAMENTO

O ensaio de Líquido Penetrante foi realizado nos corpos de prova seguindo o procedimento PR-001 - Procedimento de END por Líquido Penetrante revisão 6 de 2008 da ABENDI e o código ASME Seção V, edição 2004. Foram feitos os ensaios de LP utilizando os materiais mostrados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Material utilizado para o ensaio

<b>Tipo</b>	<b>Penetrante</b>	<b>Removedor</b>	<b>Revelador</b>
I (fluorescente) Técnica A (lavável a água)	FP – 91 Lavável a água, Metal-Chek, lote 7646, validade 11/2010.	E – 59, Metal Chek.	D – 70 não aquoso, Metal-Chek, lote 6703, validade 02/2010.
II (colorido) – Técnica A (lavável a água)	VP – 30 Lavável a água, Metal-Chek, lote 7646, validade 04/2010.	E – 59, Metal Chek	D – 70 não aquoso, Metal-Chek, lote 6703, validade 02/2010.

As Figuras 20 e 21 mostram os corpos de prova com a utilização da técnica de LP tipo I e tipo II.

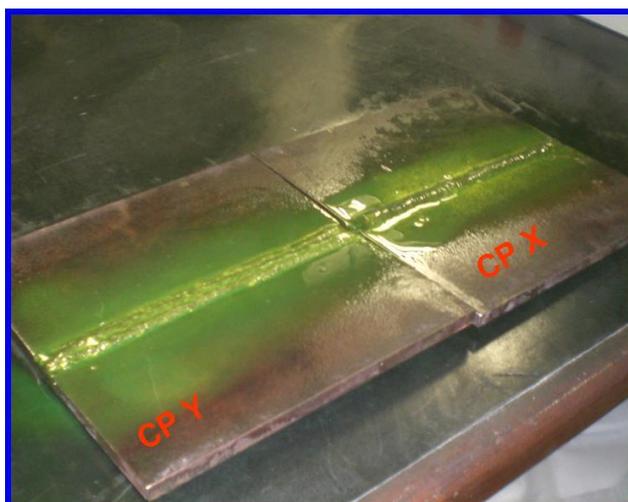


Figura 20 – Corpos de prova ensaiados pela técnica utilizando LP fluorescente.

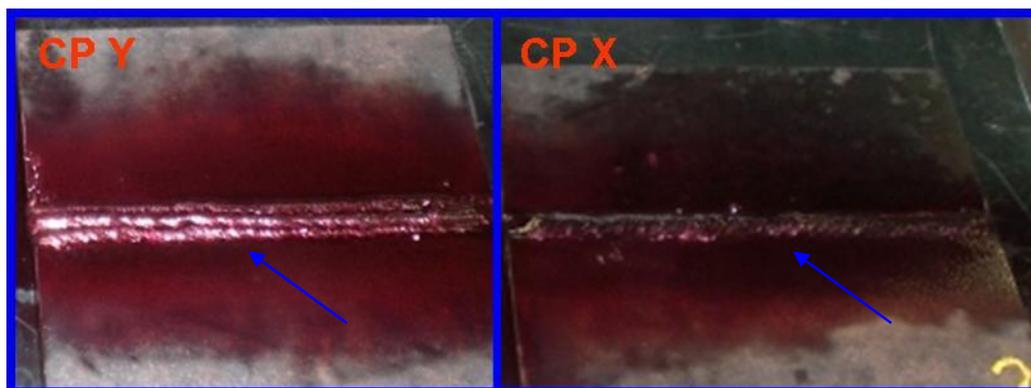


Figura 21 – Corpos de prova ensaiados pela técnica utilizando LP colorido.

Após a revelação das discontinuidades, as mesmas foram registradas através de fotografia para serem posteriormente comparadas com os resultados obtidos no ensaio de LP após jateamento, as Figuras 22 LP tipo II, 23 LP tipo I, 24 LP tipo II e 25 LP tipo I demonstram a interpretação dos resultados do CP X e CP Y através do LP.



Figura 22 – Descontinuidades do CP X – LP tipo II.

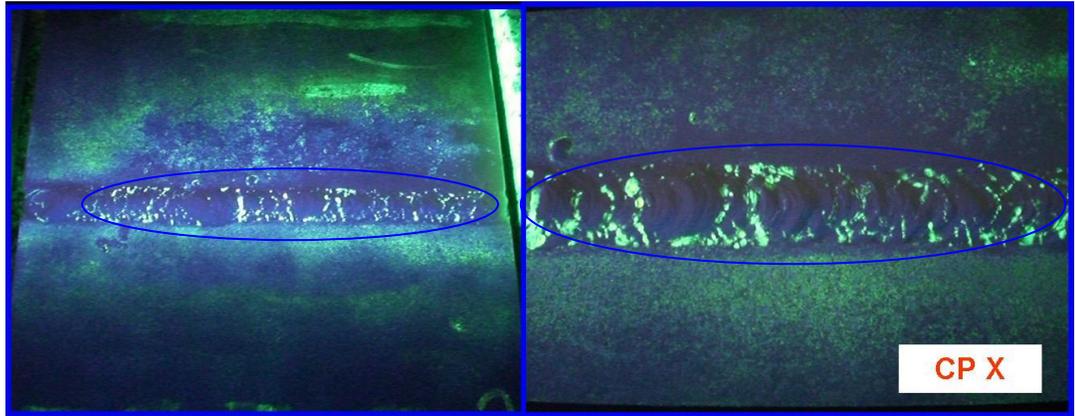


Figura 23 – Descontinuidades do CP X – LP tipo I.

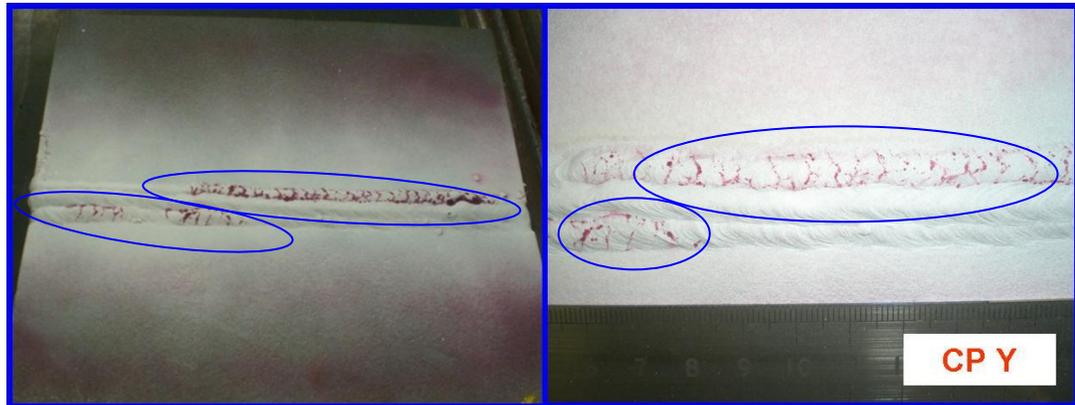


Figura 24 – Descontinuidades do CP Y – LP tipo II.

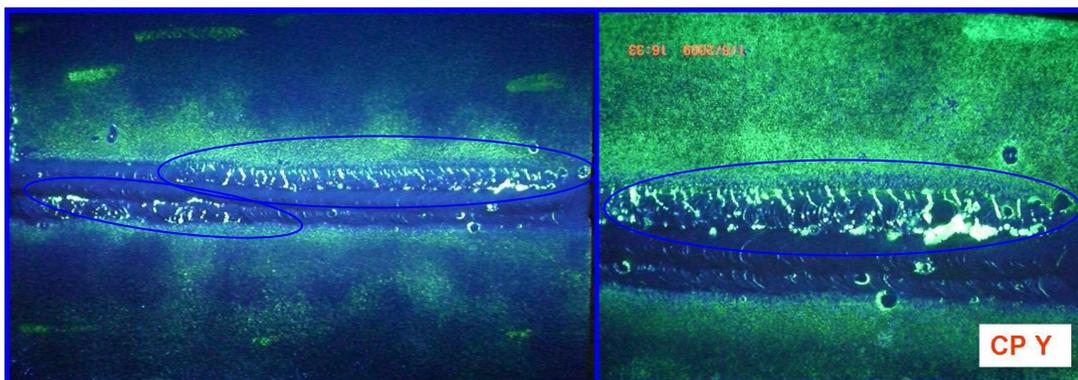


Figura 25 – Descontinuidades do CP Y – LP tipo I.

### 2.3 JATEAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram submetidos ao jateamento abrasivo grau Sa 2½ (metal quase branco), que é o mais utilizado na indústria. Foram utilizadas granalhas de aço e areia. Na Figura 26, observa-se demonstração mais detalhada dos corpos de prova jateados.

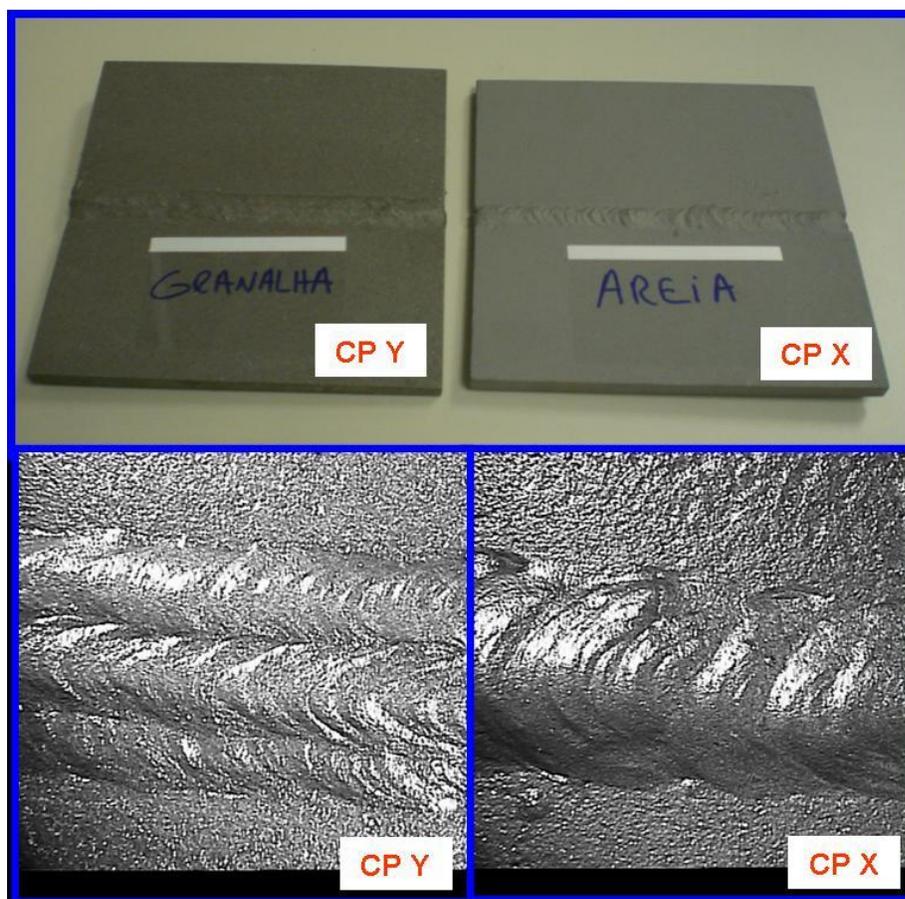


Figura 26 – Corpos de prova jateados.

## 2.4 ENSAIO DE LP NOS CORPOS DE PROVA APÓS JATEAMENTO

O ensaio por Líquido Penetrante após jateamento foi realizado utilizando a mesma metodologia aplicada nos corpos de prova sem jateamento.

No primeiro momento foi feito o ensaio de LP no corpo de prova bruto de jateamento, ou seja, o aspecto rugoso apresentado na superfície do corpo de prova em função do impacto do jato abrasivo no processo do jateamento, depois foi repetido o ensaio de LP utilizando a escova de aço rotativa para remover a rugosidade excessiva ocasionada pelo processo de jateamento.

No corpo de prova bruto de jateamento não foi realizado o ensaio de LP tipo I – Fluorescente por causa da rugosidade excessiva da peça o que impossibilitaria uma adequada revelação das discontinuidades. A seguir são

apresentados os resultados obtidos. A Figura 27 apresenta a interpretação dos resultados dos CP X e CP Y e nas Figuras 28, 29, 30 e 31 uma visualização mais ampliada das interpretações dos resultados dos CP X e CP Y através do LP após jateamento:

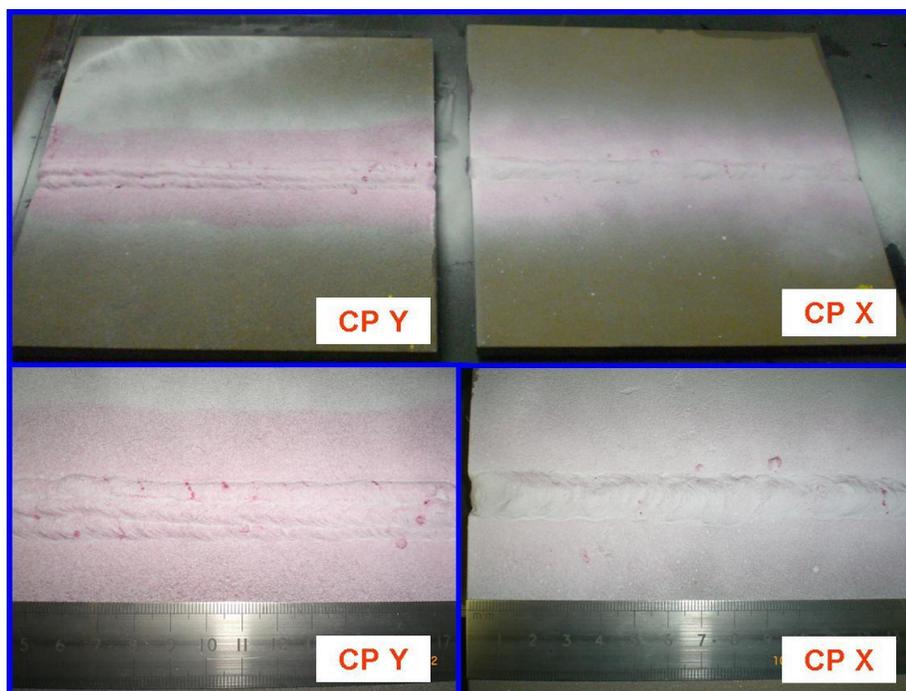


Figura 27 – Revelação de descontinuidades nos CPs jateados – LP tipo II.

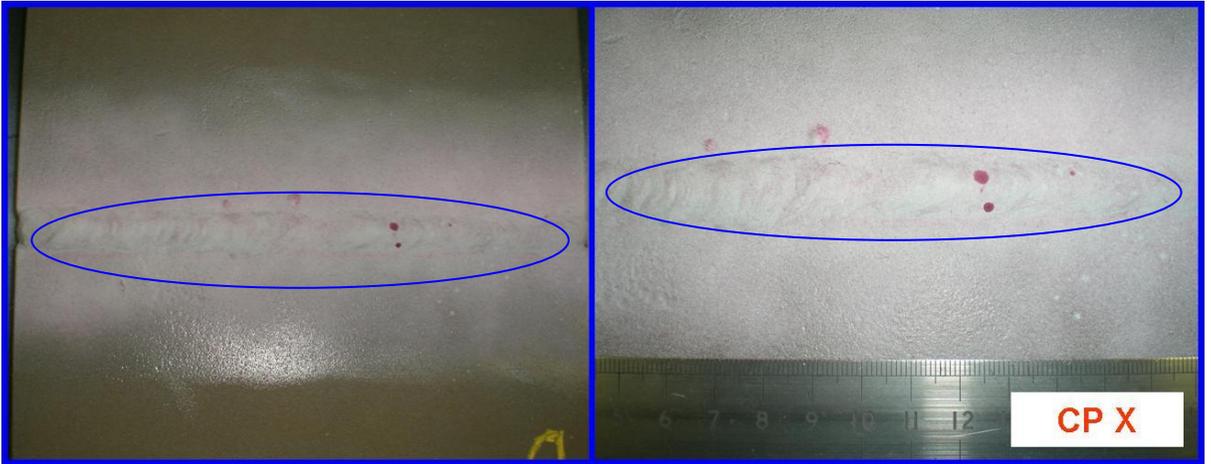


Figura 28 – Descontinuidades do CP X Jateado – LP tipo II.

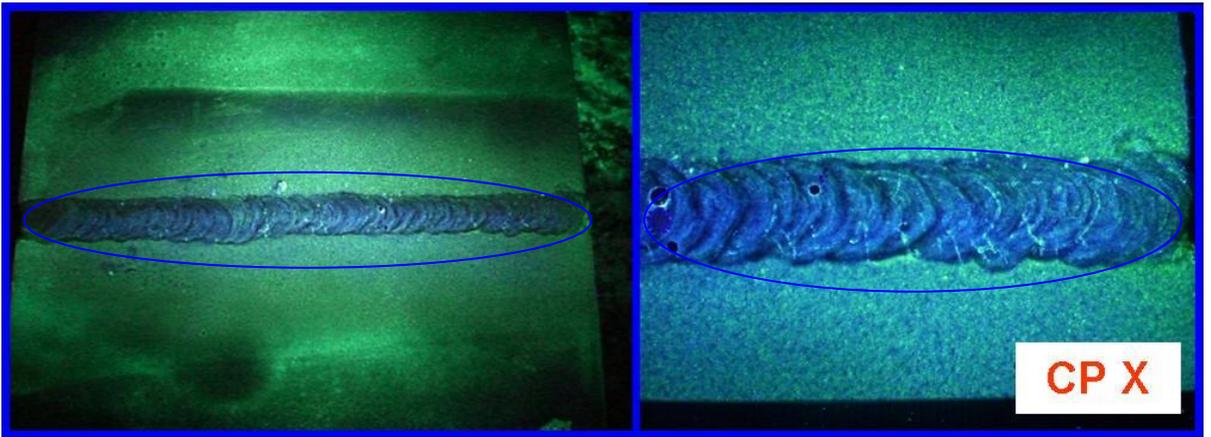


Figura 29 – Descontinuidades do CP X Jateado – LP tipo I.

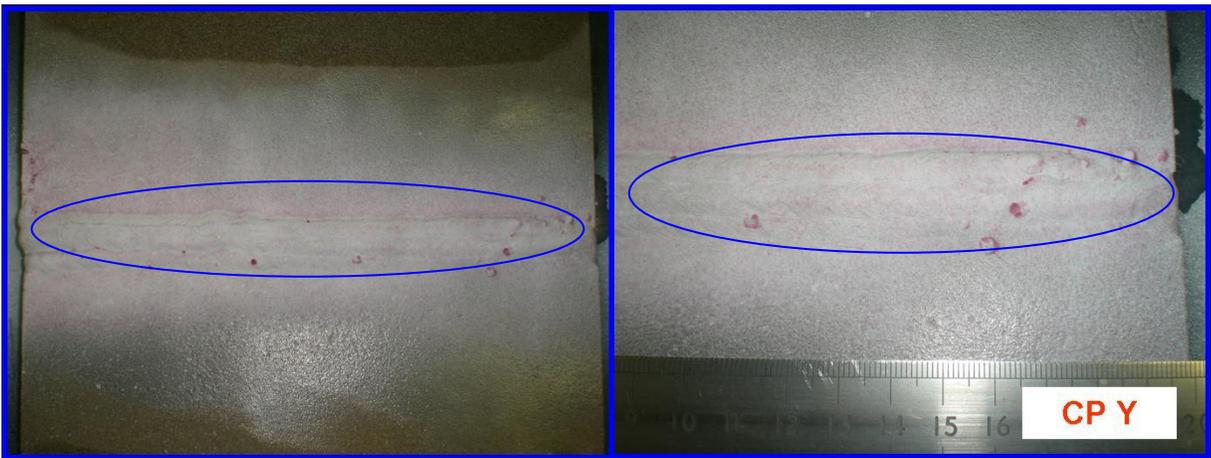


Figura 30 – Descontinuidades do CP Y Jateado – LP tipo II.

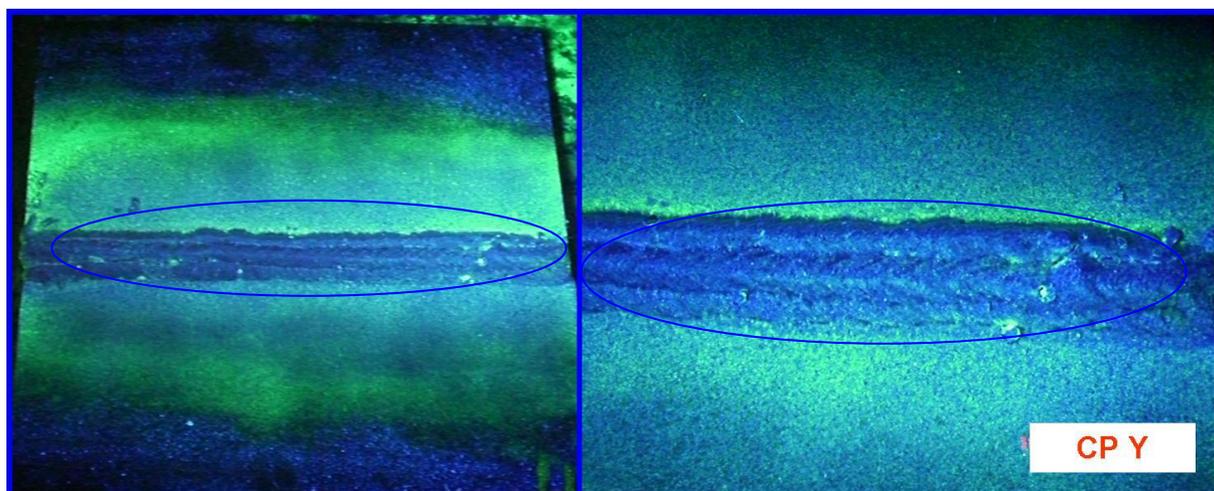


Figura 31 – Descontinuidades do CP Y Jateado – LP tipo I.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

O registro fotográfico demonstra claramente que o jateamento influencia na sensibilidade de detecção de descontinuidades superficiais através do ensaio de LP. Foram registradas as descontinuidades reveladas no primeiro ensaio nas peças soldadas antes do jateamento, podem ser observadas diversas trincas transversais e longitudinais na solda dos dois corpos de prova. Após o jateamento, foi realizado o ensaio de LP tipo II, e devido à rugosidade excessiva da peça, não foi possível uma adequada remoção do excesso de penetrante, ocasionando um “mascaramento” na revelação da região inspecionada. Portanto, optou-se por não realizar o ensaio de LP tipo I nestas condições de rugosidade. A partir desse fato, foi realizado o escovamento rotativo na área de interesse da peça, deixando-a preparada para um adequado ensaio de LP, o qual foi realizado em seus dois tipos I e II. Na revelação dos resultados do ensaio de LP tipo II, não foram encontradas as descontinuidades esperadas, a partir disso, realizou-se o ensaio de LP tipo I, fluorescente, que é mais sensível que o colorido e mesmo assim as descontinuidades não foram reveladas, como pode ser observado a seguir. As comparações dos resultados obtidos através do LP são observadas nas figuras 32, 33, 34 e 35.



Figura 32 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP X sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo II.

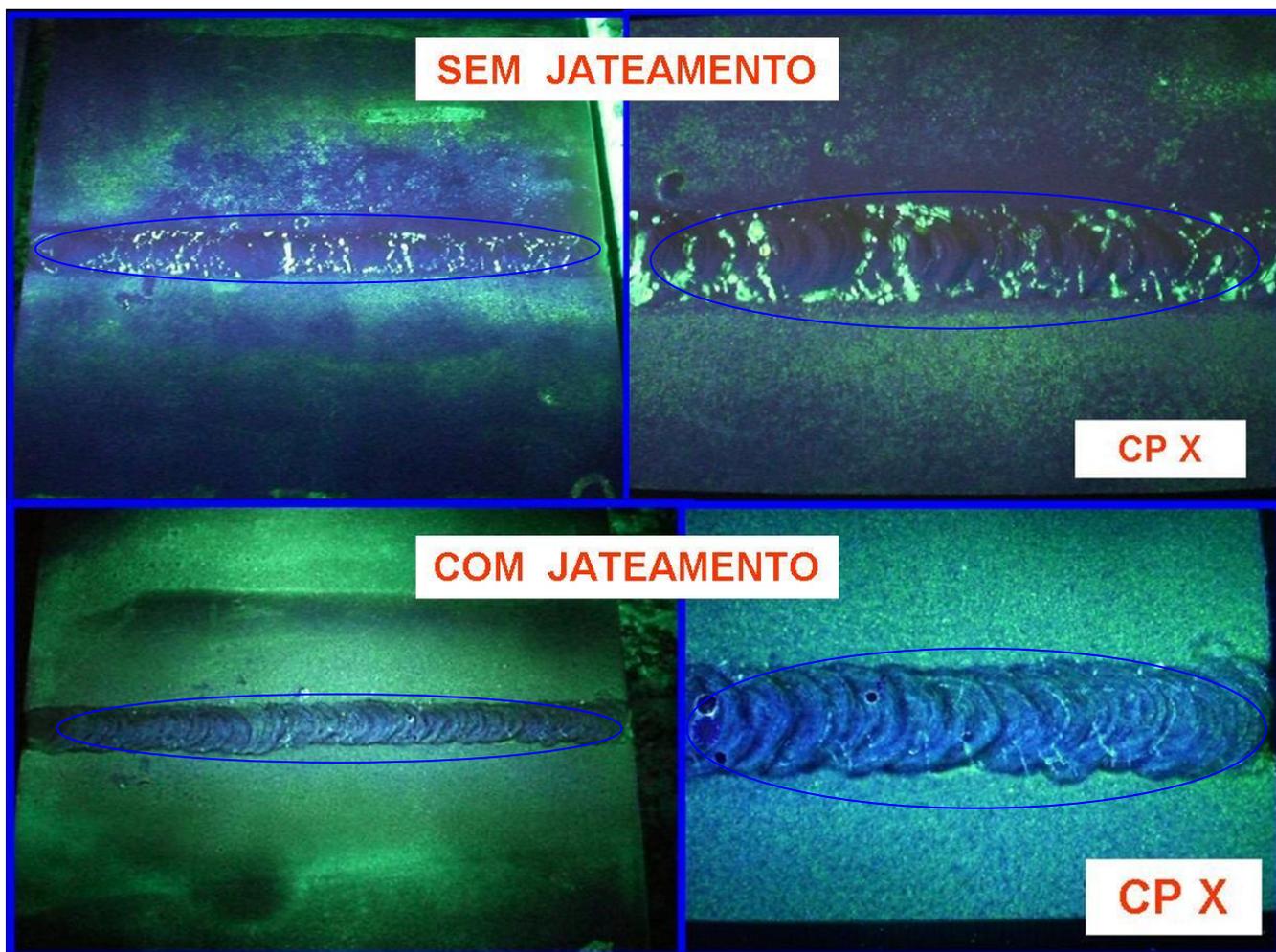


Figura 33 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP X sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo I.

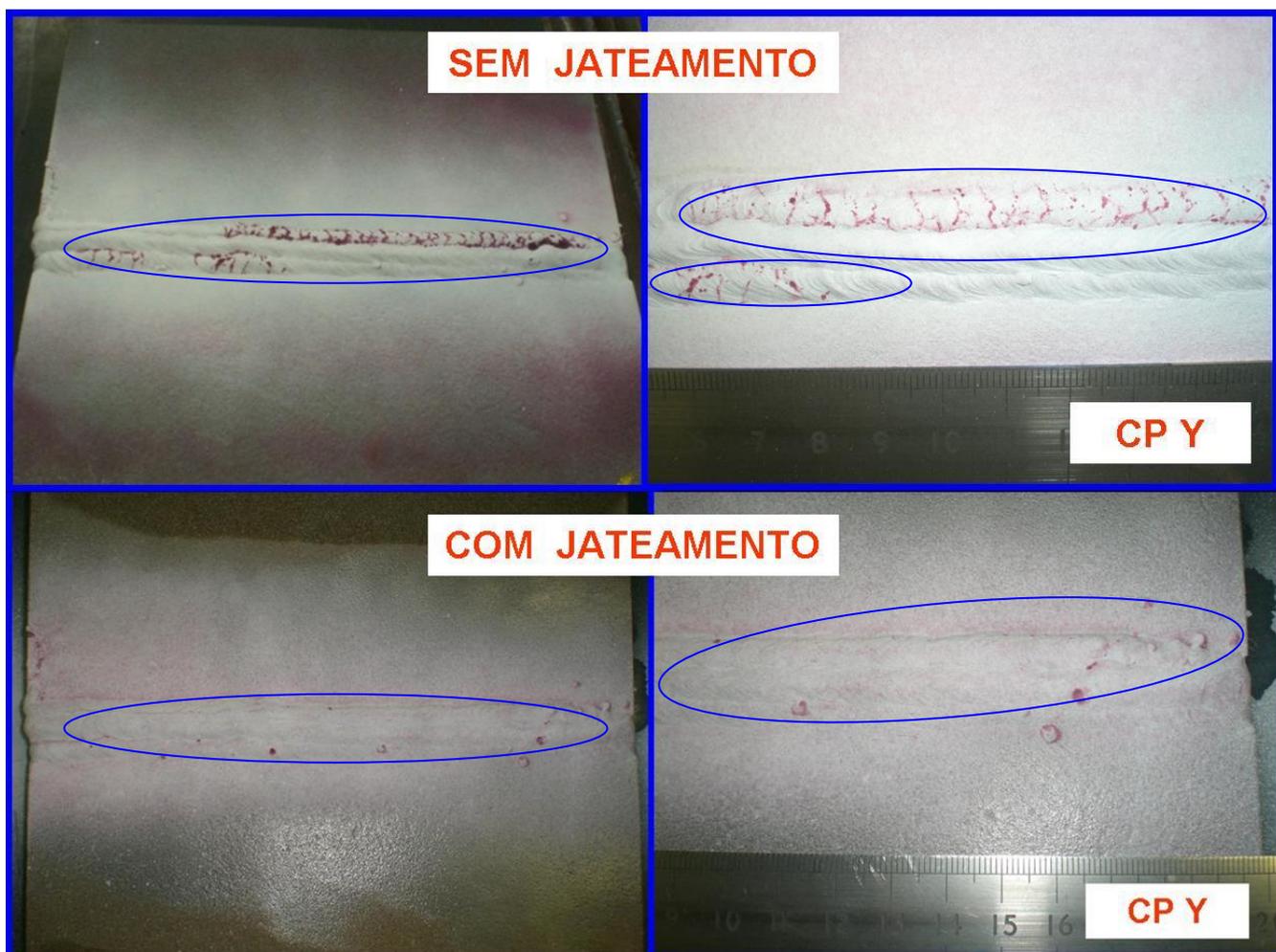


Figura 34 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP Y sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo II.

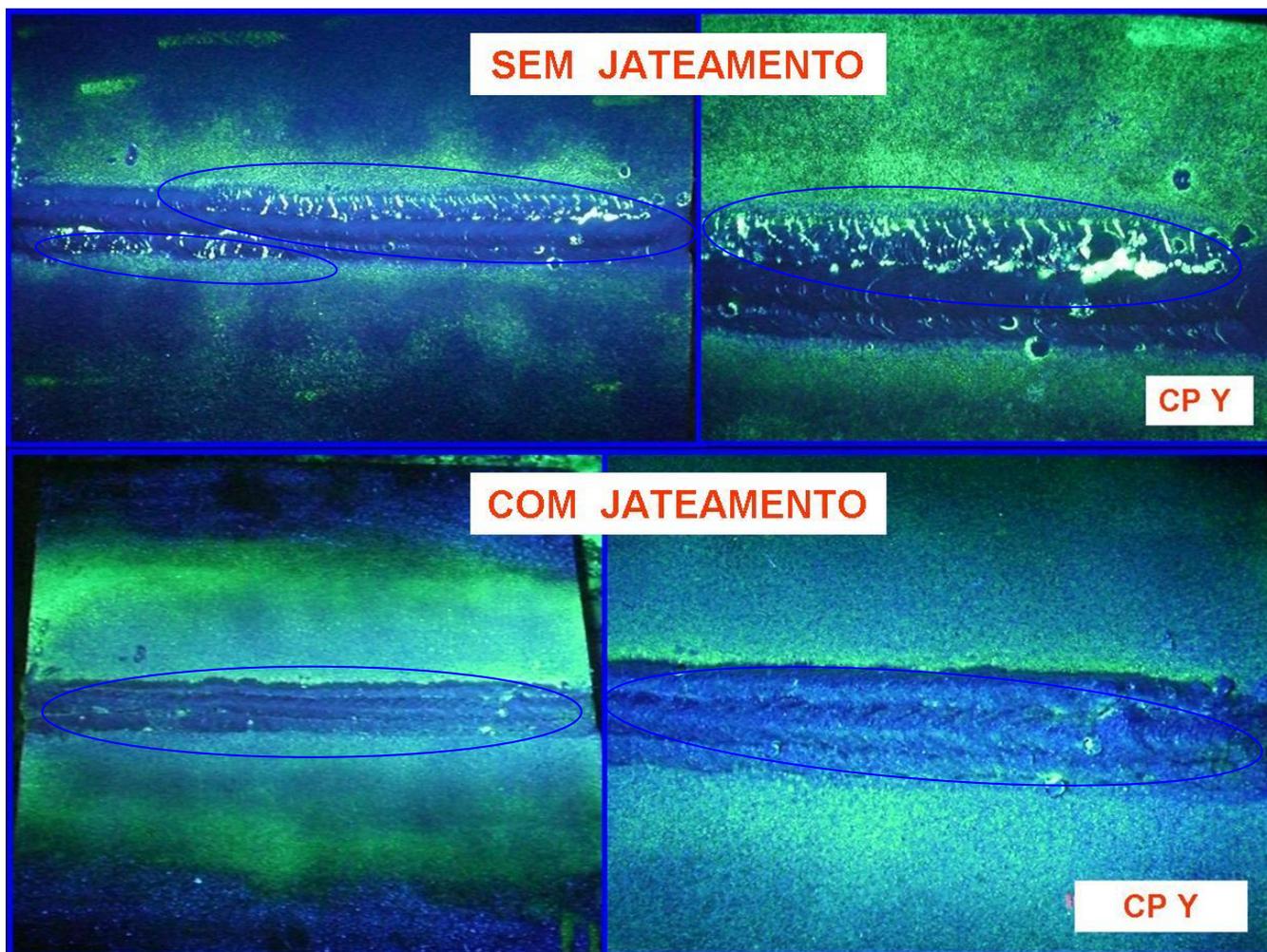


Figura 35 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios realizados no CP Y sem jateamento e depois de jateado e escovado – LP tipo I

## 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se que, de fato, o jateamento abrasivo tem efeitos sobre a sensibilidade de detecção de descontinuidades abertas para a superfície através do ensaio de Líquido Penetrante. As trincas encontradas anteriormente na solda dos dois corpos de prova foram obstruídas pelo jateamento impossibilitando a penetração do líquido nas trincas.

Esta constatação respalda a recomendação de procedimentos tais como a norma Petrobrás N-1596 – Ensaio Não-destrutivo Líquido Penetrante, que limitam a utilização do jateamento antes do ensaio de Líquido Penetrante, permitindo-o apenas após o esmerilhamento ou a usinagem da peça jateada.

### 4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar ensaio por LP em superfície jateada e posteriormente usinada ou esmerilhada.
- Realizar os mesmos procedimentos de preparação de superfície usados neste trabalho para corpos de prova com defeitos induzidos submetê-los a processo corrosivo e comparar a probabilidade de detecção pelo ensaio de LP.
- Verificar o efeito do jateamento no fechamento de descontinuidades abertas à superfície.
- Verificar a influência dos vários graus de jateamento sobre a detecção de descontinuidades através do ensaio de Líquido Penetrante.
- Verificar se o uso da preparação da superfície por jateamento ou do esmerilhamento antes da aplicação do ensaio por Líquido Penetrante é aplicado também a outros materiais metálicos.

## REFERÊNCIAS

ABENDI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **PR 050 - Procedimento de END - Ensaio Visual e Dimensional de Soldas Rev. 1.** São Paulo, 2004.

----- **END - Ensaio não destrutivo.** São Paulo, 1996.

ABTS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE. **Tratamento de Superfície.** Nº 136, 2006.

ALMEIDA, Filomena P.; BARATA, J.; BARROS, P. **Ensaio não destrutivo - ISQ.** 1992.

ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos penetrantes.** São Paulo, 2008.

BOROSCÓPIO. Disponível em: < <http://www.answers.com/topic/borescope> > Acesso em: 11 mar. 2009.

ENSAIOS líquidos penetrantes. Disponível em: < [http://www.ccisp.com.br/ensaios\\_lp.asp](http://www.ccisp.com.br/ensaios_lp.asp) > Acesso em: 09 jan. 2009.

LIQUIDOS penetrantes. Disponível em: <<http://copertec-piracicaba.blogspot.com/2008/11/liquididos-penetrantes.html>> Acesso em: 11 jan. 2009.

COPENE. **Ensaio por líquido penetrante.** São Paulo, 1986.

ENSAIO por partícula magnética. Disponível em: < <http://www.emmapro.com.br/ensaios.htm> > Acesso em: 11 mar. 2009.

ENSAIO por ultrassom. Disponível em: < <http://tubonal.com.br/certificacao.html> > Acesso em: 11 mar. 2009.

ENSAIOS Não Destrutivos. Disponível em: <<http://www.qualidadeaeronautica.com.br/princ.LP.htm>> Acesso em: 25 mar. 2009.

END - Ensaio Não Destrutivo. Disponível em: < [http://www.koende.com.br/downloads/Resumo\\_END.pdf](http://www.koende.com.br/downloads/Resumo_END.pdf) > Acesso em: 25 mar. 2009.

Disponível em: < <http://www.eteu.com.br/> > Acesso em: 11 mar. 2009.

SENAI-DR BA.. **EVS** – Ensaio Visual de Solda. Salvador, 2002.

INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS, **Electrochemical treatment of welded seams before penetrant testing**. Journal of Nondestructive Testing, v. 43, n. 5, p. 348–351, 2007.

INTRODUÇÃO Geral ao Sistema de Jateamento. Disponível em: < <http://www.cym.com.ar/portugues/informes/jateamento-introducao.pdf> >. Acesso em: 02 fev. 2009.

KOLESNIKOV, I. V. et al. **Nondestructive testing of drilling equipment components**. Materials and Design. p. 492–500, 2006.

JATEAMENTO. Disponível em: <<http://www.chuman.com.br/catalogos/granulom.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2009.

S. JÚNIOR, Silvério. F. MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Ensaio não destrutivos**. Belo Horizonte, 2006.

Migun, Gnusin, Volovich. **Some possibilities of Enhancing the Efficiency of Penetrant Inspection** Russian Journal of Nondestructive Testing. v. 41, n. 7, p. 452–455, 2005.

Petrobras. **N 1956 - Rev. D - Ensaio Não Destrutivo Líquido Penetrante.**, 1986.

Disponível em: < <http://www.senai.fieb.org.br/img/infra/lab-sold2%20c> > Acesso em: 11 jan. 2009.

Disponível em: < <http://www.temaflux.com/html/penetrants.html> > Acesso em: 11 mar. 2009.

GLAZKOV, Yu.A.. **Engineering Features of Preparing Parts for Inspection via Penetrant Luminescence Methods**, Journal of Nondestructive Testing, v. 42, n. 8, p. 544–550, 2006.