



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

MESTRE

ANTONIO CARLOS RAMOS JÚNIOR

Dissertação

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE CRITÉRIOS UTILIZADOS NA
DEFINIÇÃO DE SOBRESPESSURA DE CORROSÃO A PARTIR DA
AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO EM TUBOSAPI 5CT C-110

PRODUTO

Procedimento para aferição de taxa de corrosão em superfície metálica
por meio de interferometria a laser

Orientador: Prof. Dr. Bojan Marinkovic

VOLTA REDONDA

2020

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interferômetro CLI 2000.	5
Figura 2 - Interferômetro CLI 2000 realizando leitura da superfície da amostra.	6
Figura 3 - a) Croqui para a usinagem da amostra a partir de um tubo de aço e b) amostra usinada com superfícies de interesse e de referência.	6
Figura 4 - Referência dos eixos para a digitalização da superfície.	7
Figura 5 - Exemplo de definição dos parâmetros de imageamento no software do interferômetro a laser.	8
Figura 6 - Exemplo de resposta do software acerca do tempo estimado para o imageamento da superfície com os parâmetros definidos na figura 5.	8
Figura 7 - Digitalização de uma superfície.	9
Figura 8 - Exemplo de superfície digitalizada.	9
Figura 9 - Resultado do imageamento da superfície de uma amostra realizado antes o ensaio de corrosão.	10
Figura 10 - Resultado do imageamento da superfície de uma amostra realizado antes o ensaio de corrosão.	10
Figura 11 - Definição da referência do eixo Z.	11
Figura 12 - Esquemático da subtração das superfícies digitalizadas antes e após o ensaio de corrosão.	12
Figura 13 - Resultado da subtração dos imageamentos das superfícies	12
Figura 14 - Esquemático do posicionamento dos perfis passando pelas áreas de interesse.	13
Figura 15 - Valor numérico do posicionamento no eixo X dos perfis P1, P2 e P3 de cada amostra.	13
Figura 16 - Análise da variação de espessura da superfície em estudo, P1.	14

SUMÁRIO

1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
2.	OBJETIVO	4
3.	JUSTIFICATIVA	4
4.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	5
5.	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DIGITALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE	7
6.	DIGITALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ANTES DO ENSAIO DE CORROSÃO	8
7.	DIGITALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE APÓS O ENSAIO DE CORROSÃO	10
8.	OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIE RESULTADO DO ENSAIO DE CORROSÃO	11
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A corrosão tem se apresentado como um enorme problema para as indústrias em geral, sendo responsável por grandes prejuízos causados pela interrupção da produção e/ou necessidade de substituição de equipamentos ou mesmo pela necessidade de superdimensionamento de equipamentos e peças para evitar que rupturas e falhas ocorram. De todo o aço produzido no mundo, estima-se que em torno de 25% destina-se à reposição de material consumido pelo processo de corrosão. Estudos publicados em 2016, conduzidos pela *National Association of Corrosion Engineers* (NACE), apontam que o custo global da corrosão está em torno de US\$ 2,5 trilhões, o equivalente a aproximadamente 3,4% do Produto Interno Bruto global. O estudo constatou que o entendimento dos processos de corrosão e a implementação das melhores práticas de prevenção podem resultar em economia global entre 15% a 35% do custo dos danos. Além das perdas diretas, a corrosão é também responsável por numerosas perdas indiretas, tais como paradas não programadas de equipamentos e sistemas, com os respectivos lucros cessantes, perda de eficiência de equipamentos, perdas de produtos por vazamentos e outras causas ^[1].

2. OBJETIVO

Este procedimento tem por objetivo definir as etapas necessárias à operação de avaliação de corrosão por meio da técnica de interferometria a laser.

3. JUSTIFICATIVA

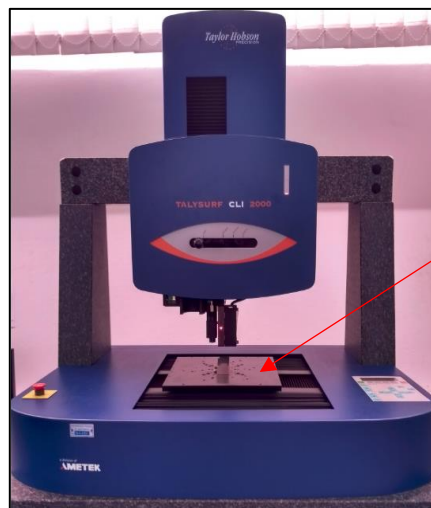
O método consagrado para aferição de taxa de corrosão uniforme por gravimetria (perda de massa) tem sido utilizado pela indústria ao longo dos últimos anos, sendo este suportado pela norma ASTM G1-03 ^[2]. Todavia, este método apresenta limitações quando há a necessidade de aferição da taxa de corrosão em superfícies com diferentes tipos de acabamentos, grandes áreas ou até mesmo superfícies de difícil acesso. A técnica de interferometria a laser se mostrou uma excelente opção à técnica de avaliação por perda de massa. Em 2014, por exemplo,

Contreras et al. utilizaram a interferometria para medir quantitativamente a corrosão uniforme e corrosão localizada em diferentes ligas metálicas usadas na indústria de petróleo e gás. Para medições de superfícies de forma rápida e precisa, a vantagem mais significativa dessa técnica, segundo Contreras et al. (2014), é o grande campo de visão combinado à alta resolução da leitura de profundidade [3].

4. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a definição do tamanho e formato das amostras, deve-se considerar as características dimensionais e construtivas do dispositivo de interferometria a laser que irá realizar o imageamento das superfícies. A amostra deve ser usinada e retificada para que a parte externa da amostra, que não é objeto de estudo, fique plana, garantindo assim um paralelismo com a mesa de apoio do equipamento, conforme figuras 1 e 2.

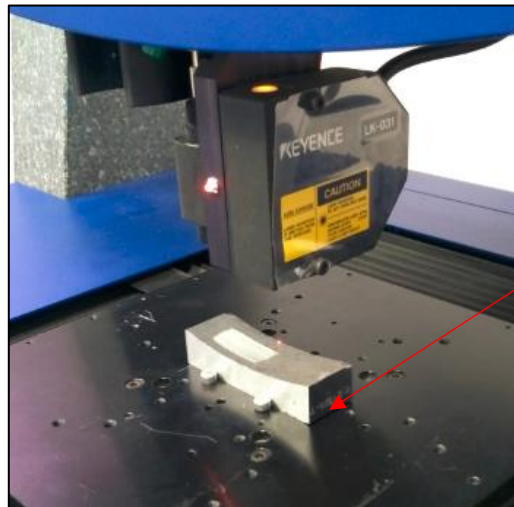
Figura 1 - Interferômetro CLI 2000.



Mesa de apoio

Fonte: Autor.

Figura 2 - Interferômetro CLI 2000 realizando leitura da superfície da amostra.

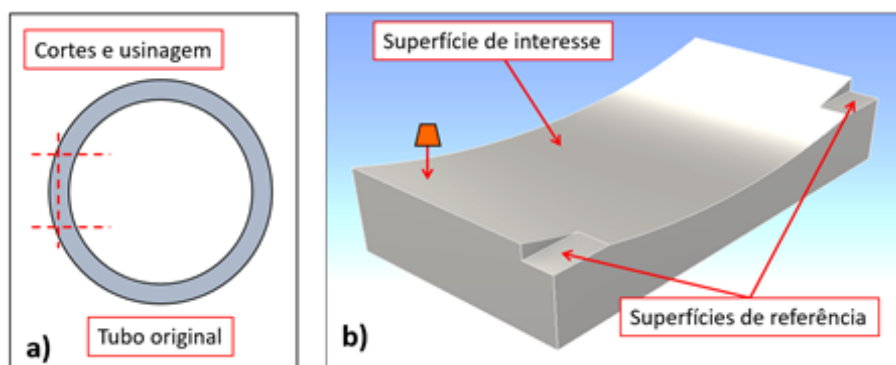


Face da amostra
plana apoiada na
mesa

Fonte: Autor.

Além da retificação da área que ficará em contato com a mesa, deve-se usinar, pelo menos, duas pequenas áreas que irão servir de referência futura. Sugere-se, para tanto, a utilização de equipamento com dimensões conhecidas, como uma broca. Superfícies de referência irregulares ou disformes dificultam a amarração das imagens digitalizadas antes e após os ensaio de corrosão. Ver exemplo de área de referência, figura 3.

Figura 3 - a) Croqui para a usinagem da amostra a partir de um tubo de aço e b) amostra usinada com superfícies de interesse e de referência.



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU.

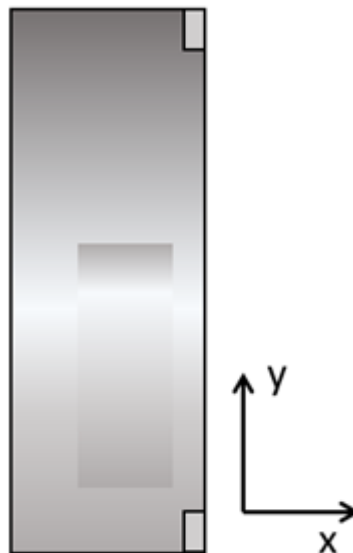
A etapa subsequente à usinagem é a identificação de cada amostra. Esta etapa é de grande importância e permite a rastreabilidade do ensaio de corrosão. Por fim,

antes de iniciar a operação de digitalização da superfície, deve-se efetuar o procedimento de limpeza da superfície com detergente, álcool e acetona.

5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DIGITALIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE


Após a preparação da amostra, deve-se definir a resolução que será utilizada na digitalização da superfície em estudo. Quanto maior a resolução, maior é o tempo de imageamento. Para uma amostra de 25 mm x 75 mm, por exemplo, uma aquisição de dados a cada 10 μm no eixo x e a cada 20 μm no eixo y dura quase 230 minutos, o que gera aproximadamente 9 milhões de pontos nas coordenadas x, y e z, figuras 4, 5 e 6. Já para uma aquisição de dados a cada 50 μm no eixo x e a cada 10 μm no eixo y, nessa mesma área, gera em torno de 3,6 milhões de pontos, com um tempo de 90 minutos. Dessa forma, a definição da resolução depende do tempo disponível e da qualidade da digitalização exigida pelo estudo.

Figura 4 - Referência dos eixos para a digitalização da superfície.




Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU.

Figura 5 - Exemplo de definição dos parâmetros de imageamento no software do interferômetro a laser.

Size			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Beginning:	-0.5	-75	<input type="radio"/> 0
End:	24.5	0	<input checked="" type="radio"/> Current Position
Length:	25	75	<input type="radio"/> 
Resolution:	2501	3751	(points, traces)
Spacing:	10	20	(μm , μm)

Fonte: Autor.

Figura 6 - Exemplo de resposta do software acerca do tempo estimado para o imageamento da superfície com os parâmetros definidos na figura 5.

Speed	
Measurement speed:	10 mm/s 
Estimated duration:	3 h 46 min
File Size:	
Size on hard disk:	35.8 Mb

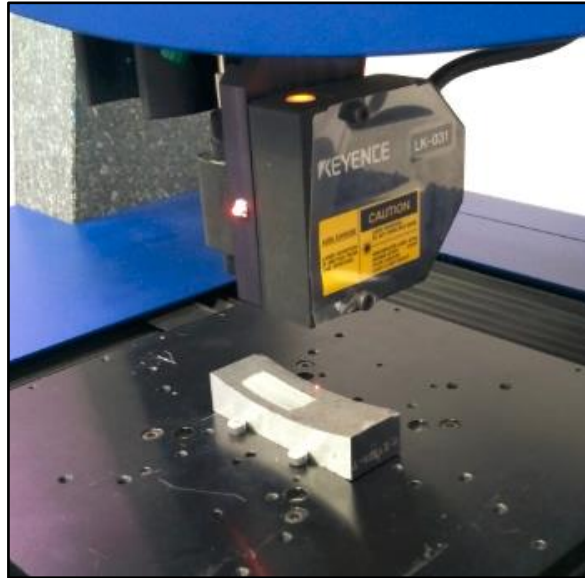
Fonte: Autor.

6. DIGITALIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE ANTES DO ENSAIO DE CORROSÃO

Uma vez definidos os parâmetros do imageamento da superfície, a operação de digitalização é realizada conforme os procedimentos do laboratório. A figura 7

apresenta o cabeçote do interferômetro realizando a operação de digitalização de uma superfície.

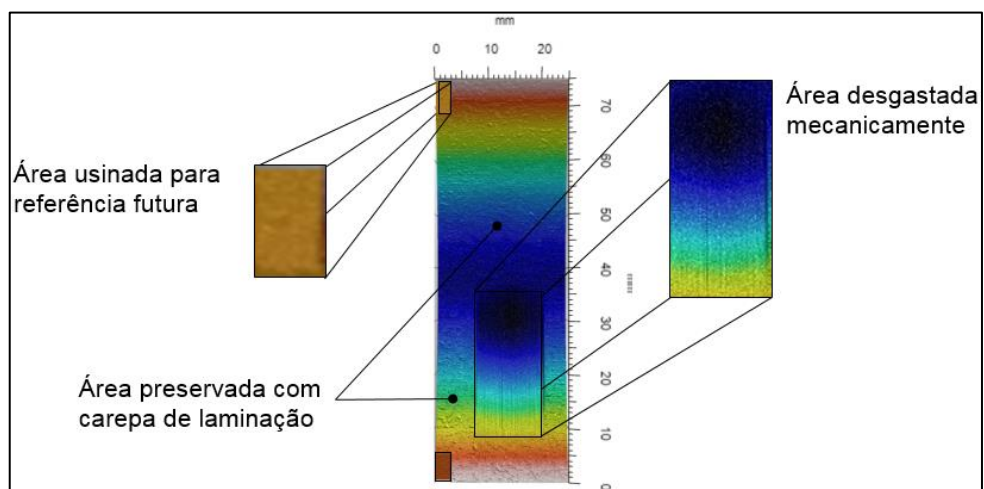
Figura 7 - Digitalização de uma superfície.



Fonte: Autor.

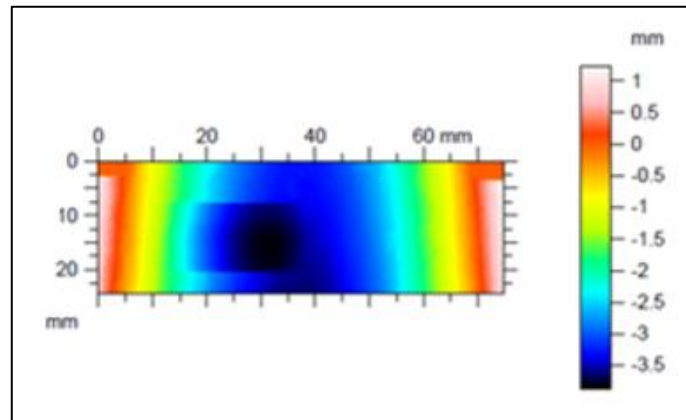
A partir das coordenadas x, y, z obtidas a cada ponto lido pelo equipamento, é gerada uma imagem da superfície da amostra. As figuras 8 e 9 apresentam um exemplo de superfície digitalizada, sendo destacada a área usinada para referência futura.

Figura 8 - Exemplo de superfície digitalizada.



Fonte: Autor.

Figura 9 - Resultado do imageamento da superfície de uma amostra realizado antes o ensaio de corrosão.

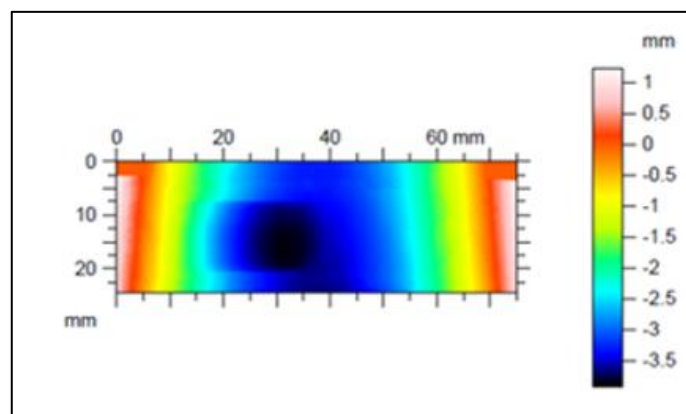


Fonte: Autor.

7. DIGITALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE APÓS O ENSAIO DE CORROSÃO

Antes de iniciar o procedimento de digitalização da superfície, após o ensaio de corrosão, a amostra deve ter seu produto da corrosão retirado a partir da operação de decapagem. Para a decapagem, sugere-se utilizar o procedimento definido na norma ASTM G1-03. Uma vez retirado o produto da corrosão, inicia-se a digitalização da superfície. O objeto dessa etapa é gerar um mapa da superfície submetida ao ensaio de corrosão, conforme figura 10.

Figura 10 - Resultado do imageamento da superfície de uma amostra realizado antes o ensaio de corrosão.



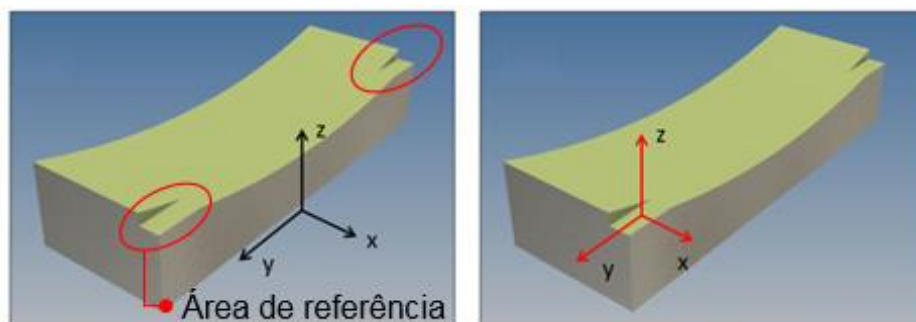
Fonte: Autor.

8. OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIE RESULTADO DO ENSAIO DE CORROSÃO

Como pode ser observado nas figuras 9 e 10, não é possível chegar a uma estimativa de taxa de corrosão analisando separadamente as imagens digitalizadas.

A solução recomendada é a realização da subtração numérica das superfícies mapeadas antes e após o ensaio de corrosão, utilizando para isso o software do interferômetro. Contudo, antes da subtração numérica, é necessário definir o zero do eixo Z na superfície usinada para referência, figura 11. Como a superfície de referência deve ser isolada com algum tipo de material, por exemplo resina, teoricamente essa área não sofrerá processo de corrosão, sendo o resultado esperado para essa subtração numérica das superfícies de referência mapeadas antes e após o ensaio de corrosão igual a zero. Deve-se adotar a função do software referente a subtração, normalmente disponibilizadas em softwares de imageamento de superfície. Na função subtração de imagens, pode-se realizar a sobreposição das imagens e subtração de forma manual ou automática, por métodos de interpolação gaussiana ou triangular, por exemplo.

Figura 11 - Definição da referência do eixo Z.

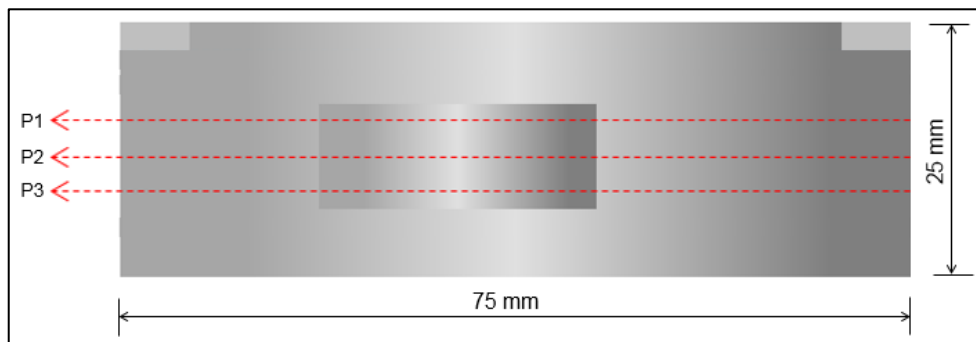


Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Com relação à área metálica submetida ao ensaio de corrosão, que é objeto do estudo, o resultado da subtração das superfícies digitalizadas poderá apresentar valores positivos e negativos, sendo os valores positivos relacionados à perda de massa e os valores negativos relacionados ao ganho de massa, conforme convencionado na figura 12.

um perfil de perda ou ganho de espessura em uma determinada coordenada da superfície em estudo. Para tanto, deve-se adotar coordenadas “P” do eixo X ou Y que possam gerar gráficos com perfis quantitativos de perda e/ou ganho de espessura das áreas de interesse, figuras 14 e 15.

Figura 14 - Esquemático do posicionamento dos perfis passando pelas áreas de interesse.



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Figura 15 - Valor numérico do posicionamento no eixo X dos perfis P1, P2 e P3 de cada amostra.

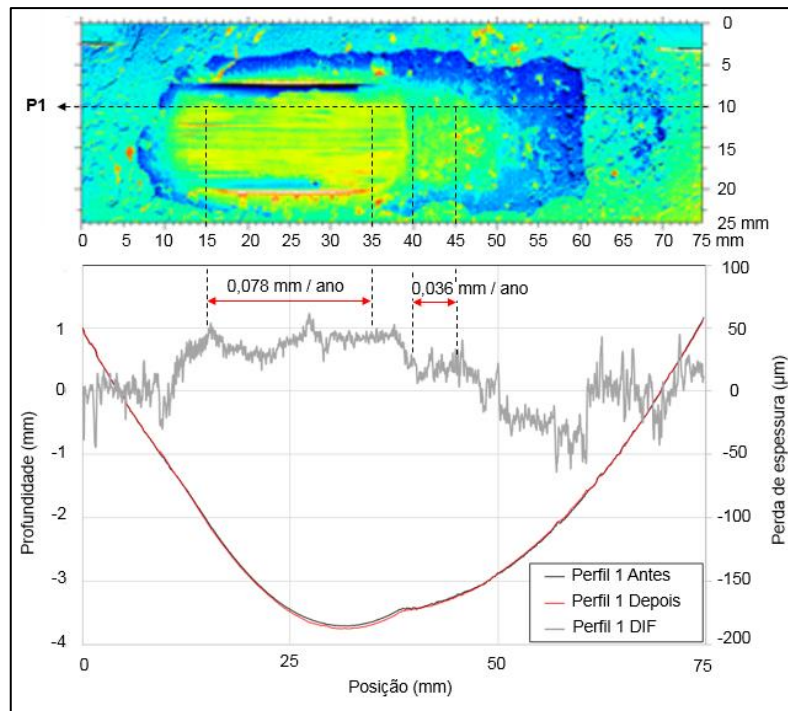
Amostra	Posição do perfil - eixo x (mm)		
	P1	P2	P3
A	10,16	14,17	17,68
B	8,79	12,79	17,79
C	9,96	13,97	17,48

Fonte: Autor (2020).

Após a definição das coordenadas “P” de um determinado eixo de análise, e de posse dos valores numéricos resultados das subtrações das imagens digitalizadas, deve-se definir o intervalo de análise dentro do perfil escolhido. No exemplo adotado neste procedimento, adotou-se os intervalos entre 15 a 35 mm e 40 e 45 mm do eixo Y, perfil P1. A partir dos valores numéricos obtidos de variação de espessura nos intervalos anteriormente definidos (entre 15 a 35 mm e 40 e 45 mm do eixo Y), obtém-se o valor médio de taxa de corrosão de 0,078 mm/ano para o primeiro intervalo e

0,036 mm/ano para o intervalo compreendido entre 40 e 45 mm. Vale destacar que a partir dos dados numéricos resultados das subtrações das áreas digitalizadas, pode-se obter a corrosão média de qualquer intervalo constate da área digitalizada (eixos X,Y).

Figura 16 - Análise da variação de espessura da superfície em estudo, P1.



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KOCH, G. H.; THOMPSON, N. G. **International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study**, NACE International, Houston, Texas, USA, p. iii, 2016.
- [2] ASTM INTERNATIONAL. **Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens**, ASTM G1 – 03, Pennsylvania, USA, 2010.
- [3] CONTRERAS, E. Q.; HUANG, J.; POSUSTA, R. S.; SHARMA, D. K.; YAN, CHAO.; GURAIEB, P.; TOMSON, M. B.; TOMSON, R. C. **Optical Measurement of Uniform and Localized Corrosion of C1018, SS410, and Inconel 825 Alloys Using White Light Interferometry**, Corrosion Science, volume 87, pages 383-391, October 2014.