

ANÁLISE DA RUGOSIDADE NA RECUPERAÇÃO DE UM EIXO DE INDUZIDO DE BOMBAS SUBMERSAS.

Rany Fabio Fonseca Alves, Francisco Evaristo Uchôa Reis.

Resumo: O acabamento superficial após a restauração de um eixo de induzido de uma bomba submersa é indispensável para o seu bom rendimento. Na busca por estratégias para melhoria do processo de soldagem e usinagem do eixo, a padronização dos parâmetros na recuperação do elemento é o método ideal para atingir valores de rugosidade adequado. O objetivo deste trabalho foi analisar e aprimorar o método e os indicadores utilizados na empresa RN TOP BOMBAS E SERVIÇOS LTDA na manutenção do equipamento. O delineamento experimental ocorreu em dois eixos com diâmetros diferentes. As coletas de dados foram realizadas com uso de instrumentos de medida como: paquímetro, micrômetro, relógio comparador e rugosímetro. Os critérios analisados foram: Tipo de eletrodo, grau do chanfro do eixo, tipo de pastilha utilizada na tornearia, velocidade de corte e de avanço, e a rugosidade superficial do eixo após o processo de recuperação.

Palavras-chave: Bomba submersa, eixo inoxidável, soldagem, usinagem, rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

Os poços artesianos são construídos com o intuito de captar água, utilizando-a no abastecimento público, industrial ou comercial. O poço artesiano, de acordo com Garcez (1974)^[12] é aquele perfurado em aquíferos artesianos, onde a água é jorrada naturalmente ou necessitam de uma bomba hidráulica para retirar a água do subsolo.

A ocorrência da necessidade de uma bomba, torna viável a utilização do motor bomba de sucção, que é operada através de chaves de nível, fazendo com que o sistema ligue ou desligue dependendo do nível do reservatório, ignorando prováveis defeitos do sistema como, por exemplo, a entrada de ar nas tubulações de recalque do poço, promovendo aquecimento na bomba (OLIVEIRA&CAVALCANTI, 2017)^[23].

Silva (2018)^[25] configura que o primeiro registro de manuseio de uma bomba foi pelos egípcios, que operaram o mecanismo na agricultura. O primeiro equipamento foi de cerca de 1.500 A.C sendo titulado de picota. Até os dias atuais esse tipo de bomba rudimentar é utilizada

Desde a criação deste protótipo, foram desenvolvidas novas bombas de maior eficiência. Hoje se tem uma variedade de bombas hidráulicas que supre diversas necessidades, um exemplo destas é a motor bomba submersa, que visa principalmente atender a atividades que requerem retirar água de grandes profundidades.

A bomba centrífuga submersa é um tipo de centrífuga vertical e o moto acionador é localizado acoplado através de luvas, próximo ao bombeador, a sucção da bomba está junto ao acoplamento motor/bomba onde se localiza um crivo. Todo o conjunto é instalado dentro do poço e abaixo do nível dinâmico, por isso chamada de submersa (BARROS, 2016)^[4].

Apesar de inúmeras vantagens, as bombas submersas são consideradas problemáticas para os setores de manutenção das empresas, já que devido a falhas de execução nos poços, dimensionamento incorreto ou sinistros esses equipamentos sempre requerem manutenção.

Conforme dito por Nigel e Chambers (2010)^[22], a manutenção corresponde a um conjunto de métodos adotados por empresas para evitar quebras e falhas nas instalações físicas onde possa vir a atingir a produção de bens e serviços. Além de corrigir, prevenir, detectar esses defeitos seja potencial ou funcional, a manutenção tem como objetivo manter tanto as condições de uso quanto a segurança fazendo com que se tenha maior desempenho de uso (BRANCO & BRANCO, 2007)^[5].

Como dito por Almeida (2018)^[2], um dos processos de manutenção corretiva é a usinagem, através desta é possível adquirir o acabamento de superfícies de peças, de modo a ter melhor aspecto superficial e dimensões mais precisas, de acordo com as especificações de fabricação.

O acabamento superficial tem como parâmetro de qualidade, sobretudo a rugosidade, na qual consiste em um conjunto de irregularidades, que tendem a formar um padrão ou textura característicos em uma superfície. Estas irregularidades estão presentes em todas as superfícies reais, e muitas vezes apresentam traços do método de obtenção da superfície propriamente dita, seja torneamento, fresamento ou outros processos de usinagem. (AMORIM, 2002)^[3].

Segundo Gomes (2011)^[13], as influências da rugosidade nas características dos elementos já estão evidentes. Um exemplo notório a respeito está associado à fadiga dos materiais; a curva da resistência à fadiga decai quando o material apresenta maiores níveis de rugosidade.

O presente trabalho analisa a importância desses parâmetros na vida útil dos eixos da bomba após a realização da manutenção. De maneira enfatizar, a necessidade dos processos de usinagem e soldagem para a recuperação desses elementos levando em conta a rugosidade.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Fundamentação teórica

2.1.1 Motor bomba submersa

Como o nome sugere, uma bomba submersível é projetada para funcionar com todo o conjunto moto bomba totalmente submerso no líquido. Este tipo de bomba tem um motor hermeticamente selado que é acoplado por um eixo a um bombeador contendo um determinado número de estágios. São equipamentos que tem em média um diâmetro entre 3 a 8 polegadas, porém podem atingir um diâmetro maior, por exemplo 12 polegadas, quando necessita-se de uma alta vazão.

As bombas submersas são compostas de dois equipamentos, um motor e um bombeador. O motor por indução é composto por um eixo rotor induzido de aço inoxidável, um estator contendo ranhuras internas, bobinas de cobre que são instaladas dentro das ranhuras do estator, dois mancais sendo um superior e outro inferior, kit mancal que é composto por um disco de grafite e pastilhas segmentadas, além do kit membrana e do cabo de alimentação elétrica (ELECTRIC, 2021) ^[10].

Seu funcionamento consiste na formação de um campo magnético rotativo CMR, gerado quando uma corrente monofásica ou trifásica passa pelas bobinas de cobre. No centro desse CMR existe um eixo condutor, onde é induzido pelo campo. Segundo a lei de Faraday, essa indução gera forças eletromagnéticas em que de acordo com a lei de forças de Lorentz, uma força eletromagnética será produzida no condutor gerando uma rotação no mesmo. Devida a alta rotação, o motor produz muito calor, podendo ocasionar danos ao equipamento e é por esse motivo que o motor é abastecido por óleo ou por uma mistura de água e óleo para um resfriamento eficaz, uma camisa de refrigeração ao redor do motor e um pequeno impulsor fazem com quem o ciclo contínuo do fluido refrigerante não permita que o motor superaqueça (ELECTRIC, 2013) ^[9].

O bombeador é a segunda parte que compõe o motor bomba submersa. Ele é composto por uma carcaça, um eixo que passa por toda sua extensão fornecendo movimento rotativo para os corpos de estágio, formado por rotores e difusores, além desses componentes, o crivo, corpo de sucção, válvula de retenção, corpo de válvula e outros componentes de ajustes e vedação (ELECTRIC, 2021) ^[10].

Basicamente a sua função é converter energia mecânica do eixo em energia cinética e de pressão para o fluido. Seu funcionamento consiste em gerar uma zona de diferença de pressão no crivo da bomba, devido a rotação dos rotores geram uma pressão de sucção fazendo com que o fluido entre pelo crivo da bomba seguindo para os olhos dos rotores (orifício no centro do rotor) onde é lançada radialmente devida a ação centrífuga, dessa forma as partículas do fluido ganha energia cinética e de pressão, após passar pelo rotor o fluido é redirecionado através de um dispositivo estacionário chamado difusor deixando pronto para o próximo estágio. A série de rotores e difusores conectados pelo eixo do bombeador multiplica o ganho de pressão em cada estágio, esta é a razão pela qual as motor bombas submersas produzem uma grande quantidade de impulso de pressão. Por fim a água assim bombeada passa por uma válvula anti-retorno, instalada no corpo de válvula, evitando deste modo o fenômeno chamado de golpe de arride, que é quando a água tenta retornar para a bomba devido à gravidade e caso entre em contato com os rotores força um movimento rotacional inverso, gerando um impacto nos componentes mecânicos do equipamento e uma força torcionária no eixo (MAITELLI, 2010) ^[19].

A válvula anti-retorno é um entre vários mecanismos de segurança que evitar danos nas bombas submersas. Danos como, desgaste nos rotores, nos mancais e nos eixos, seja por materiais abrasivos sugados pelo equipamento, por cavitação, curtos nas bobinas, falta de fase, sobreaquecimento, desbalanceamento dos rotores ou do eixo, além de um grande problema que é o cisalhamento do eixo do induzido (PEREIRA, 2016) ^[24].

Uma das grandes problemáticas na manutenção de uma bomba submersa é quando há a necessidade de se recuperar o eixo do induzido devido as condições críticas de trabalho, onde são submetidos a força de torção, a desgastes constantes devido o atrito cinético, as altas temperaturas, além dos riscos de empenamento devido a solda e falhas na usinagem. Podendo ocorrer o cisalhamento do eixo por fadiga ou devido alguma falha no processo de recuperação.

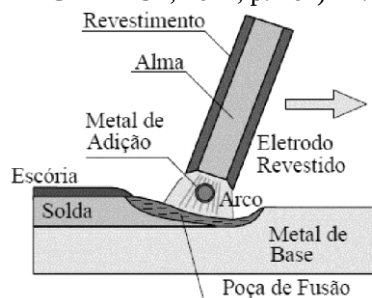
2.1.2 Soldagem com eletrodo revestido.

O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), se trata de um método de fabricação bastante utilizado nas indústrias de pequeno e grande porte, graças a sua grande flexibilidade entre todos os outros processos de soldagem. Uma vez que um grande número de materiais, como aços baixo carbono, baixa liga, média liga e alta liga, aço inoxidável, ferro fundido, alumínio, cobre, níquel e outras ligas metálicas podem ser soldadas. Além de sua grande flexibilidade de operação em locais diversos, devido a portabilidade do seu equipamento, onde consistem, uma fonte de energia, cabos, um porta eletrodo e o

eletrodo a ser consumido, ferramentas auxiliares (picadeira e escova de aço) e também os EPIs indicados para a operação de soldagem (MARQUES, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A., 2013, p.183) ^[20].

Seu processo de soldagem consiste na formação de um arco elétrico mantido constante entre duas partes metálicas, a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho/metal base. O arco formado, produz um calor suficiente para fundir o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento. Quando as gotas de metal fundido do eletrodo são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento. A escória líquida flutua em direção à superfície da poça de fusão, onde protege o metal de solda da atmosfera durante a solidificação. Além de proteger a poça de fusão, o revestimento do eletrodo tem como principais funções estabilizar o arco elétrico e ajustar a composição química do cordão, adicionando elementos de liga e eliminando impurezas. O processo é apresentado esquematicamente na Figura 01. (WAINER, E.; BRANDI, S.; MELLO, F., 2010, p.52) ^[27]

Figura 01. Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2017, p. 167) ^[21].



O comprimento do arco na soldagem com eletrodos revestidos é controlado manualmente pelo soldador, diminuindo ou aumentando a distância entre o eletrodo e a metal base, por esta razão o cordão de solda sofre variações de penetração, espessura e homogeneidade durante a execução podendo afetar nas propriedades químicas e mecânicas da solda.

Um eletrodo revestido é constituído por uma vareta metálica, a alma, com diâmetro entre 1,5 e 8 mm e comprimento entre 23 e 45 cm, recoberta por uma camada de fluxo, o revestimento. A composição do revestimento determina as características operacionais dos eletrodos e pode influenciar a composição química e as propriedades mecânicas da solda efetuada (WAINER, E.; BRANDI, S.; MELLO, F., 2010, p.38) ^[27].

Um eletrodo ideal seria aquele que cumprisse plenamente todas as funções que teoricamente são determinadas, a um custo de produção satisfatório, e ainda que não apresentasse problemas de conservação e manuseio. Obviamente, tal eletrodo não existe, e os eletrodos comerciais procuram atender mais completamente a um conjunto de exigências, em detrimento de outras, de modo a torna-los adequados a determinadas aplicações, a um custo razoável.

Como consequência, existe no mercado uma variedade e tipos de eletrodos que apresentam diferentes características operacionais, aplicáveis a diferentes materiais e que produzem soldas com diferentes aspectos. Por este motivo, existe uma grande variedade de eletrodo revestido, categorizado por diversas normas, contudo a mais utilizada no Brasil para classificação dos eletrodos revestidos é a ASME II Part C (American Society of Mechanical Engineers - Sociedade Americana dos Engenheiros Mecânicos), que segue as definições da AWS (American Welding Society - Sociedade Americana de Soldagem). A classificação é feita de acordo com o tipo de consumível, propriedades mecânicas, posições de soldagem, tipo de revestimento e composição química do metal depositado.

Seguindo a norma, AWS, um eletrodo tem sua nomenclatura formada por 4 letras e 5 números, sendo rearranjados no seguinte formato apresentado na Figura 02 abaixo.

Figura 02. Esquema explicativo do sistema de classificação de eletrodos revestidos adotado pela especificação AWS (De autoria própria).

AWS E XXYY – 1HZ R

Onde a primeira letra (E) indicará que o eletrodo é para soldagem a arco, as duas letras seguintes (XX) indicam o limite de resistência mínimo do metal depositado em 1000 psi, esta refere-se à obtida em corpos de prova, extraídos de soldas depositadas em chanfros especiais conforme exigido nas especificações. Assim, por exemplo, dois eletrodos capazes de depositar, nas condições da norma, um material com resistência mecânica de 60.000 psi e 100.000 psi, estariam classificados como E 60YY e E 1000YY. Em seguida temos mais duas letras (Y) indicando as posições de soldagem utilizáveis, por exemplo o numeral 2 significa que a soldagem pode ser feita na posição plana e horizontal, já o outro algoritmo (Y) indica o tipo de revestimento e sua corrente, por exemplo, o eletrodo E 6012 indica que o eletrodo pode ser utilizado em qualquer posição (1) e a composição do revestimento é rutilico e sódio, operando em uma corrente CC- ou CA (2).

Para aços de baixa liga, a classificação AWS apresenta, após o último dígito que indica o tipo de revestimento,

um hífen seguido de um conjunto de letras e números, que estabelece classes de composição química, por fim, a letra (R) indicando os requisitos de absorção de unidade.

Outro eletrodo, muito utilizado na indústria, que também apresenta suas particularidades na sua classificação e nomenclatura são os eletrodos de aços inoxidáveis, sendo agrupados na especificação AWS A 5.4 e divididos em 5 grupos diferenciando no tipo de revestimento, posição de soldagem e tipo de corrente, por exemplo o eletrodo E XXX-16 utilizado para operar com CC+ e CA, com revestimento rutilico (potássio), utilizável em todas as posições (WAINER, E.; BRANDI, S.; MELLO, F, 2010) [27].

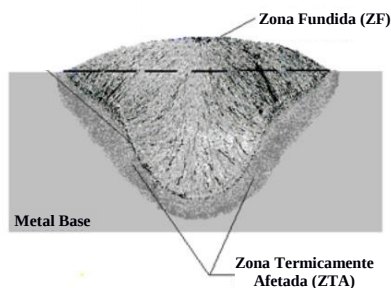
Os eletrodos revestidos podem ser facilmente danificados se não forem adequadamente manuseados e armazenados. Por exemplo, parte do revestimento pode ser quebrada e perdida em caso de choques, quedas ou se o eletrodo for dobrado. A absorção de umidade também pode comprometer o desempenho do eletrodo, já que um teor de umidade excessiva pode levar à instabilidade do arco, à formação de respingos e de porosidade, principalmente no início do cordão. Por esses motivos se faz necessário a utilização de estufas para armazenagem dos eletrodos, protegendo de danos mecânicos e da umidade do meio ambiente (MARQUES, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A., 2013) [20].

Na soldagem manual com o eletrodo revestido, as principais variáveis operacionais são: tipo e diâmetro do eletrodo, já que esses fatores determinam a faixa de corrente em que este pode ser utilizado. Com isso, a seleção do diâmetro deve ser baseada na espessura do metal a ser soldado, na posição de soldagem e no tipo de junta. Caso contrário, a utilização de um eletrodo excessivamente grande para uma dada espessura pode levar a perfuração da peça durante a operação, uma vez que a corrente mínima para o eletrodo é elevada. Outro fator importante é a polaridade e valor da corrente de soldagem, que afetam diretamente a formação e as dimensões da poça de fusão, a estabilidade do arco e a transferência de material de adição.

Ao fim do processo de soldagem, pode-se determinar três regiões com características diferentes formando a curva de repartição térmica. A primeira destas regiões é a Zona Fundida, que é a região onde o material fundiu-se e solidificou, tendo como temperatura operacional superior a temperatura de fusão do metal-base. A segunda é a Zona termicamente afetada (ZTA), é a região que é afetada termicamente pela temperatura do arco elétrico, contudo não é fundida, devido ao calor, sua microestrutura é alterada, em consequência suas propriedades também sofrem alterações. A terceira é o metal base, se trata da região mais afastada do cordão de solda, não sendo esta afetada pelo processo de soldagem, pela sua temperatura de pico ser inferior a temperatura crítica do material (LINS JUNIOR, Amilton Sousa et al., 2014, p. 200-211) [16].

Estas três zonas, implicam diretamente com a qualidade superficial da usinagem, demonstrando a dependência direta de um processo pelo outro.

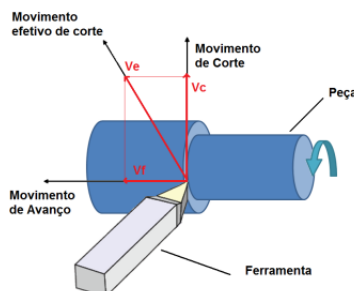
Figura 03. Seção transversal de uma solda (DEM, 2016, p.04.) [7]



2.1.3 Torneamento

O torneamento é a operação de usinagem mais comumente empregada em trabalhos de corte de metal, segundo Trent e Wright (2000) [26]. O material a ser cortado é fixado em uma placa de castanhas de um torno e rotacionado, enquanto a ferramenta, presa firmemente no porta-ferramenta, move-se em plano que, idealmente, contém o eixo de rotação da peça, conforme Figura 4.

Figura 04. Velocidades e direção dos movimentos efetivos de corte, de avanço e efetivo no torneamento (DE NOVAES, Felliipe Biazi; DE SOUZA, Rafael Agrizzi, 2009, p.15) [6].



De acordo com, Machado et al. (2015) ^[18], os movimentos de uma operação de torneamento são: Movimento de corte, que consiste no movimento entre a ferramenta e a peça, provocando a remoção de cavaco (lascas de metal que são retiradas pela ferramenta de corte) durante uma única rotação da peça. Movimento de avanço, no qual ocorre entre a ferramenta e a peça e que, com o movimento de corte, possibilita uma remoção contínua ou repetida do cavaco, durante várias rotações da ferramenta. E por fim, o movimento efetivo de corte que consiste no movimento entre a ferramenta e a peça, a partir do qual resulta o processo de usinagem. Quando o movimento de avanço é contínuo, o movimento efetivo de corte é o resultado da composição dos movimentos de corte e de avanço.

Para Machado et al. (2015) ^[18] a operação de torneamento pode ser subdividida em desbaste e acabamento. Na operação de desbaste, os cavacos obtidos são grossos e a superfície da peça desbastada apresenta sulcos profundos resultando em uma elevada rugosidade, contudo, consiste em um processo rápido. Já no processo de acabamento, podemos obter um produto com dimensões finais exatas e rugosidade adequada, pois os sulcos produzidos na superfície quase não são percebidos devido os finos cavacos retirados, se tornando um processo mais lento.

2.1.4. Rugosidade Superficial

A rugosidade superficial é um conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam o acabamento superficial (SHAPA, 2000). A avaliação da rugosidade é importante para solução de muitos problemas, como deformação de contato, condução de calor, corrente elétrica, estanqueidade das juntas de contato e precisão posicional (GADELMAWLA et al., 2002) ^[11].

A necessidade do estudo do acabamento da superfície usinada aumenta de acordo com a medida que cresce a precisão de ajuste entre as peças a serem acopladas. Já que a precisão dimensional de forma e posição não são suficientes para garantir a funcionalidade da acoplagem (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2015) ^[1].

No torneamento, o avanço e o raio de ponta têm uma contribuição geométrica à rugosidade superficial (Diniz et al., 2003) ^[8]. Usinagem de torneamento de acabamento envolve a ponta, ou seja, o raio de ponta do inserto da ferramenta de corte.

Em termo de valores, a rugosidade media (Ra) pode ser determinada pela média aritmética dos valores absolutos do comprimento da amostragem (NBR ISSO 4287:2002). Pode-se chegar a um valor teórico de Ra através da forma matemática abaixo. Onde (f) representa o avanço e o ($r\epsilon$) equivale ao raio de arredondamento da ponta da ferramenta.

Equação 01. Calculo da rugosidade media teórica (MACHADO, A. R., 2011) ^[17].

$$Ra = \frac{f^2}{8 * r\epsilon} * 1000 (\mu m)$$

Onde (f) representa o avanço de corte e o ($r\epsilon$) equivale ao raio de arredondamento da ponta da ferramenta.

A finalidade do torneamento de acabamento é gerar produtos com alta precisão dimensional e boa qualidade de acabamento da superfície. A rugosidade de uma superfície usinada é considerada como uma das principais características do produto, uma vez que influencia diretamente a vida em fadiga, o coeficiente de atrito, a resistência ao desgaste e pôr fim a confiabilidade do produto durante o serviço (RATNAM, 2017).

A rugosidade é afetada por diversas variáveis já citada a cima, e pode ser avaliada por alguns parâmetros que se classificam em parâmetros de amplitude: determinados por alturas dos picos, profundidade dos vales, ou pelos dois (não considerando os espaçamentos entre as irregularidades ao longo da superfície), conhecido como parâmetro Ra . Parâmetros de espaço: determinados pelo espaçamento do desvio do perfil ao longo da superfície. Parâmetros híbridos: determinados pela combinação dos parâmetros de amplitude e de espaço (MACHADO, A. R. 2011) ^[17]. Apesar da complexidade da análise a realização do ensaio é bastante simples, consistindo apenas em posicionar o rugosímetro na superfície a ser analisada e através de uma agulha localizada na extremidade do aparelho é medido as imperfeições (rugosidade) da superfície.

2.2. Materiais

2.2.1. Corpo de prova

Os materiais utilizados para execução desse trabalho foram 2 eixos induzidos, ambos fabricados de aço inoxidável austenítico ABNT 304, utilizados nos motores de bombas submersas. O primeiro eixo (Figura 05), se trata do corpo de prova 1 (CP1), que irá passar pelo processo de recuperação com enchimento por solda. E o segundo eixo (Figura 06), nomeado como corpo de prova 2 (CP2), que passará pelo processo de recuperação de emenda por solda.

Figura 05 – Eixo de induzido desgastado (De autoria própria)



Figura 06 – Eixo de induzido cisalhado (De autoria própria)

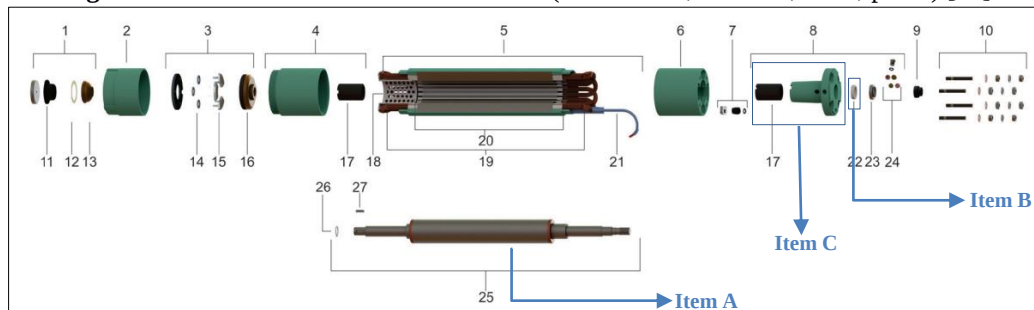


Pode-se subdividir as extremidades dos eixos (item A) em 3 partes cada (Figura 07 e 08), a parte 01 é responsável pelo acoplamento do eixo de induzido com o eixo do bombeador, a parte 02 demarcada na figura corresponde a região onde se localiza o retentor (item B) e a parte 03 na qual se caracteriza por ser a maior região e a que se tem uma maior atenção, já que é o local onde ficara em contato com o mancal de grafite (item C), responsável pela sustentação do eixo do motor.

Figura 07 – Motor série 350 – Bombas Leão (ELECTRIC, Franklin, 2021, p.162) [10]



Figura 08 – Motor série 350 – Bombas Leão (ELECTRIC, Franklin, 2021, p.162) [10]



Complementando o corpo de prova 2, foi utilizado uma barra redonda de aço inoxidável austenítico ABNT 304 com uma polegada de diâmetro e 200 mm de comprimento.

A composição química dos eixos é descrita abaixo na Tabela 01. Os elementos de liga possuem propriedades específicas que atribuem aos aços inoxidáveis certas características. O principal elemento, cromo, forma um filme de óxido estável (Cr_2O_3) que protege o aço contra a oxidação provocada pela atmosfera e em altas temperaturas. O molibdênio melhora a resistência do material a altas temperaturas, porém dificulta a usinagem, assim como o níquel. O níquel, ajuda a estabilizar a fase austenítica, melhorando a ductilidade, resistência mecânica e soldabilidade (IMO, 2014) [14]. O manganês permite a formação de sulfatos na forma de inclusões, que se deformam plasticamente durante a formação do cavaco produzindo baixa resistência ao cisalhamento (Machado et al., 2015) [18].

Tabela 01: indicando a composição química do aço inoxidável austenítico ABNT 304. (SIMÕES, Maurício Silva; CASTRO, Ana Luiza Resende de; ANDRADE, Margareth Spangler, 2010, p.52)

Carbono	Cromo	Manganês	Silício	Fósforo	Enxofre	Níquel	Nitrogênio	Ferro
0,07%	17,50 a 19,50%	2,00%	1,00%	0,045%	0,015%	8,00 a 10,50%	0,10%	% Restante

2.2.2. Soldagem com eletrodo revestido.

No processo de soldagem com eletrodo revestido foram utilizados EPI's, como, máscara de soldagem, bata de couro, luva de couro e perneira de couro. Outros materiais utilizados foram: uma máquina de solda ESAB, modelo origo Arc 426 para eletrodo revestido, um porta eletrodo e os eletrodos UTP 68 LC 308L - 17 de 2,5mm. Além de escovas de aço e um martelo picador de solda.

2.2.3 Ferramentas de usinagem

Para a realização da usinagem dos eixos foi utilizado um torno mecânico da marca Mardini, modelo Nodus ND 325. Dois tipos de pastilhas de corte foram utilizados, uma para desbaste 160408 e uma para acabamentos 160404 além de algumas lixas metálicas de granulometria de 400. Para a recuperação do eixo cisalhado (CP2), foi utilizada uma máquina serra fita horizontal da marca Ferrari.

2.2.4 Ferramentas de medidas

Para conferir as medidas necessárias durante o processo experimental, foram utilizados: um paquímetro de 8 pelegas Mitutoyo, um micrômetro externo Mitutoyo e um rugosímetro da marca Mitutoyo.

2.3. Método

A metodologia utilizada para a execução dos experimentos proposto no trabalho, trata-se de um processo desenvolvido e utilizado pela empresa RN TOP BOMBAS, localizada no município de Mossoró-RN, Rua Francisca da Nobrega Gurgel – Dix Sept Rosado, Bairro Aeroporto, para recuperar eixos de induzidos de motores de bombas submersas.

Dois casos foram estudados, a recuperação de um eixo cisalhado (com diâmetro de 20mm) de um motor bomba LEÃO de 7,5CV e a recuperação de um eixo desgastado, de um motor EBARA de 7,5HP com diâmetro final do eixo de 25 mm.

As duas amostragens passaram por um processo semelhante, no qual consiste em um tratamento inicial no torno, para retirar as imperfeições e preparar o eixo para o processo de soldagem, que pode ser de enchimento ou emenda. Foram realizadas medições do diâmetro dos corpos de prova com o paquímetro, antes e depois do processo de torneamento (Figura 07), como em Kikukawa, 2019 ^[15].

Figura 09 – Verificação das medidas (De autoria própria).



No CP1, foi necessário fazer apenas o enchimento com solda, o processo se iniciou logo após o torneamento externo de desbaste inicial no torno mecânico citado acima. Com o eixo já desbastado e uniforme e ainda preso no torno mecânico, iniciou-se o processo de soldagem utilizando como parâmetro a polarização inversa e uma corrente de 100 a 120 amperes. Cordões de solda são feitos no sentido longitudinal do eixo, realizando de 2 a 4 passos de cada vez intercalados com intervalos de 5 a 10 minutos (Figura 09), diminuindo o risco de empenamento do eixo e mudanças de propriedades mecânicas do material, devido as altas temperaturas durante o processo de soldagem. Após todos os cordões de solda serem feitos e o eixo está com um diâmetro de 5 mm maior que a medida final do eixo, o processo de solda é finalizado e é retomada a usinagem.

Figura 10 – Processo de enchimento do eixo por soldagem de eletrodo revestido (De autoria própria).



Para finalizar o serviço de recuperação desse eixo, foram realizados dois processos de torneamento, o desbaste que deixou o eixo com um diâmetro de 26 mm, utilizando uma rotação de 1000 rpm, uma velocidade de corte de 94 m/min e um avanço de 0,16 mm. E o acabamento, onde foi utilizado a mesma rotação, porém com uma velocidade de corte de 79 m/min e um avanço de 0,053 mm até que a peça estivesse com as medidas e tolerância recomendadas pela fábrica que são de 25 mm e 0,03 mm de folga respectivamente, medições com o paquímetro e com o micrometro são realizadas diversas durante todo o processo de usinagem.

Após essa etapa o eixo é polido com uma lixa de granulometria de 400, dando uma prioridade no acabamento superficial no local do eixo onde irá trabalhar os mancais de grafite (Região 03). Finalizado o eixo tem suas medidas conferidas pela última vez antes de ser aprovado para o setor de montagem.

Figura 11 – CP1 Finalizado (De autoria própria).



Para o CP2 a metodologia teve algumas mudanças, inicialmente foi realizado um corte utilizando uma serra mecânica na extremidade cisalhada. Após o corte, o eixo foi levado para o torno preparando-o para o processo de soldagem, que consiste em deixar a peça com a superfície uniforme e com um chanfro de 30° na sua extremidade. Em seguida um tarugo de 200 mm do mesmo material do eixo é cortado na serra mecânica (Figura 12), após o corte, o chanfro é feito com a mesma inclinação, porém deixando um furo central na sua extremidade podendo assim unir as peças no torno (Figura 13).

Figura 12 – eixo sendo cortado na serra (De autoria própria).



Figura 13 – Preparo do eixo para receber a solda (De autoria própria).



Em seguida o processo de solda foi iniciado (Figura 14) seguindo a mesma metodologia abordada na primeira amostra, citada acima. Finalizando a emenda, o processo de desbaste e acabamento é realizado utilizando uma rotação de 1000 rpm, uma velocidade de corte de 79 m/min e com um avanço de 0,16 mm. Após desbastar o eixo até um diâmetro de 21 mm o processo de acabamento se inicia, utilizando a mesma rotação, com uma velocidade de corte de 66 m/min e um avanço de 0,053 mm o eixo é usinado e lixado até atingir as medidas desejadas de 20 mm, com uma tolerância máxima de folga, estipulada pelo fabricante, de 0,03 mm (Figura 15).

Figura 14 – Eixo de induzido sendo emendado por solda em tarugo de aço inox 304 (De autoria própria)



Figura 15 – CP1 Finalizado (De autoria própria).

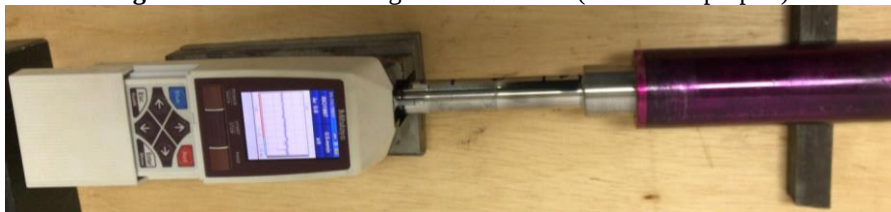


Posterior ao serviço de solda e torneamento os eixos, um ensaio de rugosidade foi realizado na superfície, analisando 3 pontos diferentes em cada amostra (Figura 16 e 17), a medição da rugosidade foi realizada com um 'cut-off' de valor 0,8 mm e um valor de 4,8 mm de percurso de medida (lm). Posteriormente a medição os valores de Ra foram anotados e transferidos para uma tabela, onde foi calculado a média aritmética da rugosidade cada eixo.

Figura 16 – Análise de rugosidade no CP1 (De autoria própria).



Figura 17 – Análise de rugosidade no CP2 (De autoria própria).



Ao termino dos ensaios foi calculado o Ra médio teórico do torneamento utilizando a Equação 01.

$$Ra = \frac{f^2}{8 * r_{\epsilon}} * 1000 (\mu m)$$

Aplicando os valores, pode-se encontrar o seguinte valor abaixo.

$$Ra = \frac{0,053^2}{8 * 0,4} * 1000 \quad Ra = 0,878 \mu m$$

Com o conhecimento do valor de rugosidade teórico, os valores de rugosidade experimental e o valor de rugosidade media (Ra) máxima recomendado pelo fabricante (fornecidos pela Franklin Electric – Bombas Leão para a assistência técnica RN TOP BOMBAS), foi feita a tabela 04 e plotado os seguintes gráficos abaixo.

2.4. Resultados e Discussões

Na Tabela 02 pode ser verificado os valores do parâmetro medido nos três pontos especificado do eixo CP1 utilizados no estudo.

Tabela 02 – Análise de rugosidade do eixo CP1 (De autoria própria).

EIXO DE INDUZIDO DE BOMBA SUBMERSA RECUPERADO COM ENCHIMENTO POR SOLDA					
	Região 1	Região 2	Região 3	Média	Máximo
Ra (µm)	0,607	0,087	0,095	0,263	0,607

Na Tabela 03 pode ser verificado os valores do parâmetro medido nos três pontos especificado do eixo CP2 utilizados no estudo.

Tabela 03 – Análise de rugosidade do eixo CP2 (De autoria própria).

EIXO DE INDUZIDO DE BOMBA SUBMERSA RECUPERADO COM EMENDA POR SOLDA					
	Região 1	Região 2	Região 3	Média	Máximo
Ra (μm)	0,029	0,033	0,047	0,036	0,047

Tabela 04 – Tabela comparando as rugosidades médias, calculadas e fornecidas (De autoria própria).

RUGOSIDADE MÉDIA				
	Ra(med) - CP1	Ra(med) -CP2	Ra teorico	Ra do Fabricante
Ra (μm)	0,263	0,036	0,878	0,08

Gráfico 01 – Gráfico comparativo entre as rugosidades media Ra (De autoria própria).

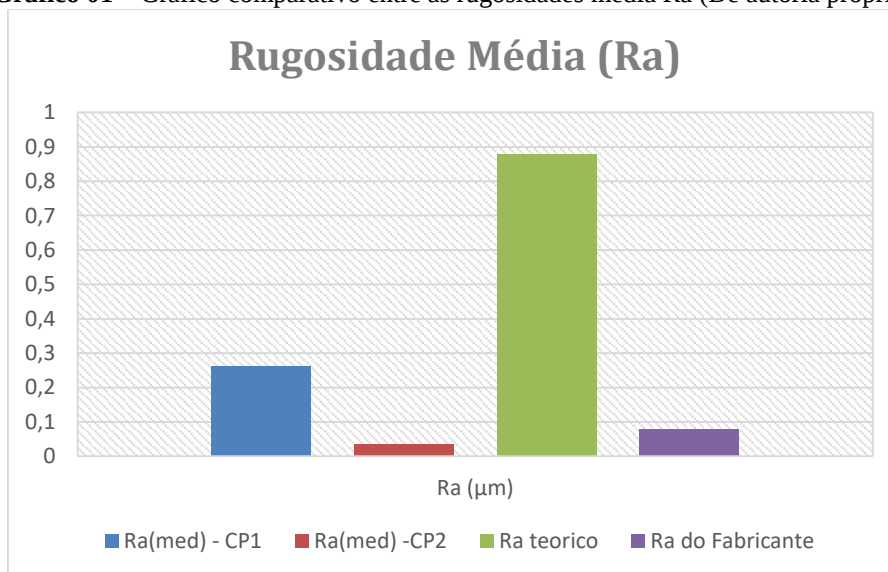
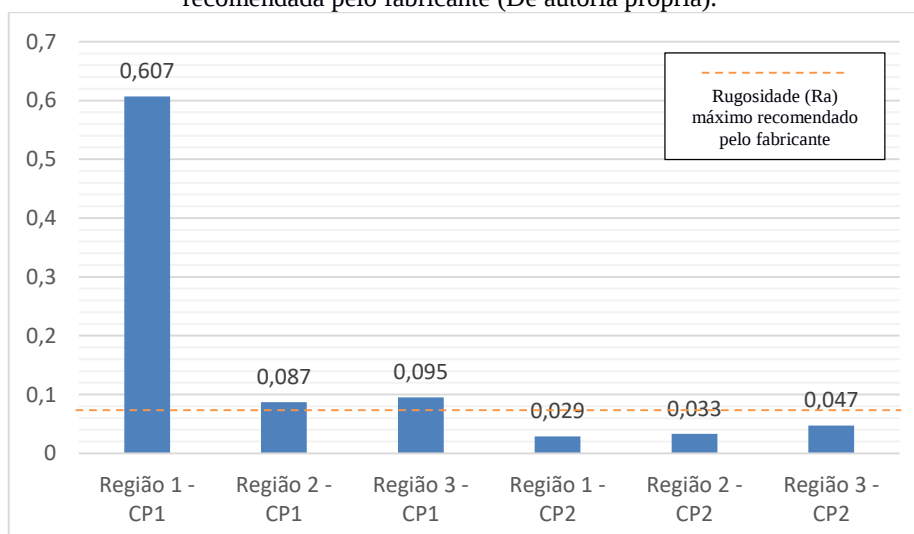


Gráfico 02 – Gráfico comparando a rugosidade das regiões dos dois eixos com a rugosidade máxima recomendada pelo fabricante (De autoria própria).



Pode-se observar que a rugosidade média do CP1 ficou acima do esperado, uma provável causa desse ocorrido é devido as falhas pontuais no acabamento superficial do eixo, como poros ou respingos deixados pelo processo de soldagem que não foram retirados na usinagem, provocando uma leitura fora da curva (isso pode ser

visto na tabela 02 primeira coluna) e consequentemente esse erro é projetado na média final do Ra.

Outro detalhe que podemos destacar é a validação do processo de reparo do eixo CP2 quando relacionado a acabamento superficial, já que sua rugosidade ficou bem abaixo do máximo recomendado pelo fabricante.

A rugosidade teórica do eixo se refere ao processo de acabamento na usinagem, antes do acabamento com a lixa, por esse motivo obteve um valor maior do que os demais. Porém ao comparar com o CP1, pode-se dizer que os valores estão próximos, a razão desse acontecido foi provavelmente correspondente as imperfeições da ponta da ferramenta de corte no eixo, que não foram retiradas por completo no processo de acabamento final com a lixa.

Através do Gráfico 02 fica notório que ocorreu um erro experimental em uma das leituras do primeiro eixo, já que o valor apresentado é bem maior dos outros. Erro esse ocasionado por falha humana no momento da leitura, ou por algum arranhão ou defeito na superfície do eixo.

3. CONCLUSÕES

Ao final desse trabalho pode-se concluir que o processo de soldagem foi realizado com maestria, já que os preenchimentos da área a ser soldada nos eixos foram realizados corretamente, apresentando uma quantidade mínima de respingos, incrustações e bolhas, possibilitando um melhor acabamento superficial. Motivos que agregam esses benefícios, além da qualidade profissional do soldador, são os parâmetros de polaridade e corrente adotados.

A polaridade invertida e a faixa de amperagem escolhida proporcionaram uma maior penetração, uma uniformidade do seu cordão, além de evitar um aquecimento excessivo do eixo e respingos (QUERIOZ, 2021).

Isso pode ser comprovado comparando os valores de rugosidades experimentais nas três regiões das tabelas 02 e 03. Na qual apresentaram valores aproximados.

Em relação aos parâmetros de usinagem utilizados, velocidade de avanço, velocidade de corte e rotação. Pode-se afirmar que os resultados obtidos foram satisfatórios, utilizando a velocidade mínima de avanço permitida pelo torno mecânico, com a rotação máxima para o diâmetro do eixo utilizado, recomendada pelo fabricante Mardini, e consequentemente utilizando a velocidade de corte adequada. Foi atingido uma qualidade superficial satisfatória, atingindo valores ainda mais significativos no corpo de prova 2, em que tivemos valores de rugosidade abaixo do máximo recomendado pelo fabricante, como visto no Gráfico 02. Uma hipótese para essa conclusão é uma possível diferença no acabamento com a lixa entre os dois eixos, tendo uma qualidade melhor no CP2 do que no CP1.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGOSTINHO, Oswaldo Luiz; RODRIGUES, Antonio Carlos dos Santos; LIRANI, João. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios E Análise De Dimensões**. 14. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2015. 295 p.
- [2] ALMEIDA, Paulo Samuel . **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2018.
- [3] AMORIM, Heraldo José de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- [4] BARROS, Deiverson Cruz. **Avaliação do sistema de manutenção em poços artesianos por meio do guincho hidráulico adaptado em caminhão**. Orientador: Carlos Oliveira. 2016. 61f. TCC (Graduação) – curso de engenharia civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas. 2016.
- [5] BRANCO, G. M.; BRANCO, F. C. **Inventário de fontes móveis: análise prospectiva e retrospectiva dos benefícios do Proconve para a qualidade do ar desde 1980 a 2030**. Trabalho realizado para o Ministério do Meio Ambiente com o suporte da Fundação Hewlett. mar. 2007.
- [6] DE NOVAES, Felipe Biazi; DE SOUZA, Rafael Agrizzi. **Análise da formação do cavaco no torneamento do alumínio utilizando câmara de alta velocidade**. Monografia (Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória– ES, 2009, p.15.
- [7] DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DEM - CAMPUS II. **Apostila: Tecnologia da soldagem**. Fevereiro de 2016, p.04.
- [8] DINIZ, A.E., MARCONDES, F.C., COPPINI, N.L. **Tecnologia da Usinagem dos Metais** (4.ed.). São Paulo: Editora Artliber, 2003. 248 p.

-
- [9] ELECTRIC, Franklin. **MANUAL MOTORES SUBMERSOS: Aplicação, Instalação, Manutenção - Motores Monofásicos e Trifásicos - 60 Hz**. Joinville: Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A., 2013, p.06
- [10] ELECTRIC, Franklin. **Catálogo de listas de preços de peças, 2021**. Joinville: Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A., 2021, p. 162-163.
- [11] GADELMAWLA, E.s. et al. Roughness parameters. **Journal os Materials Processing Technology**, [s.l.], v. 123, n. 1, p. 133-145, abr. 2002. Elsevier BV.
- [12] GARCEZ, L. NOGUEIRA, **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. São Paulo Editora Edgard Blucher Ltda. 2º edição, 1974. 205 p.
- [13] GOMES , Daniel Januário Cordeiro . **Determinação de resistência à fadiga em aços abnt 4140 em vidas super longas (giga ciclos)**. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2011.
- [14] IMOAA,2014. **Practical guidelines for the fabrication of duplex stainless steels**. 3. Ed., International Molybdenum Association, Pittsburgh
- [15] KIKUKAWA, Jonathan Kenji et al. **Análise do processo de torneamento em relação a rugosidade superficial do aço SAE 1010**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 4, n. 2, 2019.
- [16] LINS JUNIOR, Amilton Sousa et al. **Propriedades mecânicas e microestruturais de juntas soldadas do aço HY-80 pelos processos eletrodo revestido e GMAW**. Soldagem & Inspeção, v. 19, n. 3, p. 200-211, 2014.
- [17] MACHADO, A. R. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011, p.397.
- [18] MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015, p.407.
- [19] MAITELLI, Carla Wilza Souza de Paula. **Simulação do escoamento monofásico em um estágio de uma bomba centrífuga utilizando técnicas de fluidodinâmica computacional**. 2010, p.04.
- [20] MARQUES, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.
- [21] MARQUES, P.V; MODENESI, P.J; BRACARENSE, A.C. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 4º edição. CIDADE: Elsevier Editora. 2017
- [22] NIGEL, S.; CHAMBERS, S. **Administração de Produção**. 1º edição, Editora Atlas, São Paulo - SP 2010.
- [23] OLIVEIRA, A.; CAVALCANTI, G. Sistema Automatizado de Controle de basteci-mento de Água Proveniente de Poços Artesianos com Monitoramento Remoto. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 2, 27 jul. 2017.
- [24] PEREIRA, Leandro Luiz da Silva. **Análise de motobombas submersas com diferentes acionamentos elétricos a partir da Roda de Falhas**. 2016, p.99.
- [25] SILVA, R. A. F. **Fabricação e estudo de uma bomba hidráulica de baixo custo: Bomba de corda. Monografia (Engenharia Mecânica)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 33 p. Natal – RN, 2018
- [26] TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4 ed. Oxford: ButterworthsHeinemann, 2000. 446 p.
- [27] WAINER, E.; BRANDI, S.; MELLO, F. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.
-