

CARACTERIZAÇÃO DE SOLDAS MOLHADAS PELA TÉCNICA DE MICROTOMOGRAFIA DE RAIOS X

CHARACTERIZATION OF WELDS WET BY THE X RAY MICROCOMPUTED TOMOGRAPHY

Murilo Oliveira Sousa, murilo-oliveirarj@hotmail.com

Sidnei Paciornik

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

Submetido em 10/10/2016

Revisado em 12/10/2016

Aprovado em 25/11/2016

Resumo: O presente trabalho de iniciação científica tem como proposta a caracterização de inclusões em soldas molhadas através do emprego de técnicas de processamento e análise digital de imagens (PADI), obtidas com a técnica de microtomografia computadorizada (μ CT).

Palavras chave: Solda. Microtomografia. PADI. Inclusão.

Abstract: The aim of the present scientific initiation work is the characterization of inclusions in wet welds, using techniques of processing and analysis of digital images (PADI), captured using a computational microtomography technique (μ CT).

Keywords: Weld. Microtomography. PADI. Inclusion.

Introdução

A soldagem subaquática molhada (ou simplesmente soldagem molhada) é um processo que ocorre debaixo d'água e em contato com o meio aquoso. Em consequência de vários fatores como a interação poça de fusão e meio, composição de revestimento do eletrodo (adotou-se a técnica eletrodo revestido na pesquisa) e da profundidade do processo, surgem defeitos indesejáveis que podem afetar as propriedades mecânicas do material soldado. Os defeitos de interesse são as inclusões, que são óxidos presentes no metal de solda. Dependendo da composição do revestimento do eletrodo, pode-se ter óxido de manganês, óxido de silício, óxido de titânio, óxido de ferro, etc.

Métodos

O início da pesquisa deu-se com a obtenção de uma amostra de solda subaquática molhada (código 1E3) soldada a 0,5 metros de profundidade. A composição do revestimento do eletrodo utilizado na operação foi de 5% de rutilo (TiO_2), 25% de hematita (Fe_2O_3), 40% de sílica (SiO_2) e 20% de outros compostos. Com o intuito de testar e explorar a resolução do tomógrafo para corpos pequenos e com a geometria não uniforme, o corpo de prova foi cortado e usinado na forma de 1 cilindro com diferentes diâmetros (Figura 1), 2 mm (Topo), 3 mm (Meio) e 4 mm (Base). A altura de 15 mm foi mantida nas três regiões.



Figura 1: Amostra 1E3 após a tomografia e sem parte da base.

A técnica de aquisição de imagens utilizada foi a microtomografia computadorizada (μ CT). Ela é uma técnica nova no estudo de soldas molhadas, por isso um dos objetivos da pesquisa é testá-la. Com foco na análise de materiais de forma geral, a μ CT vem sendo utilizada pelo seu fácil manuseio e acesso, resultados rápidos e confiáveis, pelo fato de ser uma técnica não destrutiva, por permitir uma visualização em 3D de estruturas internas com precisão de micrômetros e não necessitar de qualquer tipo de preparação física ou química. As microtomografias de raios X utilizadas na pesquisa foram obtidas em um microtomógrafo de raios X computadorizado modelo Zeiss-XRadia Versa 510. Tal técnica permite a obtenção de centenas a milhares de projeções. Para a pesquisa, capturou-se aproximadamente 3200 projeções em cada região da amostra (Topo, Meio e Base) com uma resolução de 2,27 μ m.

Em seguida, as imagens oriundas da μ CT passaram por um processamento e análise digital de imagens (PADI). O PADI baseia-se na utilização de operações matemáticas para alterar os valores dos pixels de imagens digitais, modificando-as, para facilitar sua visualização e/ou para proceder à extração de dados quantitativos. As ferramentas utilizadas nesse processo foram: o FIJI, um programa livre que contém o software ImageJ, e o ORS (Object Research Systems) um software que permite visualização e análise em 3D. Estes programas dispõem de uma variedade de comandos de PADI. Com isso, desenvolveu-se uma rotina no FIJI e/ou ORS para medir o tamanho e as formas das inclusões. Os procedimentos de PADI podem ser separados em etapas de acordo com a necessidade. A Figura 2 mostra a sequência padrão, as etapas de pós-processamento e reconhecimento de padrões e classificação não foram executadas na pesquisa.

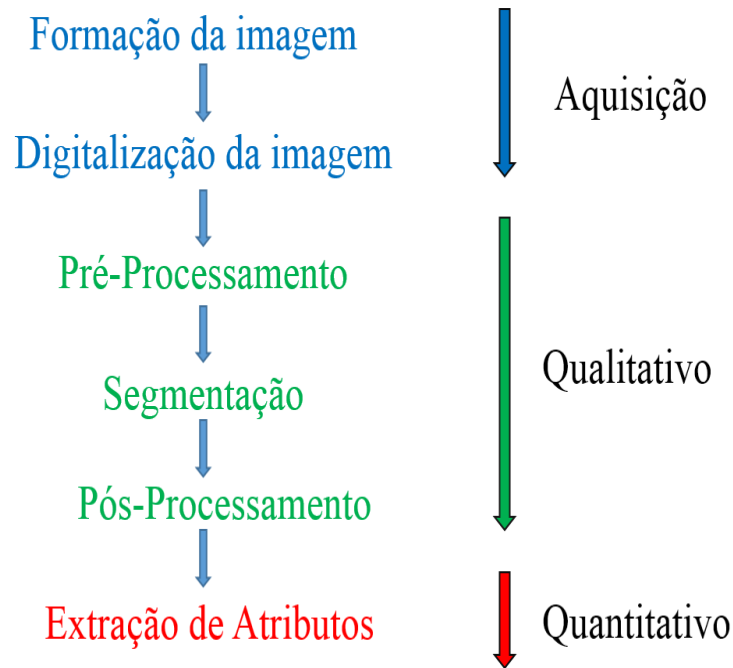


Figura 2: Sequência padrão do PADI.

O pré-processamento é a etapa do PADI que visa melhorar a imagem, corrigindo defeitos originados durante a sua aquisição e realçando detalhes de interesse. Há uma grande variedade de procedimentos de correção e realce nesta etapa, tais como manipulação do brilho e do contraste, correção de iluminação irregular, redução de ruído, entre outros.

Como as três regiões possuem diâmetros diferentes e deseja-se compará-las, delimitou-se uma área circular de interesse para preservar o volume analisado. Para tal ação, criou-se uma Macro para gravar todos os comandos executados. Em seguida, utilizou-se um comando manual para delimitar um círculo na região do topo, com raio de 1mm. Com a mesma região de interesse selecionada nas três regiões, aplicou-se um Crop nas imagens. Feito isso, recorreu-se ao comando Clear Outside para excluir tudo que não estivesse dentro da região delimitada. A Figura 3 ilustra tais procedimentos.

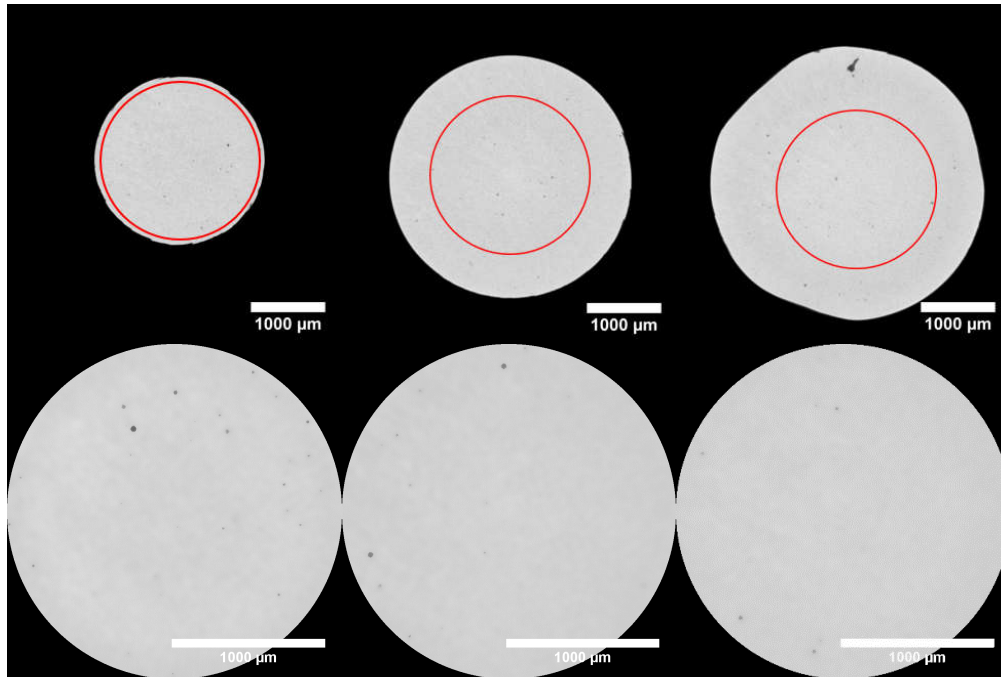


Figura 3: Seleção da região de interesse.

Notou-se que a pilha de 3000 imagens vindas do tomógrafo possui muito ruído. Por conta disso, aplicou-se um filtro espacial eliminador de ruído. Os filtros espaciais ou operações locais, são operações onde o tom de cinza de um determinado pixel na imagem de saída é função não apenas de seu tom de cinza na imagem de entrada, mas também dos tons de cinza de seus pixels vizinhos nesta imagem. Tal operação é realizada através do cálculo de uma média ponderada dos pixels da região de interesse, onde cada vizinho tem um peso associado que é definido pelos elementos de uma matriz, denominada Kernel. Neste trabalho, utilizou-se o filtro Non-local Means (NLM). Diferentemente dos filtros de média local, ele calcula o pixel da imagem de saída fazendo uma média de todos os pixels da imagem de entrada, com um peso proporcional à similaridade de cada região com a região que contém o pixel original. Para reduzir o máximo de ruído possível sem perder dados da imagem, testou-se diferentes valores do parâmetro Sigma (desvio padrão) até chegar em um resultado razoável. A Figura 4 ilustra tal processo.

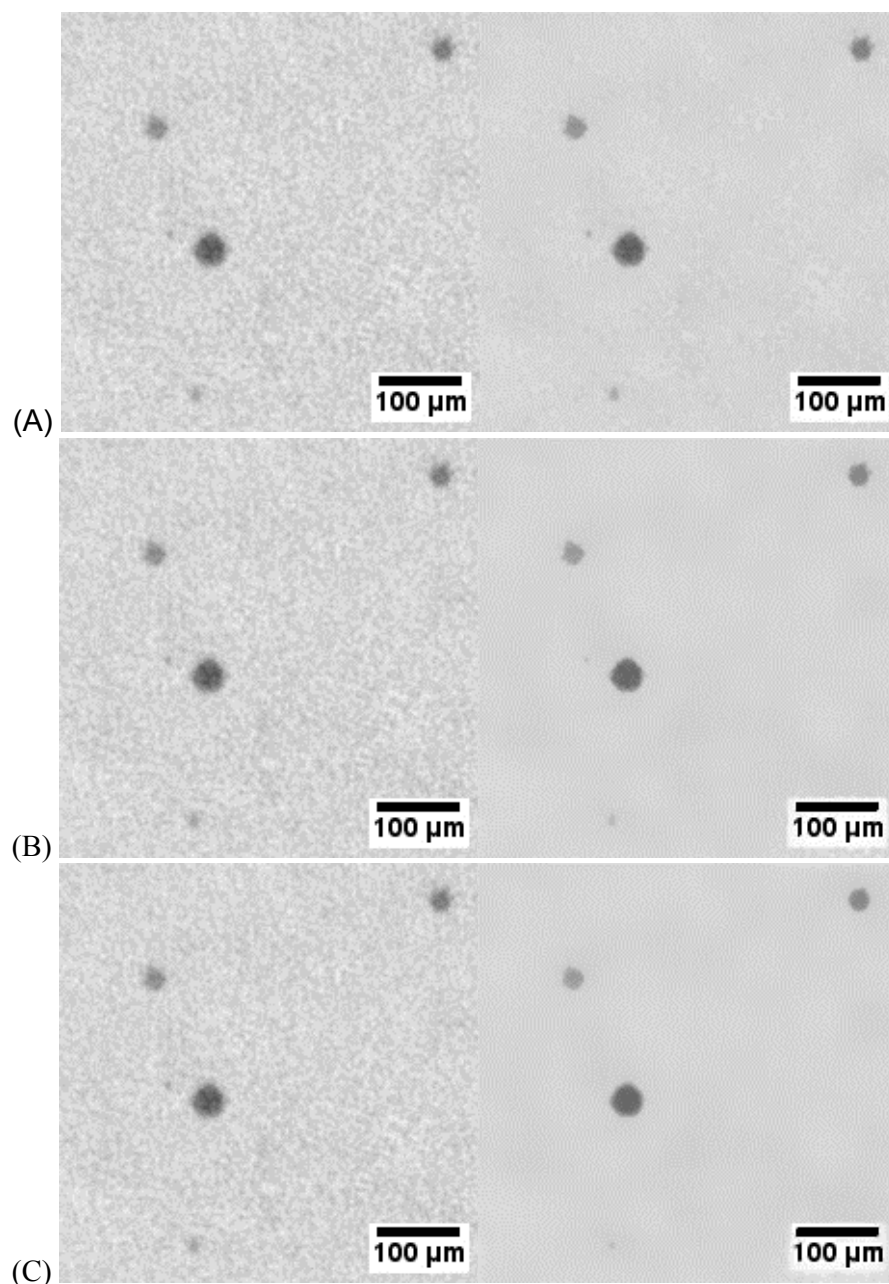
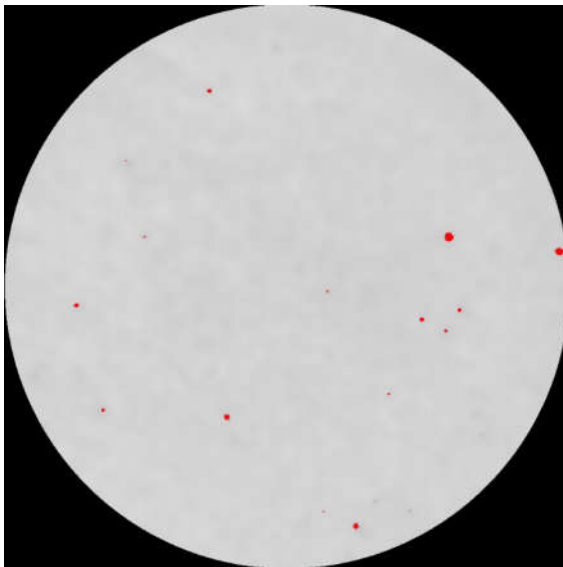


Figura 4: Aplicação do filtro non-local means. Imagens originais (esquerda) e filtradas (direita). (A) Sigma=9; (B) Sigma=15; (C) Sigma=21.

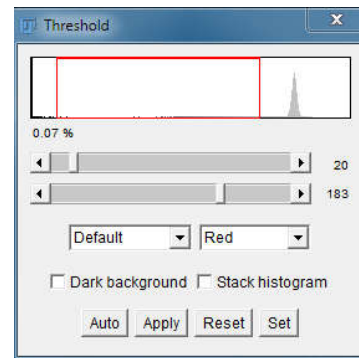
O objetivo do presente trabalho é caracterizar as inclusões de uma determinada amostra. Para isso, é preciso separar as partículas do fundo. Depois de delimitar uma região de interesse e aplicar o filtro eliminador de ruído, o próximo passo foi segmentar o conjunto de imagens. A segmentação é a etapa mais crítica do PADI, pois não existe um modelo formal de segmentação e é através dela que se reconhece os objetos de interesse, sobre os quais será feita

a análise. A segmentação tem como produto uma imagem binária, onde os pixels pretos representam o fundo e os pixels brancos são considerados os objetos. Existem diversas técnicas de segmentação. A utilizada na pesquisa foi a segmentação por faixa tonal, também chamada de limiarização ou thresholding. O processo consiste na análise do histograma da imagem. Nele, escolhe-se uma faixa tonal delimitada a partir de um limiar ou tom de corte. Utilizou-se a interface Threshold do FIJI e selecionou-se, manualmente, um tom de corte (threshold). Além do método manual, há também métodos automáticos, no qual o operador utiliza um dos métodos já predefinido para obter o threshold desejado, sem depender da intervenção humana.

(A)



(B)



(C)



Figura 5: (A) Imagem com um Threshold definido; (B) Histograma com um tom de corte; (C) Imagem Binária resultante da segmentação.

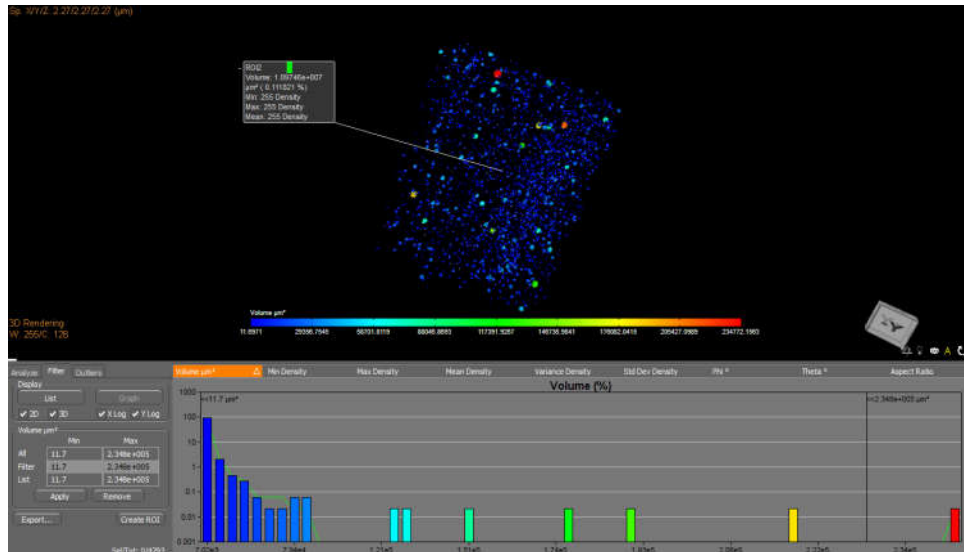
A Figura 5-A mostra os objetos, em vermelho, que serão segmentados. A seleção das partículas se deu através de um limiar de acordo com a Figura 5-B. Nela, o retângulo de arestas vermelhas representa a região tonal que será segmentada. A Figura 5-C mostra o resultado da segmentação, onde a imagem possui apenas dois tons, 0 (preto) e 255 (branco), ou seja, uma imagem binária. O processo de segmentação descrito anteriormente foi aplicado no conjunto de imagens do Topo, do Meio e da Base, escolhendo manualmente um tom de corte para as 3000 camadas da amostra. Com isso, a etapa de PDI termina aqui, tendo todos os comandos feitos no FIJI.

Optou-se em fazer a etapa de extração de dados no ORS. O ORS é um software avançado de análise 2D e 3D que visualiza, manipula e analisa imagens adquiridas por μ CT, microscopia ótica e eletrônica, entre outras modalidades. É particularmente adequado para análise e visualização 3D. Isso fez com que ele tivesse uma larga aplicação nos campos da biomedicina, construção civil, engenharia de reservatórios de petróleo, entre outros. O conjunto de 3000 imagens binárias, 1000 do Topo, 1000 do Meio e 1000 da Base, foram abertas no ORS em formato TIFF e, separadamente, foram reconstruídas em uma imagem em 3D com uma escala de $2,27 \mu\text{m}$ por pixel. Como a análise é em 3D, fica mais conveniente trabalhar com voxels. Voxel é uma representação do pixel em um espaço tridimensional. Sendo assim, o menor voxel analisado possui um volume de aproximadamente $11,70 \mu\text{m}^3$ ($2,27^3$).

Discussão

As inclusões de óxidos são partículas com volume da ordem de $20 \mu\text{m}^3$. A Figura 6 ilustra muito bem isso, há mais objetos azulados e próximos de 1 voxel ($11,70 \mu\text{m}^3$). Outro parâmetro muito importante para a pesquisa é razão de aspectos (Aspect Ratio), razão entre o menor e o maior diâmetro de um objeto. Se o objeto tiver um Aspect Ratio perto de 1, terá características geométricas semelhantes à de uma esfera. E se o Aspect Ratio for próximo de 0, ele será

classificado como uma partícula alongada. A principal característica das inclusões é que elas são aproximadamente esféricas, então é de se esperar que a maior parte dos objetos segmentados no FIJI e analisados no ORS estejam entre 0,5 e 1. E é o que a Figura 7 mostra de forma qualitativa, já que a maioria das inclusões tem cores na faixa verde-amarela, correspondente a valores de razão de aspecto maiores que 0,5. Os objetos de 1 ou 2 voxels, em geral, têm pior resolução de medida e tendem a razões de aspectos pequenas. Em consequência disso, a Figura 15 apresenta um pico acentuado na região azul escuro.



Figuras 6: Tabela de cores e histograma representando a distribuição de volume das inclusões do TOPO.

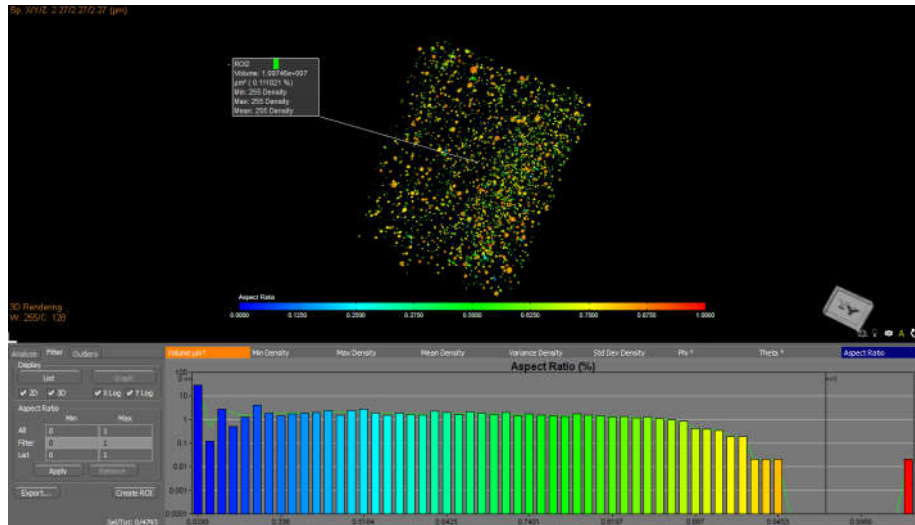


Figura 7: Tabela de cores e histograma representando a distribuição da Aspect Ratio das inclusões do TOPO.

Resultados

Como já foi comentado, objetos de 1 ou 2 voxels tendem a ter razão aspecto pequena por conta da imprecisão de medida. Em consequência, optou-se por uma filtragem (Tabela 2). Nota-se na Tabela 2 um crescimento da razão de aspecto média quando objetos pequenos são eliminados. Tal distribuição não está compatível com o que a teoria de soldagem molhada prevê. As inclusões são partículas aproximadamente esféricas, ou seja, com Aspect Ratio próximo de 1. A explicação para tal discrepância está no fato de que para objetos pequenos, a resolução de medida é imprecisa e também pela possível distorção das partículas causada pela segmentação.

REGIÃO	VOXEL>0	VOVEL>1	VOXEL>2
TOPO	2314.0	2917.9	3241.7
MEIO	4446.2	5213.0	5700.1
BASE	942.6	1606.0	2122.9

Tabela 1: Valores médios de volume nas três regiões da amostra para diferentes intervalos de voxels.

Tabela 2: Valores médios de Aspect ratio nas três regiões da amostra para

REGIÃO	VOXEL>0	VOVEL>1	VOXEL>2
TOPO	0.399	0.555	0.595
MEIO	0.441	0.548	0.575
BASE	0.209	0.356	0,485

diferentes intervalos de voxels.

Conclusões

A microtomografia de raios X proporcionou uma visualização em 3D (mesmo com uma resolução inferior comparada com técnicas de microscopia ótica e eletrônica) que possibilitou uma análise do volume e da forma das inclusões. Estes parâmetros são de suma importância para a pesquisa, pois as inclusões são defeitos da ordem de 10 μm e a sua forma esférica é o principal parâmetro de distinção. Em seguida, desenvolveu-se uma rotina de processamento e análise de imagens para caracterizar as inclusões. Com isso, identificou-se que os defeitos predominantes da amostra (código 1E3) são as inclusões, representando aproximadamente 0,15% do volume total da solda. Resultado que é compatível com a teoria: eletrodos oxi-rutílicos operando em pequenas profundidades, com uma pequena porcentagem de rutilo e um elevado teor de hematita na composição do revestimento, depositam soldas com um alto índice de inclusões e sem trincas ou poros.

Referências

- 1- Gomes, Otavio da Fonseca Martins. **Processamento e Analise de Imagens Aplicados a caracterização Automática de Materiais**. Dissertação de Mestrado, PUC-RIO,2001.
- 2- Dos Santos, Valter Rocha. **Apostila de Introdução a soldagem Subaquática**.
- 3- Alves, Haimon Diniz Lopez. **Metodologia de microtomografia computadorizada com dupla energia para caracterização mineralógica de rochas**. Tese de Doutorado, UFRJ/COPPE, 2015.
- 4- Paciornik, Sidnei and Marcos H. de P.Maurício. **Digital Imaging**. Department of Materials Science and Metallurgy Catholic University of Rio de Janeiro.