

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DO JATEAMENTO ABRASIVO A SECO NA SUPERFÍCIE DO AÇO DE ULTRA-ALTA-RESISTÊNCIA 300M-ESR

José Carlos Fortes Palau (jpalau@bol.com.br)

Silvio Fazolli (sfazolli@iae.cta.br)

Pedro Paulo de Campos (pedropc@iae.cta.br)

José Rubens de Camargo (jcamargo@unitau.br)

UNITAU, Engenharia Mecânica, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté/SP

***Resumo.** O objetivo desse trabalho é avaliar, através da medida de rugosidade (R_a), a influência de dois equipamentos diferentes de aplicação de jateamento abrasivo a seco com granalha de aço angular, sobre a superfície do aço 300M-ESR. O jateamento abrasivo com granalha de aço angular é a primeira etapa do processo de colagem de isolantes térmicos e visa produzir as macrorrugosidades na superfície do aço, essenciais à ancoragem mecânica e a molhabilidade do adesivo (Wenzel, 1936), elementos principais em um processo de adesão. Foram fabricadas dez amostras conforme a Norma ASTM D 3164-03, em aço 300M-ESR. As amostras foram divididas em dois grupos de cinco unidades e cada grupo foi submetido a tratamento mecânico de jateamento abrasivo a seco com granalha de aço angular G50, antes e após o tratamento térmico. O grupo1 foi jateado em um equipamento que tem como característica um bico de jateamento com posição fixa em relação a peça a ser jateada e o grupo2 foi jateado em um equipamento que tem como característica um bico de jateamento móvel que precisa ser operado manualmente. A granalha utilizada foi a G50, pressão de jato de 3,5 Kgf/cm² e tempo de jateamento iguais nos dois grupos. Os resultados obtidos nessa avaliação confirmam que o efeito do jateamento abrasivo a seco na superfície do aço 300M-ESR está sujeito a influência de variáveis introduzidas pelas características dos equipamentos, podendo resultar em níveis de rugosidade superficial (R_a) diferentes para as mesmas condições de aplicação, sendo necessário fazer uma avaliação da influência dos principais parâmetros envolvidos no processo de jateamento abrasivo para tentar minimizar os seus efeitos durante a aplicação do processo.*

***Palavras-chave:** Aço300M-ESR, jateamento abrasivo, rugosidade.*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Histórico do Programa Aeroespacial Brasileiro

O Brasil foi um dos primeiros países em desenvolvimento a executar atividades espaciais de forma institucionalizada, tendo estabelecido organizações governamentais já no início da década de 60 (PNAE, 1998). A filosofia do Programa Aeroespacial Brasileiro, desenvolvido pelo Departamento de Ciências e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), antigo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) sempre se pautou pelo desenvolvimento techno-científico das diversas áreas necessárias às produções de peças e componentes aeroespaciais, bem como pela autossuficiência em nível de país, fomentando o desenvolvimento e aplicação de produtos nacionais, visando eliminar a dependência de materiais e componentes importados.

Como exemplos podem citar o desenvolvimento de novas ligas metálicas, de revestimentos especiais de borracha, fibras, tecidos e proteções térmicas de carbono especialmente desenvolvidas para suportarem a combustão do propelente. O programa de foguetes desenvolvido pelo Comando da Aeronáutica, sobre a responsabilidade do DCTA/IAE optou, desde seu início, pelo emprego de sistemas propulsivos usando propelentes sólidos. Essa opção impôs que fossem desenvolvidas estruturas metálicas que tinham como função alojar os blocos de propelentes sólidos, constituindo-se no corpo do foguete. Essas estruturas receberam o nome técnico de envelopes motores, em virtude de serem projetadas e otimizadas para minimização de sua massa, pois se constituem em peso morto do sistema propulsivo (Bosco, 1996).

Atualmente, o Veículo Lançador de Satélites (VLS1) que faz parte do Programa Espacial Brasileiro, utiliza chapas de aço de ultra-alta-resistência 300M-ESR, laminadas à quente com espessura de 3,5 mm para a confecção de envelopes motores-foguetes. Peso e resistência tem sido a palavra de ordem para a construção de envelopes motores foguete, buscando através do desenvolvimento

tecnológico materiais que sejam mais leves e resistentes, para permitirem uma maior capacidade de transporte de carga e ao mesmo tempo suportarem todas as forças impostas ao foguete durante o lançamento, o que vem forçando a busca e o desenvolvimento de novos materiais metálicos e compósitos, bem como, o desenvolvimento de novos processos que permita a integração conjunta desses materiais.

1.2. Aços de Ultra-Alta-Resistência 300M-ESR

Os aços para uso aeroespacial devem possuir características tais como elevada resistência específica (relação resistência/peso), resistência à fadiga, tenacidade à fratura e soldabilidade aceitável (Moreira, 1997). São estabelecidos rigorosos requisitos para o atendimento dessas propriedades que compreendem o controle da concentração de elementos residuais, quantidade e tipo de inclusões, homogeneidade de composição e estrutura, o que torna indispensável o uso de processos como ESR (refusão sob escória eletrocondutora) e VAR (refusão a arco sob vácuo) (Silva, et al., 1988).

Por possuir um alto desempenho associado a um elevado grau de confiabilidade, exigido pelo Programa Espacial Brasileiro, foi selecionado o aço de ultra-alta-resistência 300M ESR, com a finalidade de fabricar, principalmente, envelopes motores-foguete. O aço de ultra-alta-resistência 300M difere do aço SAE 4340 por um alto teor de silício, teores de carbono e molibdênio ligeiramente maiores, com adição de vanádio. Muitas das propriedades deste aço são similares as do aço SAE 4340, exceto o teor de silício que proporciona uma maior profundidade de têmpera (retardamento das transformações austeníticas), um aumento no endurecimento por solução sólida e uma melhor resistência mecânica a altas temperaturas (Santos, 2001).

A Tabela 1 mostra a composição química dos aços 300M e SAE 4340 (% em massa) conforme Norma SAE/AMS-6257.

Tabela 1. Composição química dos aços SAE 4340 e 300M (SAE, 1990)

	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Outros</i>
<i>4340</i>	0,38-0,43	0,20-0,35	0,60-0,80	1,65-2,0	0,70-0,90	0,20-0,30	xx
<i>300M</i>	0,40-0,46	1,45-1,80	0,65-0,90	1,65-2,0	0,70-0,95	0,30-0,45	0,05

No desenvolvimento tecnológico dos aços de ultra-alta-resistência o grande desafio é proporcionar aumentos simultâneos de resistência e tenacidade (Hertzberg, 1976), uma vez que o aumento de resistência conduz a uma diminuição da tenacidade à fratura. Os parâmetros de resistência especificados no projeto desses envelopes motores-foguete são: limite de resistência à tração de $185,0 \pm 5$ kgf/mm² e tenacidade estimada pela relação $\sigma_e/\sigma_l > 1$, onde σ_e é o limite de resistência do corpo de prova de tração entalhado e σ_l o do corpo de prova liso. No caso do aço 300M-ESR para uso no setor aeroespacial, foi feito um minucioso estudo para se determinar qual o melhor ciclo de tratamento térmico, tendo em vista a melhor relação resistência/tenacidade. Além disso, para a realização desse tratamento térmico deve-se tomar algumas precauções no sentido de prevenir a decarbonização, a oxidação e a deformação, efeitos aos quais o aço 300M-ESR é extremamente susceptível (Santos, 2001).

1.3. Mecanismo de Adesão: Teoria de Adesão Mecânica e Molhabilidade da Superfície

Os mecanismos de adesão têm sido estudados há anos e muitas teorias têm sido propostas com o intuito de se explicar o fenômeno da adesão. Contudo, uma teoria apenas não é suficiente para explicar a adesão de uma forma geral e abrangente. Ao contrário dos métodos mecânicos de união de materiais, como o uso de rebites e parafusos, a adesão não muda as características das superfícies a serem unidas, como, por exemplo, a furação das partes ligantes que muitas vezes as danificam e enfraquecem. A ASTM D 907-99 (ASTM, 1999) define adesão como “O estado em que duas superfícies são mantidas unidas por forças de interfaces que pode ser constituídas de forças químicas ou de travamento, ou ambas.” A ligação de um adesivo a outro objeto ou superfície é a soma de forças mecânicas, físicas e químicas que se sobrepõem e influenciam umas às outras.

Segundo a teoria da adesão mecânica (Kinloch, 1987), uma boa adesão ocorre somente quando o adesivo penetra em poros, buracos, fendas ou qualquer outra irregularidade da superfície do substrato e trava-se mecanicamente ao mesmo. De acordo com a teoria da adesão mecânica, a rugosidade da superfície permite a penetração do adesivo nas irregularidades (macrorrugosidades) depositando-se nos vales entre os picos do substrato, promovendo desta forma o —ancoramento entre as superfícies. Logo, o

ancoramento depende tanto da preparação da superfície quanto das características físico-químicas do adesivo a ser usado.

Outra importante propriedade das superfícies está relacionada com a sua molhabilidade. Para permitir ligações entre o adesivo e o substrato sólido, o adesivo deve primeiramente molhar a superfície, ou seja, deve ser aplicado em sua forma líquida. O procedimento para determinar o molhamento é dado pela medida do ângulo de contato que forma entre uma gota de líquido e a superfície do substrato sólido. Um bom molhamento se dá quando o ângulo de contato for menor que 90°.

1.4. Preparação da Superfície por Jateamento Abrasivo

A preparação da superfície de envelope motores tem por objetivo principal, além da remoção da camada de óxidos, a colagem (aderência) de materiais poliméricos específicos, que servirão como isolantes térmicos, impedindo que as altas temperaturas ($\pm 3.000^{\circ}C$) provenientes da queima do propelente atinja a chapa de aço 300M. A qualidade da colagem nessa interface desempenha um papel fundamental no desempenho em voo do envelope motor-foguete, uma vez que, havendo uma falha (descolagem) no isolante térmico haverá uma grande probabilidade de que as altas temperaturas provenientes da queima do propelente atinja a chapa de aço 300M provocando o rompimento do mesmo, em função das perdas de suas propriedades mecânicas o aço 300M não terá mais condições de suportar as tensões resultantes da combustão do propelente. A integridade dessa região interfacial garante que todo o conjunto depois de aderido um ao outro suporte as tensões impostas tais como: dilatações e contrações do bloco de propelente, a aceleração durante o lançamento e as vibrações mecânicas durante o tempo de voo. A qualidade da adesão nessa interface define a confiabilidade desse envelope motor-foguete.

O processo de colagem de isolantes térmicos pode ser considerado como um processo —especiall, isto é, seus resultados são verificáveis somente ao seu final, não havendo possibilidade de avaliação parcial do resultado do produto e de intervenção no processamento do mesmo (Sakai, et al., 2006). Um dos principais fatores associados ao sucesso de processos de colagem consiste no tratamento adequado da superfície a ser utilizada como substrato. Os tratamentos podem ser, basicamente, de dois tipos: tratamentos mecânicos, nos quais a superfície é atacada por jateamento em níveis diferentes de intensidade e com uma variedade de granalhas, tanto na forma quanto no material; e tratamentos químicos, nos quais o substrato é submetido ao ataque por solução ácida específica, em concentrações e períodos pré-determinados. Os tratamentos mecânicos são, em sua maioria, os responsáveis pela obtenção dos níveis mais elevados de rugosidade média (Roughness Average – Ra), produzindo superfície com grande número de picos e vales, tão mais pronunciados quanto maior a intensidade do jateamento aplicado (Soares, et al., 2006).

O jateamento abrasivo é um processo de preparação de superfícies que utiliza o impacto de partículas abrasivas movimentadas em alta velocidade sobre uma superfície, objetivando a remoção da pintura, ferrugem, e demais materiais contaminantes, deixando o substrato pronto para receber um novo tratamento superficial criando um perfil de rugosidade favorável à ancoragem do revestimento a ser aplicado após o jateamento. Dos muitos métodos utilizados, o jateamento abrasivo produz uma preparação de superfície mais uniforme e por isso, na maioria das vezes é o mais utilizado e também o mais econômico.

A rugosidade provocada pelo abrasivo na superfície pode ser medida e é denominada de perfil de rugosidade ou padrão de ancoragem. A granulometria dos abrasivos é fundamental para se obter um determinado perfil de rugosidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram fabricadas dez amostras de acordo com a Norma ASTM D 3164-03, em aço de ultra-alta-resistência 300M-ESR, com espessura de 3 mm, conforme Figura 1.

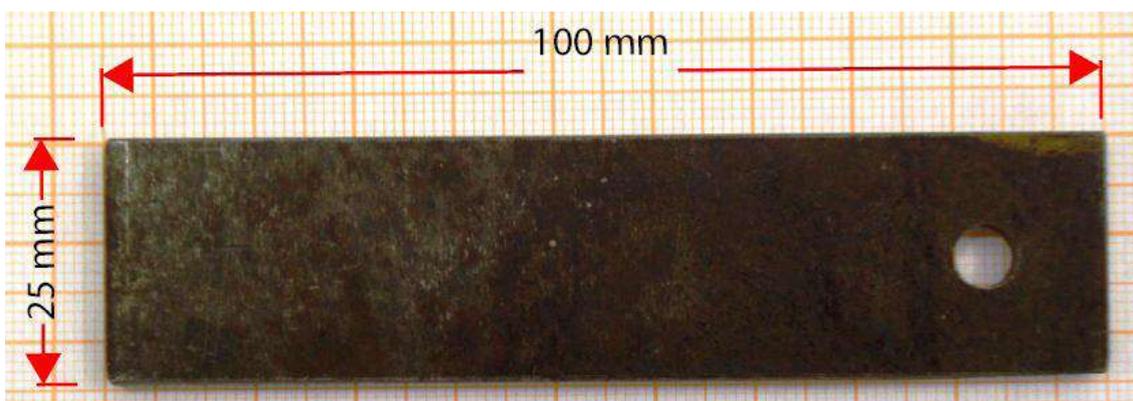


Figura 1- Corpos de prova conforme Norma ASTM D 3164-03 (ASTM, 2003).

As amostras foram divididas em dois grupos de cinco unidades e cada grupo foi submetido a tratamento mecânico de jateamento abrasivo a seco com granalha de aço angular G50, antes e após o tratamento térmico. O grupo1 foi jateado em um equipamento que tem como característica um bico de jateamento com posição fixa em relação a peça a ser jateada, isto é, a peça que sofre um movimento de rotação em torno do bico de jateamento. Esse equipamento é utilizado para fazer o jateamento interno dos envelopes motores para colagem de isolantes térmicos e a principal vantagem desse sistema, além de tornar possível a operação de jateamento interno nos envelopes motores, é o controle preciso do ângulo de incidência das granalhas e da distância de jateamento até a superfície. O grupo2 foi jateado em um equipamento que tem como característica um bico de jateamento móvel que precisa ser operado manualmente sobre a peça a ser jateada, isto é, quem sofre movimentação é o bico de jateamento, a peça não se movimenta. Esse equipamento é utilizado para fazer o jateamento externo dos envelopes motores para aplicação de pintura e tanto a precisão do ângulo de incidência das granalhas como a distância de jateamento depende da habilidade do operador. As características técnicas dos equipamentos e dos bicos de jateamentos são iguais nos dois equipamentos o que varia é somente o processo de aplicação do jateamento abrasivo. As demais condições de aplicação do jateamento abrasivo foram idênticas nos dois grupos (pressão de jateamento = 3,5 Kgf/cm², vazão da granalha = 4 voltas na válvula dosadora e tempo de jateamento iguais). Os tratamentos tiveram como padrão de limpeza o aspecto visual ao metal branco Sa3, conforme Norma ISO 8501-1 (ISO 8501-1, 2007).

As amostras receberam tratamento térmico de têmpera e revenimento para adquirir dureza na faixa de (50-52) HRC, o mesmo aplicado aos envelopes motores-foguete. Para medida da dureza HRC foi utilizado um durômetro Rockwell, marca Wilson 4JR, com penetrador de diamante e ângulo de ponta de 120° e carga aplicada de 150 Kg, conforme Figura 2.



Figura 2 - Durômetro Rockwell, marca Wilson 4JR.

Para medida da rugosidade (R_a) foi utilizado um equipamento rugosímetro Taylor-Hobson modelo Surtronic, conforme Figura 3. O espaço percorrido pelo apalpador foi de 7,0 mm, conforme estipulado pela Norma ABNT 4288 (ABNT NBR ISO 4288, 2008). Foram executadas três medições e extraídas as médias aritméticas dos valores encontrados.



Figura 3 - Equipamento rugosímetro Taylor-Hobson modelo Surtronic.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do monitoramento dos parâmetros superficiais para os grupos 1 e 2, encontram-se nas Tabelas 2 e 3 mostradas abaixo.

Tabela 2 - Valores de rugosidades (R_a) encontradas nas superfícies analisadas do grupo1

Amostra	Condição inicial da superfície		Sem tratamento térmico		Após tratamento térmico	
	Dureza (HRC)	R_a (μm)	Dureza (HRC)	R_a (μm)	Dureza (HRC)	R_a (μm)
1	24,0	2,0	24,0	8,4	53,0	5,0
2	25,0	2,9	25,0	8,0	52,0	4,5
3	30,0	2,6	30,0	7,5	52,0	4,1
4	28,0	2,6	28,0	6,8	55,0	5,4
5	31,0	3,0	31,0	6,8	53,0	5,1
Valor médio	27,6	2,6	27,6	7,5	53,0	4,8

Tabela 3 - Valores de rugosidades (R_a) encontradas nas superfícies analisadas do grupo2

Amostra	Condição inicial da superfície		Sem tratamento térmico		Após tratamento térmico	
	Dureza (HRC)	R_a (μm)	Dureza (HRC)	R_a (μm)	Dureza (HRC)	R_a (μm)
6	25,0	3,6	25,0	8,5	53,0	4,8
7	32,0	2,3	32,0	8,8	52,0	5,0
8	29,0	2,3	29,0	9,0	53,0	4,3
9	32,0	2,1	32,0	7,8	53,0	4,9
10	34,0	3,2	34,0	8,5	51,0	4,7
Valor médio	30,4	2,7	30,4	8,5	52,4	4,7

A análise dos valores de rugosidade (R_a) retirados das Tabelas 2 e 3 permitem verificar que o jateamento abrasivo provocou uma alteração significativa na textura das superfícies dos grupos 1 e 2. A

Tabela 4 mostra o ganho de rugosidade obtido nas superfícies das amostras dos grupos 1 e 2 após a aplicação do jateamento abrasivo, tendo por base os valores médios da rugosidade (Ra).

Tabela 4 – Ganho de rugosidade (Ra) após a aplicação de jateamento abrasivo

Grupo	Sem tratamento térmico	Após tratamento térmico
	Ra (μm)	Ra (μm)
1	4,9	2,2
2	5,8	2,0

De acordo com os valores acima é possível verificar uma sensível redução no ganho de rugosidade (Ra) após o tratamento térmico das amostras, que eleva a dureza superficial para a faixa de (52-53)HRC, esse comportamento é decorrente da própria natureza do processo de jateamento abrasivo que por ser um processo de erosão, pelo impacto de partículas sólidas a alta velocidade, com a elevação da dureza superficial encontra uma dificuldade maior em *—cavar—* a superfície do metal.

A medida da rugosidade é um método empregado para caracterizar a superfície dos materiais. A rugosidade superficial é quantificada por parâmetros medidos ao longo de uma linha hipotética. Estes parâmetros da rugosidade são usados para classificar as heterogeneidades superficiais como ondulações e variações em relação a um perfil. Para a análise da superfície das amostras jateadas dos grupo 1 e 2 foi adotado o parâmetro de rugosidade média (Ra) que quantifica a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos de perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição conforme ilustração da Figura 4.

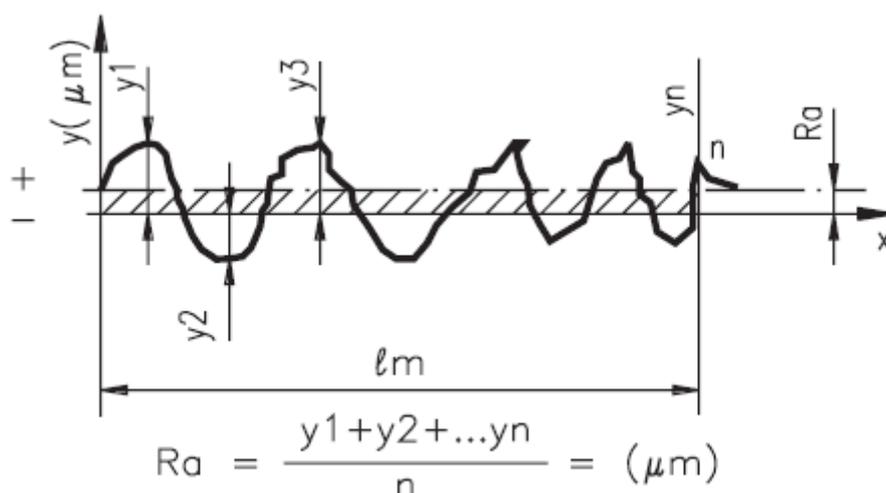


Figura 4 - Esboço representativo da rugosidade média (Ra).

O parâmetro de rugosidade média $Ra(\mu m)$ é o parâmetro mais comum utilizado na análise de tratamentos superficiais, atuando como parâmetro de controle de processo. Os valores médios da rugosidade $Ra(\mu m)$ sinalizam que as superfícies obtidas nas amostras dos grupos 1 e 2 podem apresentar diferenças, tanto na condição *—Sem tratamento térmico—* como na condição *—Após tratamento térmico—*. Foi realizada uma comparação múltipla dos diversos experimentos pelo Método de Student-Newman-Keuls para 95% de confiabilidade com o objetivo de mostrar quais grupos apresentam semelhantes ou diferenças do ponto de vista estatístico.

Para a resolução do método acima foi utilizado o programa estatístico Minitab15, aplicado aos dados das Tabelas 2 e 3. Os resultados para os intervalos de confiança entre os experimentos estão mostrados no gráfico da Figura 5.

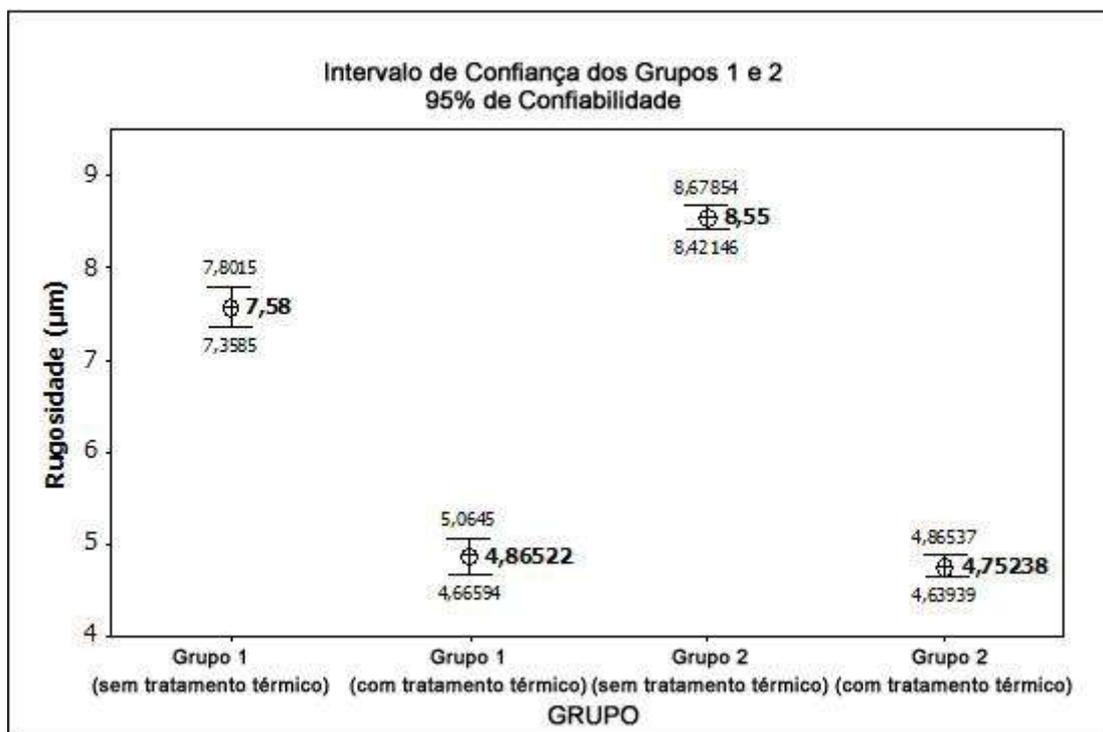


Figura 5 – Gráfico dos intervalos de confiança entre os experimentos.

O dados obtidos no intervalo de confiança entre os grupos apresentam semelhanças nos valores da rugosidade (Ra) superficial do grupo1(após tratamento térmico) e do grupo2(após tratamento térmico) e diferenças nos valores referentes as rugosidades superfícies dos grupo1(sem tratamento térmico) e grupo 2 (sem tratamento térmico). Para verificar se essa diferença é significativa ou não, foi aplicado um Teste de Hipóteses para a diferença de Médias, Variâncias desconhecidas, ao nível de significância estatística (nível-p) de 0,05 nas amostras dos grupo1(sem tratamento térmico) e grupo 2 (sem tratamento térmico). As variâncias das duas populações são desconhecidas, porém é preciso saber se elas são iguais ou diferentes, para aplicar a metodologia correta no teste de hipóteses. Para isso foi plotado o gráfico de probabilidade normal dos dados de rugosidade (Ra) das amostras dos grupo1(sem tratamento térmico) e grupo 2 (sem tratamento térmico), conforme Figura 6.

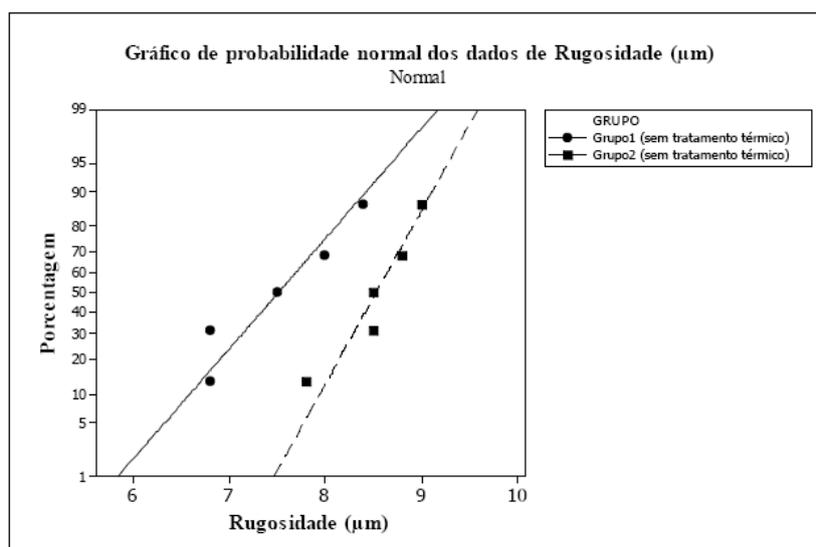


Figura 6 - Gráfico de probabilidade normal.

Os gráficos de probabilidade normal indicam que não há problema com a suposição de normalidade, além disso, ambas as retas tem inclinações similares, favorecendo a suposição de variâncias iguais. Estabelecido que as variâncias são desconhecidas, porém iguais, prosseguiu-se com o teste de hipóteses, onde deseja-se testar :

H0: $\mu_1(\text{Grupo1 (sem tratamento térmico)}) - \mu_2(\text{Grupo2 (sem tratamento térmico)}) = 0$ ou;

H0: $\mu_1 = \mu_2$ (Hipótese nula)

H1: $\mu_1(\text{Grupo1 (sem tratamento térmico)}) \neq \mu_2(\text{Grupo2 (sem tratamento térmico)})$ ou;

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$ (Hipótese alternativa bilateral)

$\alpha = 0,05$

Para a resolução do teste de hipóteses foi utilizado-se o programa Minitab15 aplicado aos dados da Tabela 5, mostrada acima. A saída de resultados do teste é dada a seguir:

GRUPO N Média Desvio-padrão Erro-padrão da média

Grupo1 5 7,500 0,714 0,32

Grupo2 5 8,520 0,455 0,20

Diferença = $\mu_1(\text{Grupo1 (sem tratamento térmico)}) - \mu_2(\text{Grupo2 (sem tratamento térmico)})$

Estimativa para a diferença: -1,020

IC de 95% para a diferença: (-1,893; -0,147)

Teste T da diferença = 0 (vs.não =): Valor T = -2,69 Valor P = 0,027 DF = 8

Ambos usam o Desvio-padrão combinado = 0,5987

Dessa maneira, uma vez que o valor P (0,027) é inferior a α (0,05), a hipótese nula (H0) é rejeitada e o intervalo de confiança (IC) de 95% para a diferença de médias, variância desconhecidas e iguais do teste acima será: $-1,893\mu\text{m} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq -0,147\mu\text{m}$. Observe que o intervalo não inclui o zero, assim, nesse nível de confiança, podemos concluir que haja uma diferença entre as médias, ou seja, há evidências de que a rugosidade (Ra) produzida nas superfícies das amostras do grupo2(sem tratamento térmico) pelo equipamento de bico de jateamento movél são maiores e essa diferença pode ser de 0,147 μm até 1,89 μm .

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nessa avaliação confirmam que o efeito do jateamento abrasivo a seco na superfície do aço 300M-ESR está sujeito a influência de variáveis introduzidas pelas características do equipamento, podendo resultar em níveis de rugosidade superficial (Ra) diferentes para as mesmas condições de aplicação, sendo necessário fazer uma avaliação da influência dos principais parâmetros envolvidos no processo de jateamento abrasivo para tentar minimizar os seus efeitos durante a aplicação do processo.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4288 (2008) "Especificações geométricas de produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil-Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade".
- ASTM (2003) "Standard test method for strength properties of adhesively bonded lap-shear". Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01 —. (1999) Standard Terminology of Adhesives. Philadelphia : ASTM INTERNACIONAL, ASTM D 907–99.
- Boscov, J. (1996) Foguetes de Sondagem. 1º Curso de Tecnologia Espacial. Brasília : Agência Espacial Brasileira.
- Hertzberg, R.W. (1976) "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials. New York : John Wiley & Sons.
- ISO 8501-1 (2007) "Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel" ISO - International Standards.
- Kinloch, A. J. (1987) "Adhesion and Adhesives". New York : Ed. Chapman and Hall
- Moreira, Clóvis Tadeu Antunes. (1997) Tese de Mestrado: "Corrosão do aço 300M em 1,1,1-Tricloroetano". São José dos Campos - SP : ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- PNAE (1998) Programa Nacional de Atividades Espaciais. Agência Espacial Brasileira. (Acessado em 20 de Fevereiro de 2010) http://www.aeb.gov.br/download/PDF/pnae_web.pdf.
- SAE, AMS-6257D (1990) "Steel bars, forging and tubing". Warrendale : SAE - Society of Automotive Engineers.

- Sakai, Paulo Roberto, et al. (2006) "Análise da deformação de envelopes motores-foguete devido à ação do tratamento térmico". 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.
- Santos, Dalcy Roberto (2001) Tese de Mestrado: "Otimização dos parâmetros de tratamento térmico e soldagem do aço Maraging 18Ni300". Guaratinguetá : UNESP - Campus de Guaratinguetá.
- Silva, A.L.C e Mei, P.R. (1988) "Aços e Ligas Especiais" 2ª Edição pg-457. Sumaré -SP : Eletrometal S.A Aços Especiais.
- Soares, L.P., et al. (2006) "Avaliação comparativa, por meio de rugosimetria tridimensional, de diferentes tratamentos superficiais para cimentação adesiva de compósitos". 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.
- Wenzel, R.N. (1936) "Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water". Ind. Eng. Chemistry , 1936. 28(8), p.988.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.