

OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ATRAVÉS DO MÉTODO DE CORRELAÇÃO DE IMAGEM DIGITAL (DIC) UTILIZANDO-SE EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO.

Resumo: No ensaio de tração, na falta de instrumentos mais precisos, os dados de deformação são obtidos com base nos deslocamentos relativos das garras. Durante o ensaio esses dados são armazenados e apresentados em forma gráfica. Contudo, os dados coletados são decorrentes da deformação de todo sistema, garras e do corpo de prova, assim o valor do módulo de elasticidade apresentado não condiz com o valor exato do material. O método de correlação de imagens, do inglês Digital Image Correlation – DIC, usa procedimentos de rastreamento e registro de imagem para quantificar medidas superficiais de deslocamento e deformações, utilizando uma câmera para medições planares (2D) ou duas câmeras para medições espaciais (3D). Este trabalho utilizou equipamentos mais acessíveis e programas gratuitos visando a obtenção do módulo de elasticidade real em peças de alumínio submetidas a ensaios de tração, o método se mostrou mais eficiente que os valores obtidos diretamente pela máquina de ensaios universal, necessitando de estudos posteriores para o refinamento do método utilizado.

Palavras-chave: DIC. Módulo de elasticidade. Correlação de imagens. Tração.

1 INTRODUÇÃO

No ensaio de tração, os dados do carregamento são obtidos por uma célula de carga acoplada as garras de fixação dos corpos de prova, na falta de instrumentos mais precisos, os dados de deformação são obtidos com base nos deslocamentos relativos das garras. Durante o ensaio esses dados são armazenados e apresentados em forma gráfica, como máxima resistência a tração, tensão de escoamento, módulo de elasticidade, etc. Contudo, os dados coletados são decorrentes da deformação de todo sistema, garras e do corpo de prova, assim o valor do módulo de elasticidade apresentado não condiz com o valor exato do material. Esse valor é corrigido ao se utilizar um acessório do equipamento de ensaio acoplado para medições da deformação apenas da área útil ao corpo de prova.

Uma forma de se determinar o estado de tensões e deformações é a correlação de imagens, do inglês Digital Image Correlation – DIC, que é um dos métodos ópticos mais amplamente utilizados na mecânica experimental. Desenvolvida no início da década de 80, a técnica DIC usa procedimentos de rastreamento e registro de imagem para quantificar medidas superficiais de deslocamento e deformações, utilizando uma câmera para medições planares (2D) ou duas câmeras para medições espaciais (3D). O trabalho aqui realizado tem por objetivo a utilização da correlação de imagem digital 2D com equipamentos e programas mais acessíveis aos pesquisadores, visando a obtenção do módulo de elasticidade em peças de alumínio naval. Levando em consideração as discrepâncias que podem surgir nos dados das máquinas de ensaio de tração ou por erros no método de correlação de imagem, os valores obtidos serão analisados em relação a valores já obtidos experimentalmente.

2 MATERIAIS

Corpo de prova

Foram utilizadas 4 amostras de corpos de prova de alumínio Naval 5052H-34.

Câmera

A escolha da câmera, Canon, modelo EOS Rebel T5 de 18MP com uma lente do tipo EFS 18-55mm, foi feita levando em consideração a sua acessibilidade para os alunos, já que foi fornecida por empréstimo de um professor.

Vários dos programas comerciais utilizam câmeras com sensor de imagem CCD (Charge Coupled Device), os dispositivos de carga acoplada denominam uma tecnologia básica de operação, onde o sinal de cada pixel é passado para seu vizinho até ser direcionado para sua saída, além de possuir apenas um amplificador. No entanto, neste trabalho será usado o sensor CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), em que cada pixel possui seu próprio amplificador de sinal de imagem, independente, cujo processo de leitura acarreta menor interferência na imagem.

Tripé

Foi utilizado um tripé universal de alumínio para o devido posicionamento da câmera de modo a otimizar o ângulo de captura das imagens do corpo-de-prova e dar estabilidade à sequência de imagens.

Máquina de ensaios mecânicos

Se trata de uma máquina Servor-hydraulic Fatigue and Edurance Tester Shimadzu – 100KN, da marca Servopulser.

Fonte de luz

A fonte utilizada foi de LED, pois a quantidade de iluminação precisa ser suficiente para que as imagens sejam analisadas com precisão e captadas pelo programa.

Programas

Foram utilizados 3 programas: o de captura de imagens próprio da câmera; o software GOM para a análise e tratamento de imagens e dados, que é disponibilizado, na sua versão 2D, de forma totalmente gratuita pela empresa Vtech; Microsoft Excel para aquisição e também tratamento de dados;

Computador

Como esperado, alguns desses programas foram usados através de um computador, com sistema operacional Windows.

Tintas

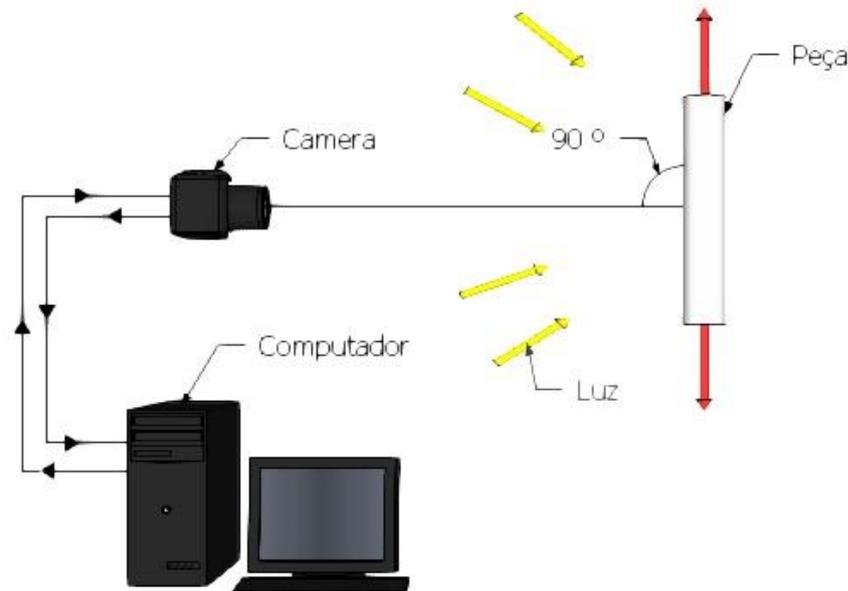
Tintas automotivas, de cor preta e branca, para pintura dos corpos-de-prova, mais adiante, será melhor compreendida a necessidade desse material.

3 MÉTODOS

Correlação de imagens digitais (DIC)

A execução do método é bem simples se comparados a outros métodos, a câmera digital é empregada para capturar a imagem da superfície, como falado anteriormente uma câmera dá o sistema bidimensional da peça, a imagem é armazenada a um computador através de uma placa de captura de vídeo, onde o sinal analógico da matriz do CCD (no caso do trabalho, se fez o uso do sensor CMOS) é digitalizado, os dados são então armazenados no HD e processados posteriormente (Barreto Jr, 2008). Este processo está representado na Figura 1.

Figura 1 - Equipamento típico usado na medição DIC.

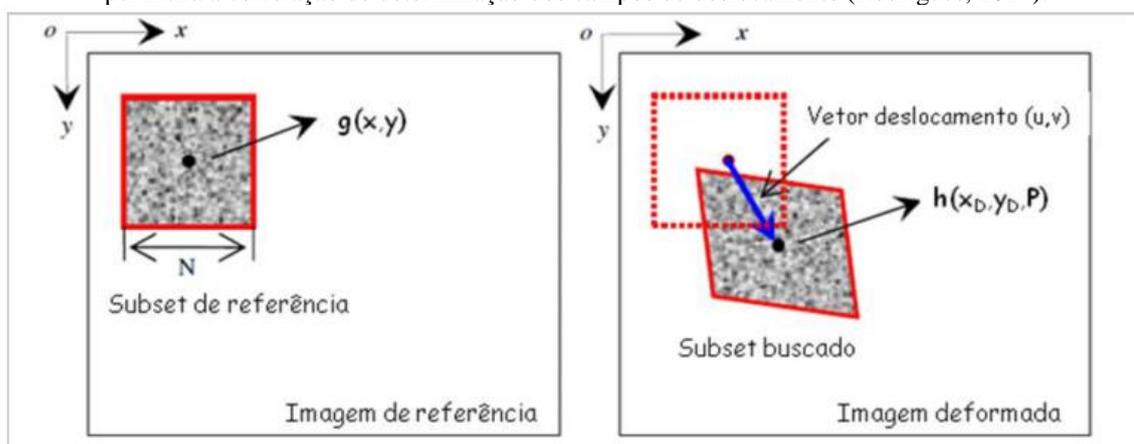


No caso o espécime é um corpo de prova de material metálico de alumínio, sofrendo uma deformação durante um ensaio de tração, o corpo de prova é primeiramente coberto com um padrão aleatório (pintura da peça, que será explicada posteriormente) de tons de cinza, e é capturado em dois estágios, antes e após sofrer o carregamento.

A imagem digital conterá a intensidade luminosa da localização de pixel na matriz do CMOS da superfície do espécime, antes e depois da deformação. O software de tratamento e análise de imagens relaciona as intensidades de luz de várias sub-regiões (subsets) que formam as imagens apresentadas na Figura 2.

O software utiliza algoritmos que correlacionam as distribuições de intensidades de luz (ou níveis de cinza) dos pixels contidos das subáreas das imagens antes e depois do carregamento (Rodrigues, 2014).

Figura 2- Esquemático das imagens deformadas e indeformada, já com um padrão de speckles que permitirá a correlação de determinação dos campos de deslocamento (Rodrigues, 2014).



Com a grande velocidade dos hardwares atuais, todas essas equações e cálculos interativos são resolvidos em poucos segundos para milhares de pontos (Rodrigues, 2014).

Princípios de pintura do corpo-de-prova

Para a formação das escalas de cinza, no corpo de amostra, é utilizado a sobreposição de tintas automotivas brancas e pretas, estas aplicadas a uma distância de 25 à 30 cm em um jato uniforme para evitar a formação de gotículas por excesso de tinta. Primeiro é aplicada a tinta branca, a peça passa por um período de cura de 60 minutos. A segunda etapa é a pulverização, com pequenos pontos de tinta preta em spray uniformemente distribuídos ao longo do material, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3. Corpo de prova após a pintura.

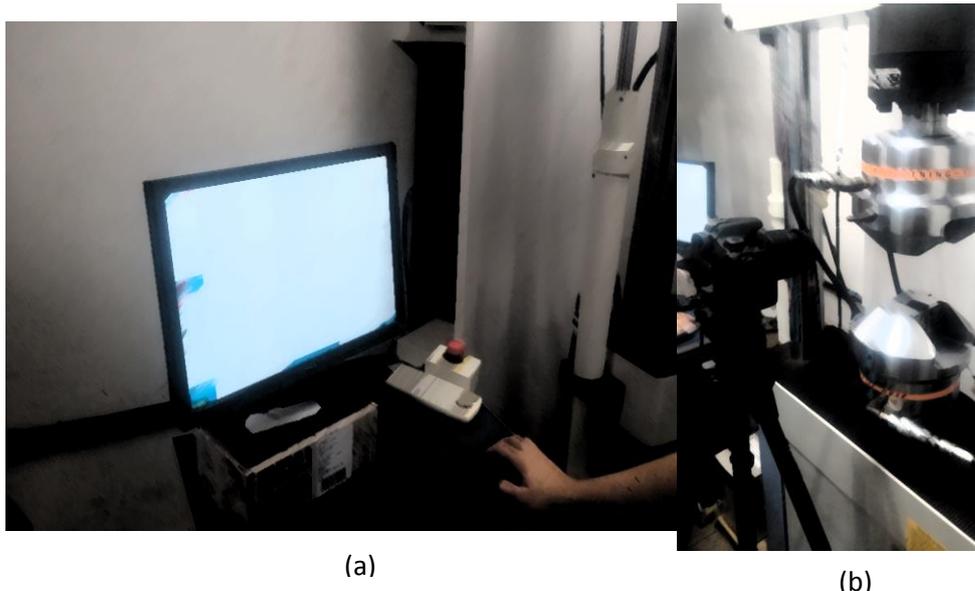


Fonte: Autoria própria.

Procedimentos experimentais

A câmera digital e uma fonte de luz de LED, foram montadas em um tripé ajustável em frente aos corpos de prova já posicionados na máquina para o ensaio de tração, a uma distância recomendada de 20 cm da peça, no caso deste trabalho o programa da máquina foi utilizado no lugar de uma placa de aquisição de imagens. O aparato utilizado pode ser visto na Figura 4(a) e 4(b).

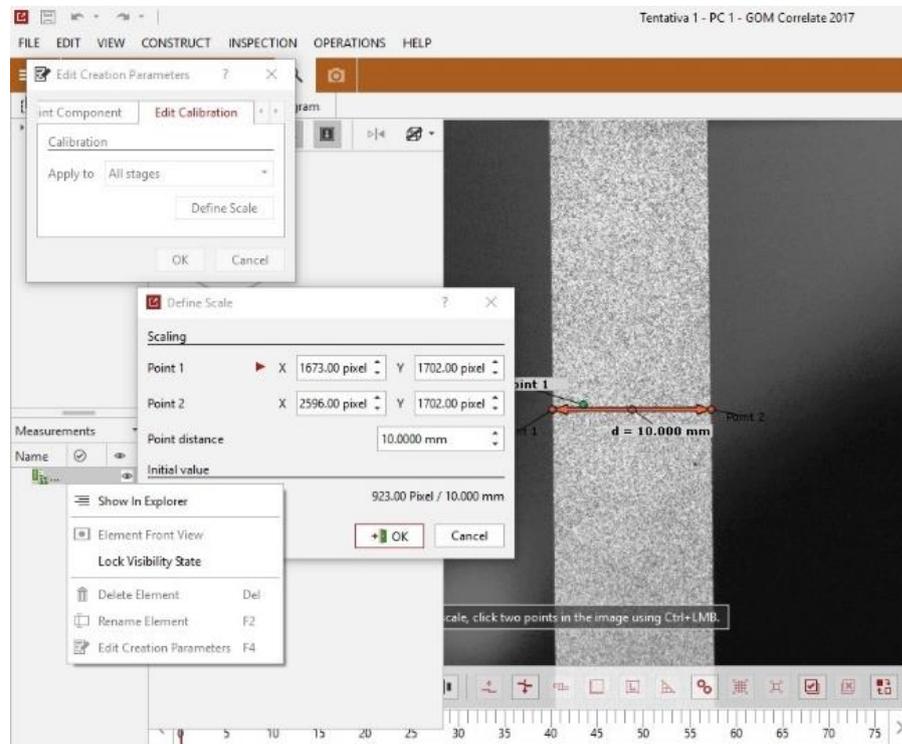
Figura 4 - Aparato experimental para coleta de dados do ensaio. a) computador para aquisição e tratamento de dados. b) câmera posicionada de modo a capturar as imagens do ensaio feito na Servopulser.



O programa GOM apresenta a função de um extensômetro que, como falado anteriormente, funciona correlacionando os níveis de cinza das imagens capturadas pela

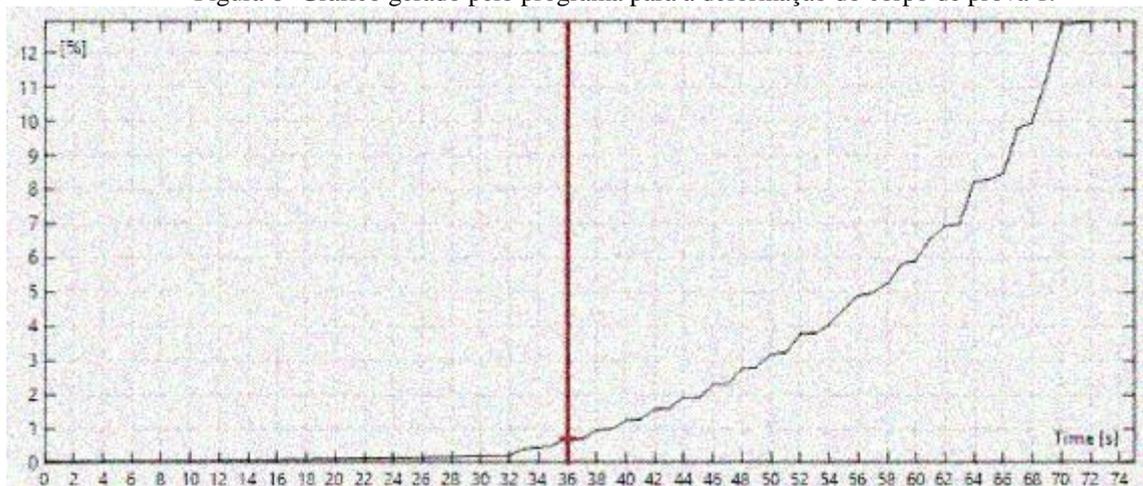
máquina para os pontos selecionados. De cada corpo de prova, foram utilizadas 30 imagens para a comparação das deformações pontuais.

Figura 5- Captura da tela do programa com as imagens para o cálculo da Deformação pontual.



O programa plota então em uma de suas barras o gráfico da peça com os valores de deformação, em porcentagem, pelo tempo, mostrado na Figura 6.

Figura 6- Gráfico gerado pelo programa para a deformação do corpo de prova 1.



Estes valores apresentam teoricamente o valor de deformação, em porcentagem, real da peça, visto que os valores fornecidos pela máquina de ensaio fornecem a deformação total do sistema.

O valor da tensão equivalente ao instante em que cada foto foi tirada foi obtido através do programa da máquina de ensaio e através da Lei de Hooke "Equação 1" foi retirado o módulo de elasticidade.

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (1)$$

Onde E é o módulo de elasticidade, σ é a tensão obtida pela máquina de ensaio de tração e ε é a deformação fornecida pelo programa GOM através do método de correlação de imagem digital.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de facilitar o tratamento de dados foram criadas tabelas no excel para cada peça como pode ser visto mais abaixo na tabela 1. Destas tabelas foram retirados os módulos de elasticidade médios e o desvio padrão das amostras, os resultados podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 1: Tabela gerada no Excel para os resultados obtidos.

Foto	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Deformação (%)		Módulo de Elasticidade (Gpa)	
			Servopulser	DIC	Servopulser	DIC
1	1,42	2,328	0,0050625	0	45,98518519	0
2	6,42	6,684	0,013	0,007741	51,41538462	86,34543341
3	11,42	10,864	0,020625	0,013975	52,67393939	77,73881932
4	16,42	15,244	0,0288125	0,024689	52,90759219	61,74409656
5	21,42	19,208	0,0365	0,031716	52,62465753	60,56249212
6	26,42	23,116	0,0438125	0,036007	52,76119829	64,19862804
7	31,42	27,116	0,051625	0,041617	52,52493947	65,15606603
8	36,42	30,9	0,058625	0,037393	52,70788913	82,63578745
9	41,42	34,932	0,0670625	0,036287	52,08872321	96,26588034
10	46,42	38,616	0,0741875	0,049388	52,05189553	78,18903377
11	51,42	43,812	0,0843125	0,056957	51,96382506	76,92118616
12	56,42	46,612	0,0899375	0,055147	51,82710215	84,52318349
13	61,42	50,476	0,0973125	0,063435	51,87000642	79,57121463
...
20	96,42	79,112	0,155	0,108496	51,04	72,9169739
21	101,42	83,064	0,163625	0,111767	50,76485867	74,31889556
22	106,42	86,936	0,171187	0,114505	50,78423011	75,92332213
23	111,42	91,156	0,179688	0,12038	50,73015449	75,72354212
24	116,42	95,02	0,187875	0,133786	50,57618097	71,02387395
25	121,42	99,052	0,196375	0,136843	50,44022915	72,38368057
26	126,42	102,74	0,20475	0,136041	50,17826618	75,52135018
27	131,42	106,952	0,213375	0,144804	50,12396016	73,85983813
28	136,42	111,064	0,222313	0,15475	49,958392	71,76995153
29	141,42	114,976	0,230063	0,155028	49,97587617	74,16466703
30	146,42	119,348	0,239938	0,170602	49,74118314	69,95697589

Tabela 2: Valores do modulo de elasticidade fornecidos pelo GOM.

Corpos de prova	Modulo de elasticidade médio (GPa)	Modulo de elasticidade máximo (GPa)
1	75 ± 7,45	96,26
2	66, 225 ± 12,50	72,95
3	63,700 ± 27,00	88,59
4	56,32 ± 9,25	69,64

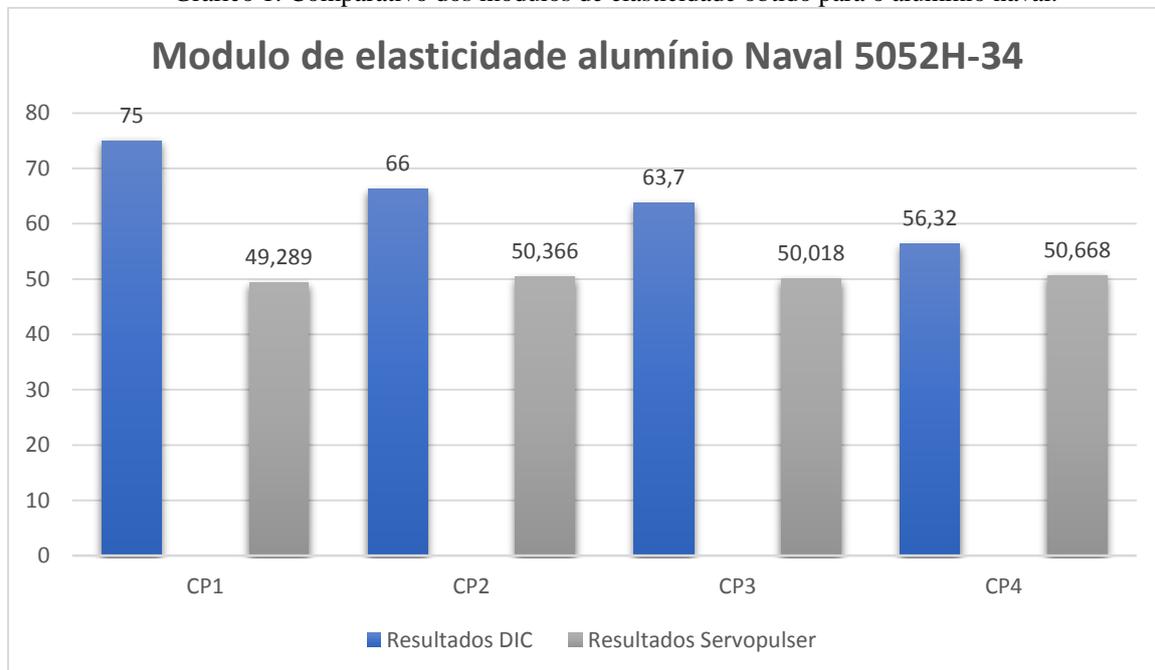
Na Tabela 3 pode-se ver a comparação entre o modulo de elasticidade obtido diretamente pela máquina Servopulser e o modulo obtido através do método de correlação de imagem digital.

Tabela 3: Valores médios do modulo de elasticidade obtidos pela Máquina e pelo método DIC.

Corpos de prova	Modulo de elasticidade médio obtido pelo GOM (GPa)	Modulo de elasticidade médio obtido pela máquina (GPA)
1	75 ± 7,45	49,289
2	66, 225 ± 12,50	50,366
3	63,700 ± 27,00	50,018
4	56,32 ± 9,25	50,668

Pode-se ver na literatura que o alumínio Naval 5052H-34 tem o modulo de elasticidade entre 70 a 74 GPa. No gráfico 1 pode-se ver um comparativo dos valores de modulo de elasticidade obtidos pelos dois métodos.

Gráfico 1: Comparativo dos modulos de elasticidade obtido para o alumínio naval.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores observados na tabela 2 apresentam variações em relação a literatura. Esta variação pode ser ocasionada por alguns fatores:

- Problemas com o sincronismo das imagens tiradas pela câmera fotográfica;

- Os valores de tensão fornecidas pela máquina de ensaio mecânico;
- Problemas de descamação da pintura observados em alguns corpos de prova (Figura 7);
- Problemas com a inserção das imagens dos corpos de prova no programa GOM.

Pode-se observar que os resultados foram mais próximos da literatura quando o módulo de elasticidade foi feito pelo DIC, existiram alguns contratempos que provavelmente influenciaram nos resultados como a descamação da pintura. Se faz necessário mais trabalhos na área para o estudo dos parâmetros utilizados no programa já que existe pouco material disponível sobre a utilização passo-a-passo do mesmo.

Figura 7: Exemplos de descamação na pintura dos corpos de prova de tração



Agradecimentos

Agradecemos ao laboratório LCAM – Laboratório de Caracterização de Materiais Metálicos (UFPA) e ao professor Dr. Eduardo Magalhães Braga por disponibilizar o espaço e equipamentos necessários para a execução deste trabalho.

5 REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 6892-1, 2013. **Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente**, Rio de Janeiro.

BARRETO, Erly Junior. **Utilização do método de correlação de imagens na caracterização de materiais metálicos e poliméricos**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

RODRIGRES, Leonardo Dantas. **Aplicação da técnica DIC a espécimes com diferentes formas, materiais e gradientes de deformação**. 2014. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Programa **GOM**. Disponível em: <https://www.gom.com/3d-software/gom-correlate.html#downloadForm>. Acesso em: 27 abr. 2019 12:53PM.

OBTAINMENT OF ELASTICITY MODULE THROUGH THE DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD (DIC) BY USING LOW COST EQUIPMENTS.

Abstract: *In the tensile test field, with the absence of more precise instruments, the deformation datas are obtained based on the relative displacements of the tensile test machine claws. During the test, these data are stored and presented in graphic form. However, the data collected are due to the deformation of the entire system, claws and the specimen, so the value of the modulus of elasticity presented does not correspond to the exact value of the material. The Digital Image Correlation (DIC), image correlation method uses image tracking and recording procedures to quantify surface displacement and deformation measurements using a 2D (two-dimensional) camera for spatial (3D) measurements. This work used more accessible equipment and free programs to obtain the real modulus of elasticity in aluminum parts subjected to tensile tests, the method proved to be more efficient than the values obtained directly by the universal testing machine. refinement of the method used.*

Key-words: *DIC. Elasticity module. Correlation of images. Traction.*