

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ROBERTO SANTOS

**MELHORIA NO CHANFRAMENTO DAS BORDAS DE ANÉIS PARA SOLDAGEM
POR ARCO SUBMERSO DURANTE A FABRICAÇÃO DE TORRES EÓLICAS:
UM ESTUDO DE CASO**

SANTOS/SP

2017

ROBERTO SANTOS

**MELHORIA NO CHANFRAMENTO DAS BORDAS DE ANÉIS PARA SOLDAGEM
POR ARCO SUBMERSO DURANTE A FABRICAÇÃO DE TORRES EÓLICAS:
UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Me. Willy Ank de Moraes.

SANTOS/SP

2017

Autorizo a reprodução parcial ou total, deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

621.45 Santos, Roberto.
S234m Melhoria no chanframento das bordas de anéis para a soldagem por arco submerso durante a fabricação de torres eólicas: um estudo de caso/ Roberto Santos.
-- 2017.
123 f.

Orientador: Prof. Me. Willy Ank de Moraes.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2017.

1. Torre eólica. 2. Automação de Usinagem.
3. Juntas de Solda. 4. Anéis de junção. I. Moraes, Willy Ank. II. Melhoria no chanframento das bordas de anéis para a soldagem por arco submerso durante a fabricação de torres eólicas.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

Dedico este trabalho a minha família que, com compreensão e amor, abriram mão de tempo precioso de convívio para meu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos difíceis, por me mostrar os caminhos e por estar comigo nos momentos de conquista.

A minha família pela dedicação e incentivo para essa realização.

Ao Prof. Me. Willy Ank de Moraes, pelo exemplo de profissionalismo, pelo apoio e orientação durante a execução deste trabalho.

Aos Engenheiros José Quina Diogo e Gustavo Catalani Quina Diogo, da empresa ENGEBASA, pela permissão para que eu pudesse acompanhar e participar do processo de construção das torres metálicas, propondo uma melhoria em uma de suas etapas de conformação e, ao Engenheiro Flavio Figueiredo, pelo acompanhamento da montagem do dispositivo suporte de esmerilhadeira.

A todos os docentes e colegas de sala do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNISANTA, que sem dúvida contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos colegas Professores, Instrutores e à Direção da Escola Técnica “Aristóteles Ferreira e Dona Escolástica Rosa” pela ajuda durante a execução dos experimentos.

Ao amigo Professor Mestre Henrique Pereira, professor da ETEC Santos, pela ajuda nos desenhos do dispositivo.

Ao amigo, Jorge Mendanha, professor da ETEC Santos, pela ajuda nas medições de rugosidade.

Ao colega Waldemar Carmelito dos Santos, pela ajuda na preparação dos corpos de prova.

A amiga intelectual Professora Mestre Camila Papa Lopes, pela revisão dentro dos moldes científicos desta dissertação.

A todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

RESUMO

Este trabalho analisou as condições de trabalho e a qualidade de acabamento que eram empregadas na preparação e chanfragem manual das bordas de junção entre os anéis tronco cilíndricos que compõem uma torre eólica metálica. A partir desta análise, foi proposto o desenvolvimento e a confecção de um dispositivo semi automático que tem a finalidade de reduzir o esforço humano durante a execução das operações de chanframento, assim como melhorar e homogeneizar a qualidade dos chanfros obtidos, impactando positivamente na qualidade do processo de soldagem por arco submerso empregado. Os resultados obtidos, quando comparados com o procedimento manual realizado anteriormente, evidenciaram a viabilidade do desenvolvimento, a aplicabilidade do dispositivo e da possibilidade de uso de diferentes abrasivos como forma de diminuir o tempo de fabricação das torres, pela redução do tempo da operação de usinagem em si e pela redução nos reparos posteriores na solda obtida associadas a problemas de qualidade da junta. O trabalho também aponta para a completa automatização futura da operação analisada.

Palavras-Chave: Torres eólicas. Automação de usinagem. Juntas de solda. Anéis de junção.

ABSTRACT

This work analyzed working conditions and quality of finishing were employed in the preparation and manual chamfering of joint edges between the cylindrical trunk rings make up a metallic wind tower. From this analysis, it was proposed development and construction of a semi-automatic device has the purpose of reducing human effort during chamfering operations execution, as well as to improve and homogenize quality of the chamfer obtained, positively impacting quality of submerged arc welding process. The results obtained, when compared with the manual procedure performed previously, showed the feasibility of the development, the applicability of the device and the possibility of using different abrasives as a way of reducing the time of manufacture of the towers, by reducing the time of the machining operation In itself and by the reduction in subsequent weld repairs associated with joint quality problems. The work also points to the complete future automation of the analyzed operation.

Keywords: Wind towers; Machining automation; Welding joints; Jointing rings.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado final do <i>cutt-off</i> para medição do material esmerilhado por disco de flap, indicando a média ponderada das medições das seções.	89
Gráfico 2: Resultado final do <i>cutt-off</i> para medição do material esmerilhado por rebolo, indicando a média ponderada das medições das seções.	89
Gráfico 3: Resultado final do <i>cutt-off</i> para medição do material esmerilhado por disco de desbaste, indicando a média ponderada das medições das seções.	90
Gráfico 4: Resultado final do <i>cutt-off</i> para medição do material por fresamento, indicando a média ponderada das medições das seções.	91
Gráfico 5: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 1- Ra.	92
Gráfico 6: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 2- Ra.	92
Gráfico 7: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 3- Ra.	93
Gráfico 8: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 4- Ra.	93
Gráfico 9: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 5- Ra.	94
Gráfico 10: Média das Seções- Ra.	94
Gráfico 11: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 1- Rz.	95
Gráfico 12: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 2- Rz.	96
Gráfico 13: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 3- Rz.	96
Gráfico 14: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 4- Rz.	97
Gráfico 15: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 5- Rz.	97
Gráfico 16: Média das Seções- Rz.	98
Gráfico 17: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 1- Rq.	99
Gráfico 18: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 2- Rq.	99
Gráfico 19: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 3- Rq.	100
Gráfico 20: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 4- Rq.	100
Gráfico 21: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 5- Rq.	101
Gráfico 22: Média das Seções 1- Rq.	101
Gráfico 23: Evolução do índice médio de Reparos realizados em 2015 e 2016. ...	102

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração das Partes de uma torre eólica.	22
Figura 2a e 2b: Ilustração dos componentes de torres de aço tronco-cônicas e torre montada com seus componentes.....	23
Figura 3: Operação de Corte a plasma sendo executada em uma chapa de aço.....	25
Figuras 4: Ilustração de uma Calandra de Quatro Rolos.	26
Figura 5: Ilustração de uma Chapa calandrada em formato tronco-cônico.	28
Figura 6: Soldagem Longitudinal de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica pelo processo de arco submerso.	29
Figura 7: Aspecto de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica sendo preparada para receber a soldagem de seu flange.	30
Figura 8: Execução da Soldagem Circular Interna de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica.....	31
Figuras 9a e 9b): Alinhamento e paralelismo do flangeamento de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica.	32
Figura 10: Montagem e acabamento dos componentes internos de uma torre eólica.	32
Figura 11: Ensaios por Ultrassom das seções de uma torre eólica.....	33
Figuras 12a e 12b: Preparação de batente e porta de acesso a parte interna de um torre eólica.....	34
Figura 13a e 13b: Jateamento, Metalização e Pintura de uma torre eólica.....	34
Figuras 14a e 14b: Preparação dos componentes internos de uma torre eólica.	35
Figuras 15a, 15b, 15c e 15d: Inspeção e Expedição da um torre eólica acabada. ...	36
Figura 16: Zona Afetada Termicamente (ZAT).....	37
Figura 17: Fluxo na Soldagem por Arco Submerso.....	38
Figura 18: Processo de SAS.	40
Figura 19: Equipamento para SAS.....	41
Figura 20: Tipos de chanfro.....	43
Figura 21: Chanfro reto.	44
Figura 22: Classificação e Dimensão de Rebolos.	49
Figura 23: Classificação do Grupo de Rugosidades.	51
Figura 24: Perfil de Rugosidade.	52

Figura 25: Superfície real, uma herança do método de fabricação.	55
Figura 26: Componentes de análise da rugosidade superficial.	60
Figura 27: Base de Cálculo da Rugosidade Média Real (Rz).	60
Figura 28: Base de Cálculo da Rugosidade Média Absoluta (Ra).	61
Figura 29: Esboço do dispositivo para processo de esmerilhamento.	68
Figura 30: Encaixe do corpo das duas esmerilhadeiras.	69
Figura 31: Vista frontal do dispositivo.	69
Figura 32: Vista lateral do dispositivo.	70
Figura 33: Perspectiva do conjunto.	70
Figura 34: Perspectiva do conjunto do dispositivo acabado.	72
Figura 35: Vista lateral do dispositivo acabado.	72
Figura 36: Vista lateral do rugosímetro Mitutoyo.	74
Figura 37: Tela inicial do painel do rugosímetro de Mitutoyo.	75
Figura 38: Tela de medição.	75
Figura 39: Corpos de prova.	77
Figura 40: Perfil de junta C4.	78
Figura 41: Perfil de junta C5.	78
Figura 42: Perfil de junta C6.	79
Figura 43: Perfil de junta C7.	79
Figura 44: Perfil de junta C8.	80
Figura 45: Processo de esmerilhamento manual.	83
Figura 46: Posição do operador em proximidade da esmerilhadeira.	84
Figura 47: Posição do operador em proximidade da esmerilhadeira.	85
Figura 48: Processo de esmerilhamento com utilização do dispositivo suporte de esmerilhadeira.	86
Figura 49: Posição atual do operador no processo de esmerilhamento.	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipo de Abrasivos.....	48
Quadro 2: Rugosidade aritmética.....	59
Quadro 3: Material para construção do dispositivo.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificação das placas de aço.....	77
Tabela 2: Medição dos valores de Rugosidade Ra, Rz e Rq da Amostra.....	88
Tabela 3: Análise Ra.	91
Tabela 4: Análise Rz.	95
Tabela 5: Análise Rq.	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al ₂ O ₃	Alumina – óxido de alumínio
A	Amperagem
CBN	Nitreto de boro cúbico
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
Cp	Corpo de prova
Cs	Coeficiente de segurança
DC	Tempo de Pausa (%)
GAP	Referente à distância entre o eletrodo e a peça
Hz	Hertz
KVA	Kilovoltampere
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
Mfa	Medida final de acabamento
Mfd	Medida final de desbaste
On	Comprimento de onda
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de energia Elétrica
Ra	Rugosidade média absoluta (micrometros)
Rq	Rugosidade média do perfil (micrometros)
Ry	Rugosidade máxima (micrometros)
Rz	Rugosidade média real (micrometros)
SAS	Soldagem por Arco Submerso
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
SC	Soldas circunferenciais
SiC	Carbeto de silício
TS	<i>Transistor Standard</i> / Densidade de corrente
µm	Micro metros (micron)
Vc	Velocidade de corte
Vfa	Velocidade de força axial
Vft	Velocidade de força tangencial
ZAT	Zona afetada termicamente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	19
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.2 Hipóteses	20
1.3 Justificativa.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 Torre Eólica: Suporte Estrutural	22
2.1.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TORRES	25
2.1.1.1 Traçagem e Corte	25
2.1.1.2 Calandragem.....	26
2.1.1.3 Soldagem da Virola	28
2.1.1.4 Preparação e Soldagem de Flanges	29
2.1.1.5 Soldagem Circular e Formação dos Tramos	30
2.1.1.6 Paralelismo e Alinhamento de Flanges dos Tramos	31
2.1.1.7 Soldagem dos Suportes Internos	32
2.1.1.8 Inspeção por Ultrassom.....	33
2.1.1.9 Corte e Soldagem do Batente da Porta.....	33
2.1.1.10 Jateamento e Pintura	34
2.1.1.11 Montagem de Componentes Internos	35
2.1.1.12 Inspeção e Expedição das Torres	35
2.2 Soldagem por Arco Submerso	37
2.2.1 FONTE DE ENERGIA	41
2.2.2 CABEÇOTE DE SOLDAGEM	42
2.2.3 TÉCNICAS OPERACIONAIS (CHANFRO)	43
2.2.3.1 Soldas de Topo em Chanfro Reto	44
2.2.3.2 Soldas Circunferenciais (SC)	45
2.2.4 PRINCIPAIS DEFEITOS NA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO	45
2.2.4.1 Trincas a Quente	46
2.2.4.2 Porosidade	47

2.2.5 ABRASIVOS.....	48
2.2.6 RUGOSIDADE SUPERFICIAL.....	50
2.2.6.1 Importância do Acabamento Superficial.....	53
2.2.6.2 Rugosidade e Ondulação.....	56
2.2.6.3 Sistemas de medição da rugosidade.....	57
2.2.6.4 Perfis de avaliação.....	57
2.2.7 SEGURANÇA E ERGONOMIA DA MÃO DE OBRA.....	62
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3.1 Protocolo do estudo de caso.....	65
3.1.1 DISPOSITIVO SUPORTE DE ESMERILHADEIRAS.....	66
3.1.2 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO PROCESSO DE CHANFRAMENTO..	73
3.1.3 MEDIÇÃO DOS RESULTADOS APÓS A UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO ...	73
3.2 Sujeitos da Pesquisa.....	80
3.3 Coleta de Dados.....	81
3.4 Limitações do Método.....	81
4 RESULTADOS.....	83
4.1 Resultados da Análise Ergonômica da Mão-de-obra.....	83
4.2 Resultados da Medição.....	88
5 DISCUSSÃO.....	103
5.1 Ausência de critério de comparação entre processo anterior e atual.....	104
5.2 Análise do processo específico de produção.....	104
5.3 Cientificidade na análise do trabalho da mão de obra.....	104
5.4 Comparação da redução de rugosidade entre fresamento, desbaste, rebolo e flap.....	105
6 CONCLUSÃO.....	106
7 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS.....	107
REFERÊNCIAS.....	108

GLOSSÁRIO	116
APÊNDICE	119
Apêndice A – Declaração Consentimento Empresa.....	119
Apêndice B – Desenho Industrial do Dispositivo para Esmerilhamento	120
ANEXOS	121
Anexo A: Placa de Aço.....	121
Anexo B: Plano de Juntas de Soldagem (Chanfros)	122
Anexo C: Anéis e as Secções da Torre.....	123

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado aborda a adequação de preparo de anéis de torre eólica, pela análise do acabamento e preparação de chanfro nas bordas de junção dos cilindros que compõem uma torre eólica metálica conforme observado no Anexo A.

Pela ênfase dada à busca pela sustentabilidade, passou-se a buscar alternativas energéticas com recursos renováveis, dentre elas a energia eólica, que é uma fonte inesgotável e de reduzido impacto ao meio ambiente. Devido à necessidade de energia para a realização de atividades cotidianas, conforme a evolução tecnológica contínua, um dos aspectos que merecem atenção é a busca por fontes alternativas de energia, destacando-se a energia eólica.

Esta vem sendo mais utilizada no mundo e no Brasil destaca-se a necessidade de alcançar maior nível de aproveitamento energético, tendo como base que a maior parte da energia produzida no planeta advir de fontes mineral, atômica, térmica ou de águas, todas não renováveis, o que coloca em debate a segurança no suprimento de energia necessária para a sustentabilidade (OLIVEIRA NETO; LIMA, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017, p.1), a energia eólica se dá a partir:

[...] a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água.

Não sabe-se com precisão a data exata do início da produção de energia eólica, acredita-se que a civilização egípcia tenha sido a primeira a fazer uso do vento como fonte energética, usando-o para impulsionar as velas de embarcações, com o intuito de auxiliar os escravos durante a remagem, bem como para o trabalho da força animal em tarefas de moagem de grãos e bombeamento de água. Isso por volta de 2800 a.C. (ALVES, 2010).

Em 700 d. C., os persas, aperfeiçoando a técnica de utilização dos ventos, construíram moinhos de vento verticais elevados, para serem usados como força

nas mós, na moagem dos grãos. Durante os movimentos das cruzadas, outros povos depararam-se com a técnica, adotando-a em seu território, como ingleses e holandeses. Estes últimos, por sua vez, foram os responsáveis pela criação dos moinhos de vento horizontais com hélices, disseminando a técnica por toda a Europa e, posteriormente, em função, das grandes navegações, chegou esta prática ao continente americano (ANEEL, 2017).

No entanto, a geração de eletricidade a partir do uso da energia eólica só teve início no final do século XIX, com a atuação da Dinamarca, primeiro país a utilizar esta alternativa, sendo responsável pelos primeiros avanços no desenvolvimento da técnica e das turbinas, especificamente no ano de 1976, quando “a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada”, derivada de uma necessidade de busca por alternativas com a crise internacional do petróleo na década de 1970 (CBEE, 2017).

A energia eólica no Brasil passou a ser considerada como uma fonte de energia complementar a partir de 2004 com o lançamento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de energia Elétrica (PROINFA), marcando o início de projetos comerciais de parques eólicos, com a implantação de 54 parques eólicos contratados pela Eletrobras com potência instalada de geração de 1300MW, porém o custo limitou sua disseminação. Além disso, os problemas de conexão elétrica, necessidade de renovação de licenças ambientais, necessidade de capital próprio, exigência de nacionalização de 60%, prejudicaram a implantação destes parques eólicos até final de 2009, quando o mercado eólico nacional voltou a tomar força como alternativa de energia elétrica (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

Em 2012, o Brasil passou a ter energia eólica como a segunda fonte mais competitiva, atrás apenas de grandes hidrelétricas e passou a atingir capacidade instalada de geração de energia de 2GW, sendo previsto que até 2020 terá 15% de participação na matriz elétrica nacional com 18GW de participação da fonte eólica (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

No ano de 2008 havia participação de apenas 2 fabricantes de aerogeradores para energia eólica na indústria eólica brasileira, passando a 11 em 2011, sendo três empresas fabricantes situadas no Estado de São Paulo. Além destas, destacam-se as empresas produtos de componentes de aerogeradores, dentre elas a empresa

ENGEBASA, que produz torres de aço para aerogeradores (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012). Segundo o site Portal Brasil (2017) do Governo Federal, o Brasil é o maior gerador de energia eólica da América Latina:

De acordo com ranking divulgado pela Global Wind Energy Council (GWEC), organização internacional especializada em energia eólica, houve uma expansão de 2.014 Megawatts na geração dessa energia no País em 2016, o que posicionou o Brasil na 5ª posição no ranking mundial de capacidade instalada no ano passado. O País também ocupou a nova colocação no ranking mundial de capacidade acumulada de geração eólica (10.740 MW) (...) A liderança do Brasil na produção dessa energia renovável é também confirmada por órgãos brasileiros. Em 2016, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), apurou uma expansão ainda maior, de 2.491 MW, e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) registrou um aumento de 53,4% no ano passado em relação a 2015.

Por estes dados, no Brasil, houve necessidade de aumento na fabricação de torres eólicas para aerogeradores, sendo mais utilizada a torre cônica de aço, que apresenta como insumos (ABDI, 2014): Chapas de aço laminado, Flanges, Fixadores (parafusos ou elementos de conexão), Portas, Escotilhas e Revestimentos (pintura).

Este trabalho se concentrará nos anéis formados pelas chapas de aço laminado. Há necessidade do processo de arqueamento da chapa de aço e soldagem para acabamento, que determinará a qualidade do elemento aerogerador e garantirá a segurança e o uso desta torre (ALMEIDA, 2008).

Sabe-se que a produção de chapas de superfície metálica, a partir de liquefação e solidificação das matérias-primas para transformação em aço sólido, apresenta rugosidade no material, que pode ocorrer em diversos níveis e por este motivo há necessidade de adequação do material por meio de esmerilhamento. Contudo, para esta atividade, há necessidade de uso de dispositivos e materiais que são aplicados para produzir o polimento e desgaste do material no sentido de reduzir os níveis de rugosidade, o que vem sendo feito com uso de mão de obra de forma desgastante ao corpo humano e com riscos a saúde e segurança do trabalhador.

A importância do acabamento da superfície nos elementos mecânicos acompanha a sua função e sua utilidade em qualquer aplicação e, por este motivo, nem sempre é suficiente atestar a precisão dimensional e geométrica, é preciso atentar para o estado das superfícies e estes devem ser adequados ao tipo de uso (BITTENCOURT, 2008).

Os procedimentos de esmerilhamento de materiais constituem-se de etapas relevantes para o tempo de vida útil do elemento mecânico, pois é a fase de acabamento de superfícies (POLIDO *et al.*, 2008). O acabamento superficial refere-se ao fino ou polido e que dependendo da função, aspectos como desgaste, comportamento cinemático, lubrificação, resistência à fadiga ou à corrosão, dentre outros, pode comprometer o uso ou a execução da função do material mecânico e complementa (GUEDES, 2011, p.381): “A uma tolerância dimensional ou geométrica de elevado grau de qualidade, corresponde, forçosamente, a um estado de superfície de baixa rugosidade”.

Sendo assim, esta pesquisa mostra o processo de soldagem e esmerilhamento a partir da introdução de um novo dispositivo que ampliará a qualidade do processo de soldagem e conseqüentemente do anel para a construção de torre com secção em tronco de cone de aço, assim como garantirá a segurança e ergonomia do trabalhador que executa a atividade.

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a eficácia de dispositivo no processo de esmerilhamento para redução de rugosidade das bordas de anéis de produção de torre eólica e seus resultados.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 – Avaliar e comparar a rugosidade produzida pelos variados tipos de abrasivos como rebolos e lixas utilizados.

2 - Avaliar o processo de esmerilhamento de bordas de chapa metálica que compõem uma torre eólica;

3 – Analisar a condição ergonômica do operador na sustentação e operação de esmerilhamento manual das bordas dos anéis de junção, através de lixadeira elétrica.

4 – Propor adoção de um dispositivo para melhorar o acabamento superficial dos chanfros produzidos pela operação de fresagem.

1.2 Hipóteses

1 – Otimizar o processo de esmerilhamento de bordas em chapas metálicas por meio de automação aumenta o tempo de vida útil do dispositivo e reduz a probabilidade de acidentes no produto final decorrentes de seus defeitos no processo de fabricação, maximizando o uso e a função das torres eólicas;

2 - Melhorar a ergonomia do operador pode reduzir drasticamente os defeitos oriundos de uma preparação pouco automatizada, eliminar os defeitos provocados pelas ferramentas de chanframento das bordas dos anéis de junção dos segmentos (tramos) de uma torre eólica e reduzirá os acidentes de trabalho, ao evitar o desgaste da mão de obra humana, maximizando a produtividade.

1.3 Justificativa

Dado o aumento da produção de aerogeradores, pela descoberta da capacidade de produção de energia eólica que estas podem gerar como fonte alternativa de energia, percebe-se que há necessidade de implementação de melhorias no processo produtivo das torres que suportam o elemento aerogerador de forma a ampliar sua capacidade mecânica.

Sabe-se que podem ser produzidas as torres para aerogeradores tanto de aço formato tronco-cônico, circulares, ou de concreto ou mesmo a estrutura híbrida (parte de concreto e outra parte de aço). As mais utilizadas atualmente no Brasil são a Cônica de aço ou híbrida, devido ao peso excessivo da torre de concreto, que acarreta maior cuidado na produção.

A torre, pelo transporte limitado em suas dimensões, é construída em secções que podem atingir 30 metros de comprimento e 65 toneladas. A ligação entre as partes é feita por ligações aparafusadas entre flanges, que estão soldadas às virolas das extremidades dos anéis. Os anéis são produzidos a partir de chapa de aço conformada por processos de produção metalomecânicos comuns – corte seguido de chanfragem, calandragem e soldagem das extremidades (ALMEIDA, 2008).

No seu interior as torres são equipadas com diversos componentes, dentre eles plataformas de trabalho, escada de acesso, esteiras de fixação de cabos elétricos e plataformas de suporte de equipamento elétrico e ventilação. Para que cumpra a função estrutural mecânica, é preciso cuidado no processo produtivo, um dos aspectos relevantes é o acabamento fino que deve ser dado no processo de esmerilhamento, como forma de reduzir ao máximo a rugosidade, que pode ser prejudicial ao ciclo de vida da torre eólica e pode acarretar em sua ruptura.

Este estudo verificou a possibilidade de construção de um dispositivo mecânico no processo de fabricação de torres eólicas para melhorar o grau de automação da operação de esmerilhamento e assim reduzir o esforço do operador, e também o retrabalho, para o aumento da qualidade superficial das bordas dos anéis de junção, para soldagem do processo de arco submerso nas torres metálicas de geração de energia eólica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados os aspectos teóricos dos elementos técnicos tratados nesta dissertação de mestrado, desde a produção de torres eólicas até os critérios utilizados para garantir a funcionalidade e ciclo de vida deste produto.

2.1 Torre Eólica: Suporte Estrutural

A fabricação de torres eólicas metálicas é constituída por chapas de aço que, inicialmente, são uma superfície plana a ser conformada até obter a forma cônica e assim garantir sua funcionalidade (LOBJOIS, 2002). As torres como produto final são estruturas metálicas que tem a função de suportar o rotor e o conjunto gerador de energia, ou seja, a nacelle, a uma altura específica do solo, que deve ser no mínimo o diâmetro das pás, para evitar tocar o solo durante movimento além de considerar a distância de segurança (Figura 1).

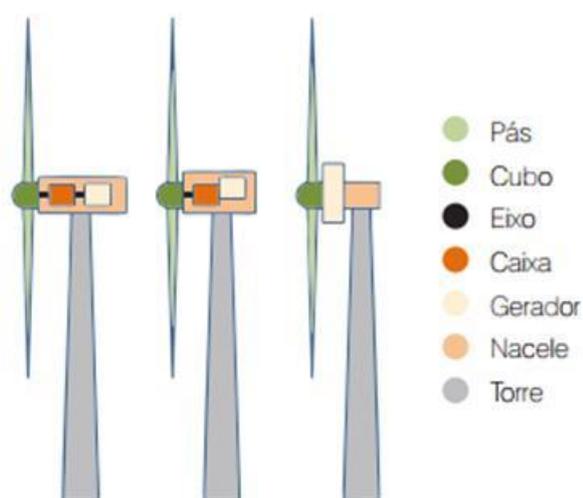


Figura 1: Ilustração das Partes de uma torre eólica.
Fonte: ABDI (2014)

A torre irá posicionar o gerador eólico à altura necessária para maximizar o aproveitamento do vento. Deve suportar além do peso do gerador, que pode ir além das 100 toneladas, e os esforços decorrentes da ação do vento sobre todo o conjunto. É também aproveitada para instalar equipamento elétrico e servir de

acesso ao gerador (NOGUEIRA, 2017). Quanto maior a altura, maior é a velocidade do vento e conseqüentemente, maior a produção de energia (FADIGAS, 2011).

Existem alguns tipos de torres, dentre elas a treliçada e as cônicas. As cônicas podem ser de aço laminado ou concreto protendido, e as torres treliçadas utilizam aço galvanizado. Existem também as torres (cônicas) híbridas, nas quais a parte de baixo da torre (cerca de 60 metros) é construída em concreto e a parte superior é feita em aço. Nesta dissertação, aborda-se a torre tronco-cônica de aço laminado (Figura 2) (ABDI, 2014).

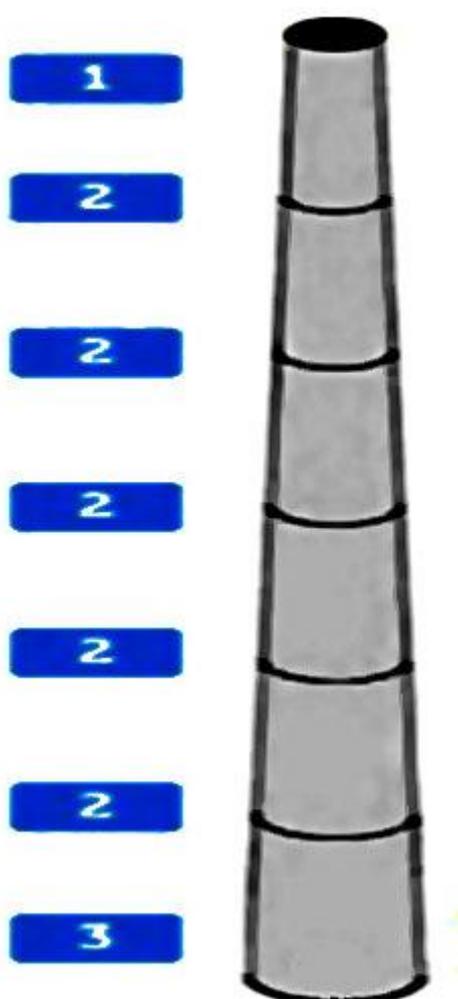


Figura 2: Ilustração de torre de aço tronco-cônica

1 – Anel base da nacela

2 – Anéis intermediários (tramos)

3 – Tramo base

Fonte: ABDI (2014)

Até a década de 1980, eram usadas as torres treliçadas, somente a partir de 1980 passou-se a utilizar as torres tubulares que possuem inúmeras vantagens em relação às treliçadas, dentre elas destacam-se (COSTA *et al.*, 2016):

- a) A não necessidade de checagem e ajuste periódico e menor quantidade dos parafusos de junções;
- b) Condições mais favoráveis de acesso até a nacela, pelo pessoal de manutenção;
- c) Visualmente são consideradas melhor esteticamente;
- d) O formato físico limita a formação de ninhos construídos pelos pássaros.

As torres tubulares são usualmente construídas em aço, porém as híbridas são reforçadas com concreto. A estrutura tubular é jateada e pintada para evitar a corrosão. Nesse tipo de estrutura, utiliza-se o aço carbono por apresentar maior resistência e reduzir sua ductilidade, características necessárias para a construção das torres (PFEIL & PFEIL, 2000).

A torre mais produzida atualmente é constituída em chapa de aço calandrada e soldada, formando uma estrutura tubular cônica ou cilíndrica. Este tubo é constituído por anéis de tamanho e peso que permitam o seu transporte até a obra, sendo depois unidos por juntas aparafusadas no local de montagem (ALMEIDA, 2008).

As torres construídas para turbinas possuem diâmetro tal que possibilita o alojamento de escadas em seu interior para acessar a nacela e também os equipamentos periféricos alojados em sua base, tal como transformadores e outros equipamentos elétricos necessários para conectar ao aerogerador e a rede elétrica. O projeto da torre prevê flutuações do vento, sendo assim é elaborado para reduzir ao máximo as vibrações e suportar, além do peso das partes principais das turbinas, diversos tipos de cargas estáticas e dinâmicas ocasionadas em função do impacto do vento nos vários componentes, torques e vibrações da operação da turbina (PONTE *et al.*, 2015).

Devido a serem as torres de alturas elevadas a serem instaladas em relevos variados, no topo das torres são instaladas iluminação de sinalização aérea conforme legislação.

2.1.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TORRES

2.1.1.1 Traçagem e Corte

O processo inicia-se no recebimento e descarregamento de placas de aço oriundas do processo de laminação de chapas grossas (Anexo A). A placa é depositada por meio de ponte rolante sobre as grelhas da máquina de corte e na própria máquina traça-se o perfil da placa (comprimento e largura) dimensões a serem cortadas.

A traçagem se efetua na própria máquina de corte a plasma (Figura 3). por um pantógrafo a laser. Efetua-se um gabarito do perfil em coordenadas o qual é gravado no *software* do equipamento e inicia-se o corte por uma das extremidades, num segundo momento o corte se realiza no sentido longitudinal em uma das bordas. O terceiro corte determina o comprimento da placa e o corte final estabelece a largura da placa. O sistema laser verifica o esquadreamento da placa e esta é liberada para inspeção e verificação se as dimensões estão padronizadas.

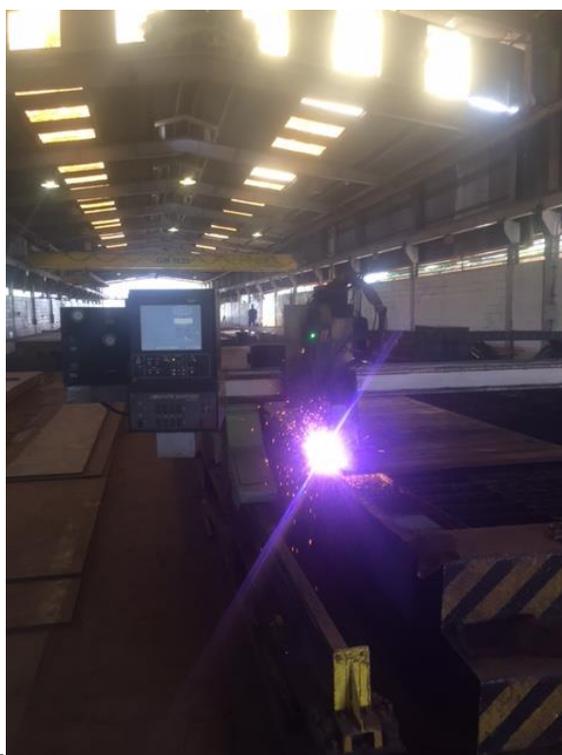


Figura 3: Operação de Corte a plasma sendo executada em uma chapa de aço.
Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.2 Calandragem

As placas recém-cortadas são transportadas para a ala de conformação (calandra), por uma ponte rolante que iça a placa e a deposita sobre uma mesa de rolos motorizados. A placa é soprada por ar comprimido e direcionada para a entrada da calandra. A calandra é composta de quatro rolos, três rolos de tração e um de compressão, uma torre que compõe um rolo guia-suporte e mecanismos elétricos e hidráulicos (Figura 4).



Figuras 4: Ilustração de uma Calandra de Quatro Rolos.
Fonte: YESHUN (2017)

Conforme Villanueva (2014) “O processo de calandragem consiste em dar formato circular na chapa, e ao construir o tubo tem-se o desenvolvimento de um cilindro que será o diâmetro multiplicado pela constante π (3,14)”. O sentido de giro e de aperto do rolo superior proporciona a mudança de perfil da espessura da placa, formando arco o qual é verificado por gabaritos conforme especificação. O fechamento do arco se dá pelo acionamento de braços articulados conectados por um cilindro hidráulico que posiciona precisamente o topo das bordas do arco. Após o contato das bordas, dois cordões de solda efetuados pelo processo *Metal Active Gas* (MAG) nas extremidades dão o formato final do arco, preparando para a próxima operação que a formação da virola.

A calandragem é um processo em que se aplica uma força externa sobre a matéria prima, obrigando-a a tomar a forma e dimensões desejadas por deformação plástica. O volume e a massa do metal se conservam nestes processos. Tem como principais vantagens o bom aproveitamento da matéria-prima, rapidez na execução,

possibilidade de melhoria e controle das propriedades mecânicas do material, mantendo a homogeneização da microestrutura.

Os rolos inferiores transmitem a energia necessária à deformação da chapa através das forças de atrito entre a chapa e os rolos. A capacidade de deformação é limitada pelo trabalho que é possível realizar com as forças de atrito conforme o tracionamento das fibras externas da chapa e a compressão das fibras internas. O rolo superior, geralmente, tem um diâmetro maior que o diâmetro dos rolos inferiores, é convenientemente posicionado para se obter o raio de curvatura exterior requerido para a virola.

Além do diâmetro a combinação do ajuste vertical do rolo superior com o posicionamento dos rolos inferiores influencia por um lado o diâmetro da virola a ser calandrada e desejada. Por outro lado, resultam da força de calandragem, o comprimento da parte reta da dobra inicial e a espessura calandrada. A força de calandragem e comprimento da parte reta da dobra inicial são um dos parâmetros mais importantes, na definição do tamanho de uma calandra. Outro fator muito importante é o diâmetro do rolo superior. Um diâmetro pequeno permite por um lado a dobra de raios menores, tendo como consequência natural uma maior possibilidade de flexão do rolo. Intensidade da força aplicada.

Por ser um processo de conformação mecânica a peça é submetida a esforços, e esses esforços podem causar trincas se a conformação não for aplicada, já que a calandragem faz com que a peça sofra compressão em alguns pontos, e tração em outros.

As formas obtidas são planificáveis e tanto os raios de curvatura, como o comprimento de calandragem são, geralmente, muito superiores à espessura da chapa. As dimensões da chapa planificada de uma virola tronco-cônica (Figura 5) serão obtidas considerando que a largura de calandragem não varia (deformação plana) e que o desenvolvimento linear da chapa planificada é igual ao perímetro da circunferência que passa na linha média e que coincide com a linha neutra. Deve-se chanfrar as arestas das chapas para evitar a formação de fissuras, especialmente para espessuras acima dos 25 mm.



Figura 5: Ilustração de uma Chapa calandrada em formato tronco-cônico.
Fonte: AAVI (2017)

2.1.1.3 Soldagem da Virola

No próprio berço da calandra, ocorre a junção das bordas da virola. Para que isso ocorra, um posicionador lateral efetua o alinhamento das bordas e um braço articulado acionado por cilindro hidráulico concomitantemente com o acionamento com os rolos tratores da calandra, posiciona de topo as extremidades da virola, é verificado manualmente pelo operador o paralelismo das superfícies e liberado para o próximo passo.

Num segundo momento, um passe de cordão de solda pelo processo MAG é efetuado como o primeiro passo de solda denominada como raiz da soldagem, duas placas de sacrifícios também chamadas de “babador” são pré-soldadas no início e no final do cordão de solda. Estas placas têm por finalidade, não permitir que ocorram descontinuidades no cordão de solda que comumente ocorre no início e no termino da soldagem. Após a soldagem da virola, as placas de sacrifício são removidas.

A soldagem interna da virola é efetuada por equipamentos constituídos de estruturas verticais munidas de um sistema eletromecânico de elevação do operador

e do mecanismo de soldagem do cordão de junção final. O processo realizado é através de Arco Submerso. O operador centraliza o conjunto de eletrodo, verifica o alinhamento, inicia e acompanha a soldagem de extremidade à extremidade (Figura 6).



Figura 6: Soldagem Longitudinal de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica pelo processo de arco submerso.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.4 Preparação e Soldagem de Flanges

O tipo de torre apresentada é composto de dois flanges, um flange é preparado e soldado na primeira virola denominada de virola de base que será instalada e soldada um batente para a porta de acesso interno a torre e outro flange na parte superior da torre, onde serão instalados a nacelle e o aerogerador.

A preparação do flange de base consiste em posicioná-lo numa plataforma nivelada composta de vários entalhes para posicionamento e centralização da virola a ser soldada, após a centralização do flange na base, a virola através da ponte rolante é colocada sobre o flange.

A virola, sendo posicionada sobre a mesa de alinhamento, permite que o preparador utilize macacos hidráulicos para centralização e concentricidade do flange á virola. Posicionada a virola (Figura 7), inicia-se o ponteamto com cordões de solda inicialmente a 180° do cordão anterior e após a cada 15° em relação aos

furos, a centralização e a verificação de alinhamento é rigorosa (precisão centesimal) e feita através de relógios comparadores, com permissão máxima de desalinhamento de 0,15mm.



Figura 7: Aspecto de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica sendo preparada para receber a soldagem de seu flange.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.5 Soldagem Circular e Formação dos Tramos

Os tramos são formados em seções são constituídos de 5 (cinco) a 10 (dez) virolas unidas pelo processo de soldagem a arco submerso, agora no sentido circular da virola conforme verificado nos Anexos B e C. O operador posiciona a torre de soldagem sobre a virola e em movimento conjugado da máquina de solda com o movimento circular da virola, movimento este que é produzido pelos berços motorizados e de apoio.

Para que ocorra o alinhamento das virolas é necessária a utilização de acionamentos de elevação da parte inferior da virola, este movimento faz-se necessário para que haja o alinhamento longitudinal entre as virolas. São produzidos através de macacos hidráulicos que podem ser manuais ou de cilindros hidráulicos que estão montados em berços de alinhamento, quando é preciso um esforço maior para posicionamento.

Durante o giro de posicionamento ocorre uma excentricidade entre virolas devido às dimensões externas apresentarem as tolerâncias permitidas de forma desencontrada, este desencontro é chamado de bolsa entre junções. Esta

excentricidade é corrigida através dos próprios macacos hidráulicos que são manuseados pelo operador que, de forma sincronizada com o sistema de giro, desloca gradativamente a excentricidade ao longo do perímetro da virola, desta forma a excentricidade no formato final fica equalizada dentro dos parâmetros de tolerância (Figura 8).



Figura 8: Execução da Soldagem Circular Interna de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.6 Paralelismo e Alinhamento de Flanges dos Tramos

O paralelismo e alinhamento dos flanges é efetuado por alinhamento à laser e por aquecimentos interno e externo de cada flange individualmente. Faz-se a marcação em oito pontos e efetua-se a medição do desalinhamento de face, os pontos fora da especificação são marcados para posterior correção através de chuveiro de aquecimento a gás (Figura 9a). Após o esfriamento dos pontos corrigidos, ocorre uma inspeção de alinhamento para registro e liberação para a próxima fase (Figura 9b).



Figura 9: Flangeamento de uma seção tronco-cônica de uma torre eólica a) alinhamento e b) paralelismo.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.7 Soldagem dos Suportes Internos

Toda estrutura interna de plataformas, escadarias e guias das fiações elétricas são marcadas conforme os desenhos mecânicos e ponteadas com solda. Após a verificação de posicionamentos são liberadas para conclusão da soldagem (Figura 10). Após determinado tempo de esfriamento dos suportes soldados são realizados ensaios não destrutivos por líquido penetrante e os suportes de segurança das plataformas são ultrassonados. Qualquer descontinuidade na soldagem, o trabalho é corrigido e somente liberado após conformidade plena com as exigências de qualidade.



Figura 10: Montagem e acabamento dos componentes internos de uma torre eólica.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.8 Inspeção por Ultrassom

As soldagens circulares, longitudinais e os suportes internos são inspecionados através de ultrassom em toda a sua extensão e os pontos com irregularidades são marcados e corrigidos pela equipe de acabamento (Figura 11).



Figura 11: Ensaios por Ultrassom das seções de uma torre eólica.
Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.9 Corte e Soldagem do Batente da Porta

O tramo de base é posicionado sobre os berços motorizados e após a marcação do encaixe da porta, é feito o corte de formato elíptico para encaixar o batente da porta. Posicionado o batente, se efetua a soldagem interna do batente manualmente através de arco submerso (Figuras 12a e 12b). Concluindo-se a soldagem e efetuado o resfriamento ambiente, efetua-se a inspeção por ultrassom.



Figura 12: Preparação de batente e porta de acesso a parte interna de um torre eólica a) corte oxiacetileno e b) alinhamento e nivelamento do batente.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.10 Jateamento e Pintura

Concluídas as montagens, os tramos são colocados sobre *trucks* motorizados e direcionados para as câmaras de jateamento manual onde se processa o jateamento interno e externo dos tramos e flanges (Figura 13a). Na sequência efetuam-se a metalização e as pinturas (Figura 13b).



Figura 13: Acabamento interno e externo de uma torre eólica a) jateamento e b) metalização e pintura.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.11 Montagem de Componentes Internos

Internamente a torre é composta de suportes para direcionamento de cabos elétricos de alimentação, potência e controle e de estruturas de acesso a parte do aerogerador. As estruturas são divididas e compostas por plataformas de manutenção providas de iluminação para cada nível (Figuras 14a e 14 b).



Figura 14: Preparação dos componentes internos de uma torre eólica a) montagem da escadaria e plataforma de segurança e b) montagem de instalações elétricas.

Fonte: ENGEBASA (2016)

2.1.1.12 Inspeção e Expedição das Torres

Efetuada as instalações dos componentes internos, faz-se a inspeção geral mediante *check list* e libera-se para embarque. Conforme Figura 15a, é feita a limpeza interna e na Figura 15b enceramento. Na Figura 15c, os tramos são embalados apenas em suas extremidades para evitar sujeira na parte interna dos tramos. E na Figura 15d, é feito o transporte dos tramos.

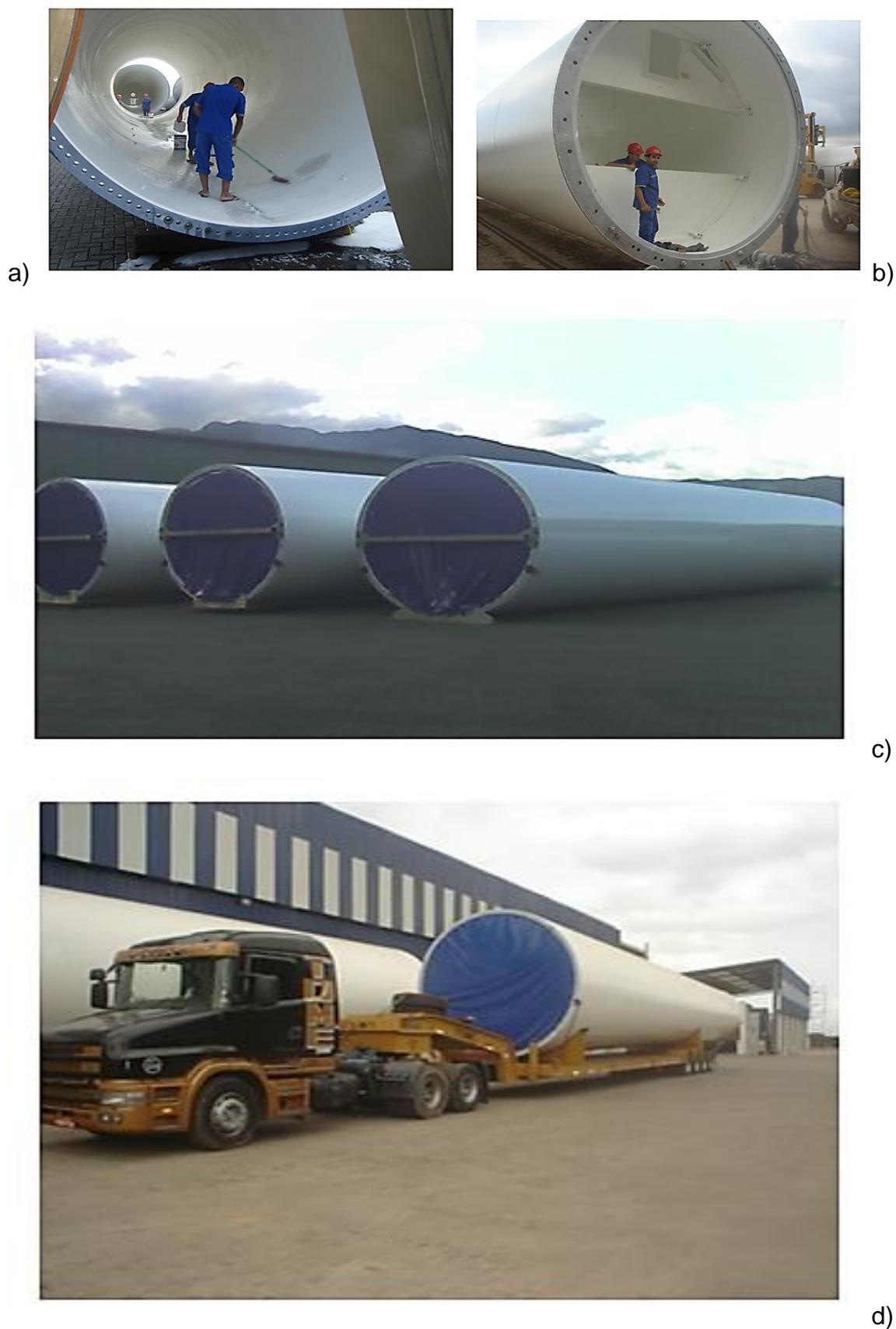


Figura 15: Inspeção e Expedição da um torre eólica acabada a) limpeza interna, b) enceramento, c) embalagem das extremidades e d) transporte.
Fonte: ENGEBASA (2016)

2.2 Soldagem por Arco Submerso

Nos Estados Unidos, em 1935, foi patenteado um processo de soldagem a arco elétrico protegido por uma camada de material granulado (fluxo) (POLIDO *et al.*, 2005). Entre os anos de 1935 e 1955, considerado como primeiro período, a busca principal era de utilizar ao máximo esse processo para atingir alta taxa de deposição utilizando-se arame simples, com o uso de fontes de corrente elétrica alternada (CA) de até 3000A.

Inicialmente utilizou-se aços de baixa e alta liga contendo C-Mn, e a partir de 1940 deram-se o estudo das propriedades mecânicas (resistência mecânica e tenacidade) do metal de solda sob temperatura ambiente. Desconhecia-se, na época, as propriedades na zona afetada termicamente (ZAT) (Figura 16), pois os ensaios realizados eram apenas a inspeção visual e o raio “X” (PARANHOS & SOUZA, 1999).

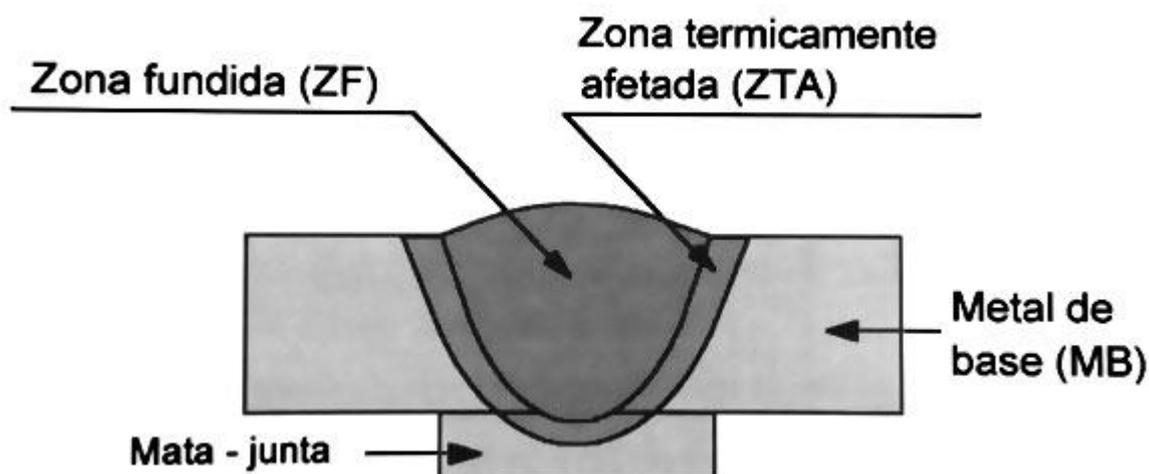


Figura 16: Zona Afetada Termicamente (ZAT).
Fonte: MARQUES *et al.* (2007, p.33).

Os eletrodos eram compatíveis com a composição química do metal base e neste período também foram desenvolvidos eletrodos para soldagem de aços inoxidáveis e ligas de níquel. Os fluxos inicialmente eram fabricados pela fusão de matérias primas (minerais) denominados fluxos fundidos e posteriormente passando a ser introduzidos os fluxos aglomerados, que são fabricados pela mistura dos

constituintes num processo denominado sinterização. Após 1995, o processo passou a ser desenvolvido no Japão e na Europa e por arcos múltiplos.

A Soldagem por Arco Submerso (SAS), também conhecida por *Submerged Arc Welding* (SAW) é um processo automático no qual o calor é fornecido por um arco elétrico desenvolvido entre um eletrodo de arame sólido ou tubular e a peça a ser soldada (metal base). Tanto a região a ser soldada quanto o eletrodo a ser fundido ficam totalmente submersos em um material granulado denominado fluxo que garante a proteção contra os efeitos da ação atmosférica que contém o oxigênio (O_2) e o nitrogênio (N_2) (SILVA JUNIOR *et al.*, 1999).

O fluxo sob forma de grânulos é alimentado à região da solda produzindo uma completa cobertura do arco e da poça de fusão, sendo assim o nome de arco submerso. O fluxo granulado funde-se parcialmente, formando uma camada de escória líquida, que após o fechamento do arco, se solidifica (Figura 17).

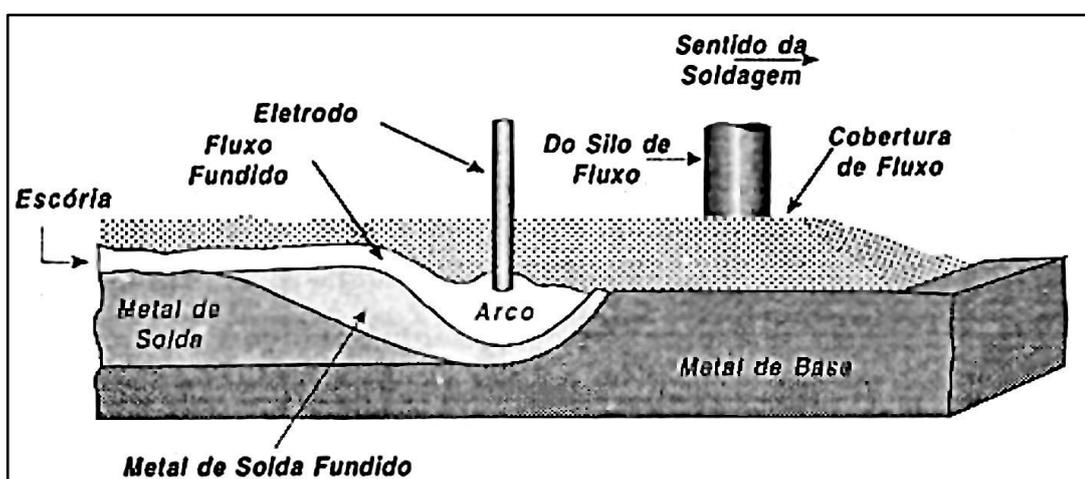


Figura 17: Fluxo na Soldagem por Arco Submerso.
Fonte: PARANHOS & SOUZA (1999, p.3).

Além das funções de proteção e limpeza do arco e do metal depositado, o fluxo age como um isolante térmico, garantindo uma excelente concentração de calor que caracteriza a alta penetração obtida por meio do processo. Uma vez que fica totalmente coberto pelo fluxo, o arco elétrico não é visível, e a solda se desenvolve sem faíscas, luminosidades ou respingos, que são características dos

demais processos de soldagem em arcos denominados aberto. Com a exigência de novos aços produzidos, estudou-se os aspectos metalúrgicos envolvidos na SAS, estabelecendo uniformidade de propriedades na zona afetada pelo calor ZAT e o metal de solda (SILVA *et al.*, 2017).

O processo de soldagem por arco submerso é utilizado em estaleiros, caldeirarias de médio e grande porte, siderúrgicas, fábricas de perfis, estruturas metálicas e na fabricação de torres tubulares eólicas. Também é empregado no revestimento e recuperação de peças desgastadas.

Uma das vantagens do processo de soldagem por arco submerso, está no rendimento, pois, praticamente não ocorrem perdas de material por projeções ou respingos. Também é possível a utilização de altas correntes de soldagem, chegando até 4000A, oferecendo ao processo alta deposição. Estas características tornam o processo econômico e rápido nos processos de produção. Em média o processo é realizado em cerca de um terço do tempo necessário para se efetuar o mesmo trabalho com eletrodos revestidos (PARANHOS & SOUZA, 1999).

As soldas apresentam tenacidade e resistência suficientes ao impacto, além de excelente uniformidade e acabamento dos cordões de solda. Através da regulação da adição do fluxo, arame e parâmetros de soldagem, se obtêm propriedades mecânicas iguais ou melhores que as do metal de base. A limitação significativa que existe neste processo, é o fato de se permitir somente a soldagem na posição plana e horizontal. Mesmo assim, na posição horizontal se requer a utilização de contentores do fluxo de soldagem, no caso de soldagens circunferenciais se recorre ao denominado suporte flexível (Figura 18).

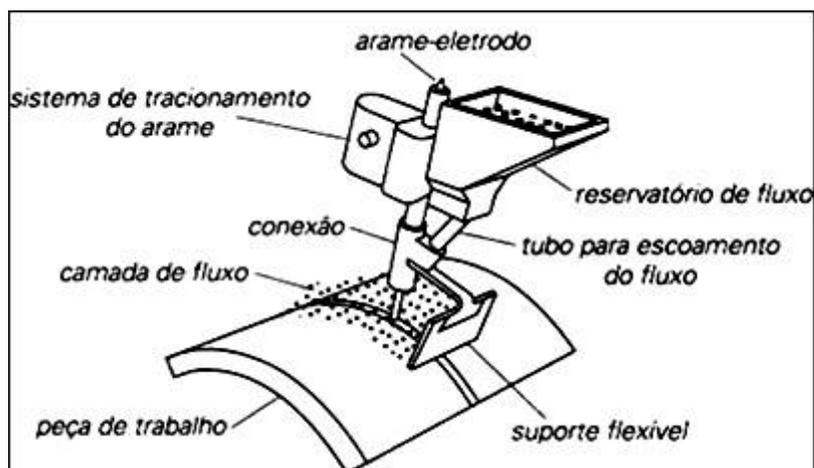


Figura 18: Processo de SAS.
Fonte: PARANHOS & SOUZA (1999, p.4)

As variáveis de intensidade de corrente elétrica, tensão do arco e velocidade de avanço do eletrodo são controladas separadamente. Entretanto, todas operam em conjunto, produzindo soldas que estejam de acordo com as propriedades desejáveis. Cada um desses fatores influencia no formato do cordão e nas propriedades do metal de solda, bem como a limpeza e o tipo de junta (WAINER *et al.*, 1992).

Na SAS, tanto o fluxo e o eletrodo podem ser alterados a qualquer momento. E a eficiência de deposição, aproximam-se de 100%, pois não há perdas de metal por projeção. A perda de calor através no processo é baixa devido ao efeito de isolamento térmico proporcionado pela camada de fluxo (PARANHOS & SOUZA, 1999). O equipamento requerido para o SAS consiste de:

- a) fonte de energia
- b) tocha de soldagem
- c) alimentador de arame
- d) alimentador de fluxo
- e) painel de controle

Equipamentos opcionais podem ser utilizados, como sistema de deslocamento automático da tocha de soldagem ou da peça de trabalho e mecanismo para reciclagem de fluxo. Na soldagem automatizada, faz-se necessário agrupar em um único conjunto denominado cabeçote de soldagem, a tocha de soldagem, o alimentador de arame, o painel de controle e o mecanismo de deslocamento da tocha. Na soldagem semi-automática a tocha de soldagem

denomina-se pistola de soldagem e permite ao soldador com um gatilho na própria pistola acionar o sistema de alimentação do arame, dar o contato elétrico e estabelecer o arco elétrico (Figura 19).

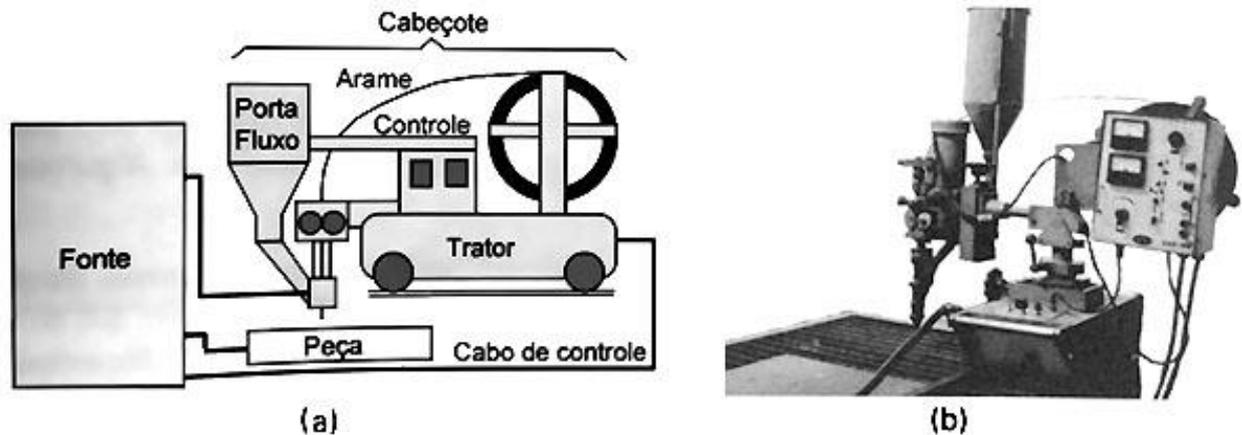


Figura 19: Equipamento para SAS. a) desenho esquemático b) equipamento industrial
Fonte: Marques et al. (2007, p.265)

2.2.1 FONTE DE ENERGIA

As fontes de energia são geradores e transformadores-retificadores para uso de corrente contínua (CC) ou transformadores para uso de corrente alternada (CA). Tanto CC ou CA produzem resultados satisfatórios, embora cada um apresente vantagens distintas em aplicações específicas, dependendo da faixa de intensidade de corrente, diâmetro do eletrodo e velocidade de soldagem. Aplicações em CC são utilizadas em (WAINER *et al.*, 1992):

- a) Soldagem semi-automática, com eletrodo 2,4mm e intensidade de corrente na faixa de 300-500A.
- b) Soldagem automática, com arame simples e faixa de intensidade de corrente de 300-600A.

O uso de fonte de energia com CA é mais comum para a aplicação com intensidade de corrente elevada na faixa de 900-1500A e baixa velocidade de

soldagem na faixa de 240-400mm/ min. Para as seguintes aplicações faz-se uso de CA ou CC:

- a) Soldagem automática, com arame simples e intensidade de corrente na faixa de 600-900A e velocidade de soldagem na faixa de 350-800mm .
- b) Soldagem com arcos múltiplos e fontes de energia independentes. Utiliza-se intensidade de corrente na faixa de 600-1000A por eletrodo, comumente emprega-se CA para todos os arames.

Fontes de energia com curva característica de tensão constante são as que melhor se adaptam à SAS. Corrigem automaticamente as variações dos parâmetros elétricos quando usadas com alimentador do arame de velocidade constante. A tensão do arco e o comprimento do arco são controlados pela fonte de energia. A intensidade de corrente é estabelecida pela velocidade de alimentação de arame (MARQUES *et al.*, 2007).

2.2.2 CABEÇOTE DE SOLDAGEM

No cabeçote de soldagem se agrupam a tocha de soldagem, o alimentador de arame, o alimentador de fluxo, o painel de controle e o mecanismo de deslocamento da tocha. Este conjunto possibilita que a soldagem seja automatizada (PIOVESAN, 2017). A tocha de soldagem consiste de bico de contato deslizante, de cobre, e de um dispositivo para fixação do cabo de saída da fonte. O alimentador de arame consiste de um motor de CC com controlador de velocidade, um conjunto de roletes de tracionamento do arame e de um suporte da bobina do eletrodo. O alimentador de fluxo é composto de um reservatório e mangueiras que conduzem o fluxo. O fluxo é escoado para a zona de soldagem pela ação da gravidade.

O painel de controle permite o ajuste dos parâmetros elétricos e operacionais da soldagem como intensidade de corrente, tensão do arco e velocidade de soldagem. Os controles do processo são disponibilizados em um único painel (MARQUES *et al.*, 2007).

2.2.3 TÉCNICAS OPERACIONAIS (CHANFRO)

Juntas de topo são as mais comuns na SAS, e os principais tipos são explicados a seguir (Figura 20) (PARANHOS & SOUZA, 1999; WAINER *et al.*, 1992).

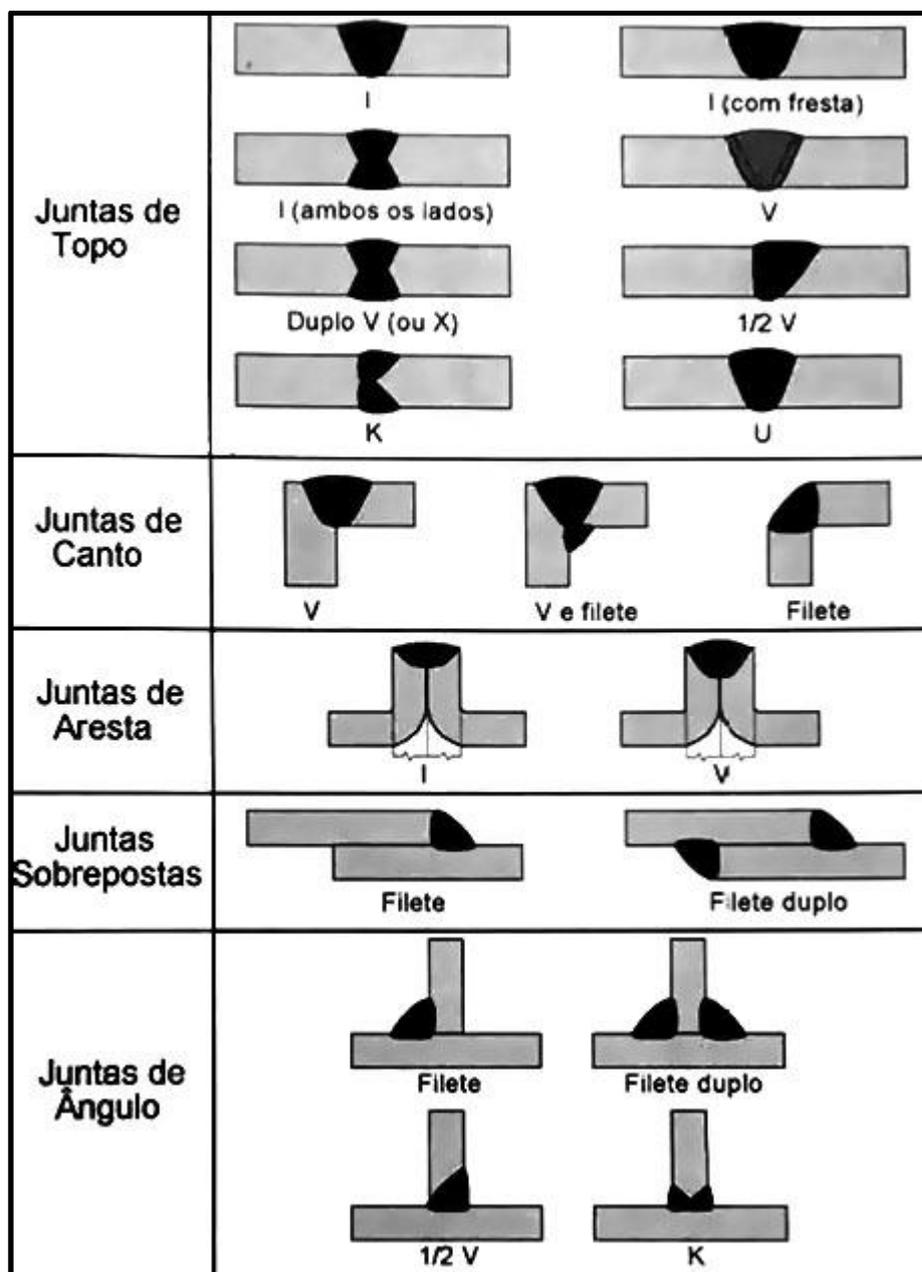


Figura 20: Tipos de chanfro.
Fonte: MARQUES *et al.* (2007, p.31)

2.2.3.1 Soldas de Topo em Chanfro Reto

A principal desvantagem deste tipo de junta (Figura 21) é que requer custo e tempo de preparação (MARQUES *et al.*, 2007, WAINER *et al.*, 1992).

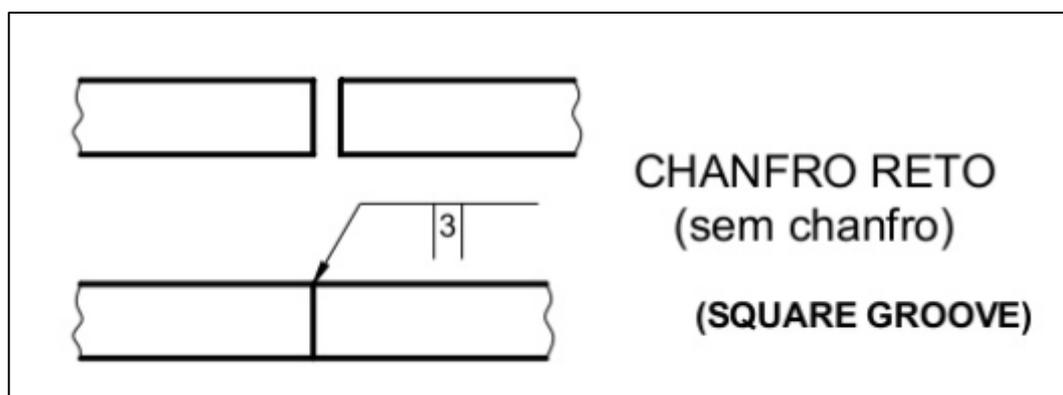


Figura 21: Chanfro reto.
Fonte: DUTRA (2017)

Soldas de passes simples devem ter espessura de chapa de no mínimo 8mm e podem ser feitas neste tipo de chanfro sem abertura de raiz, mas com a necessidade de suporte para a poça de fusão. Em espessura de chapa acima de 8mm, o reforço da solda tende a tornar-se excessivo, mas pode ser controlado permitindo-se uma abertura entre as chapas. Para se controlar a distorção e empenamento resultante da soldagem em chapas finas, a peça deve ser rigidamente presa e fixada (SARTORI, 2017).

Soldas em dois passes em espessura de chapa até 16mm podem ser feitas sem abertura de raiz. A abertura máxima permitível é de 1mm, a não ser que algum tipo de suporte seja usado. Deve-se garantir entre 60 e 80% de penetração para o primeiro passe, a fim que se possa ser obtida penetração total ao se soldar o segundo lado (GONÇALVES *et al.*, 2017). Em chapa de espessura entre 16 e 19mm, o reforço da solda pode ser elevado e o cordão tornar-se irregular. Isto pode ser corrigido por um pequeno bisel nas arestas da chapa, ou permitindo-se uma abertura entre as chapas.

2.2.3.2 Soldas Circunferenciais (SC)

As soldas circunferenciais diferem das soldas feitas na posição plana de duas formas importantes. Primeiro a poça de fusão e o fluxo fundido tendem a escorrer para fora da peça. Segundo, a remoção de escória em soldas multipasse é um fator que controla o progresso da operação de soldagem (MARQUES *et al.*, 2007).

Com a peça na posição plana, a poça de fusão e o fluxo fundido são mantidos sob o eletrodo sem muita dificuldade, mas na superfície curva de uma solda circunferencial estes tendem a ceder e escorrer. Em situações adversas, o metal escorre para fora da peça. Em situações menos adversas, a poça líquida somente inicia a escorrer, solidificando-se em seguida e produzindo um cordão de solda distorcido (WAINER *et al.*, 1992).

Para evitar escorrimento ou cordões distorcidos, o metal de solda precisa solidificar-se enquanto passa pelo eixo vertical da peça. Sendo assim, é necessário que o eletrodo seja posicionado à frente do eixo vertical da peça, ou seja, esteja avançado da linha de centro na direção oposta a direção de rotação da peça. O formato do cordão e características de soldagem podem ser controladas pela variação do deslocamento ou avanço do eletrodo ao longo da circunferência. O eletrodo deve ser posicionado perpendicularmente à superfície da peça, particularmente em pequenos arcos. O tamanho da poça de fusão pode ser controlado limitando-se o tamanho do cordão que, por sua vez, é função do valor da corrente e velocidade. Diminuindo a corrente e aumentando a velocidade, se reduz o tamanho do cordão. Como o fluxo é granuloso, tende a escorrer, sendo assim faz-se necessário o uso de um anteparo adequado (SARTORI, 2017).

2.2.4 PRINCIPAIS DEFEITOS NA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO

São descritos alguns defeitos que podem ocorrer no processo de soldagem por arco submerso e que precisam ser evitados e/ ou corrigidos para não comprometer a qualidade da soldagem, sua resistência e o tempo de vida útil do produto soldado.

2.2.4.1 Trincas a Quente

As trincas a quente podem ocorrer devido a (MARQUES *et al.*, 2007):

- a) Restrição da junta
- b) Composição do metal de solda
- c) Parâmetros e procedimento de soldagem

Os casos mais frequentes de trincas a quente na SAS são:

- a) **Diluição em Passe de Raíz:** Normalmente ocorre a diluição em cerca de 60% a 80% no passe de raíz. O metal de base tem predominância na composição química. Em chapas espessas e em aços de alta resistência, reduzir a diluição é recomendado para evitar as trincas na raíz.
- b) **Distorções durante a Soldagem:** Ocorrem comumente em chapas finas durante a soldagem. A abertura das juntas devem ser afixadas e restringidas, aplicando-se um passe de selagem.
- c) **Resistência do Metal de Base:** O metal de base com resistência mecânica elevada tende a provocar trincas, ocorre uma restrição que impede o escoamento para reduzir as deformações térmicas.
- d) **Geometria da Junta:** A abertura demasiada entre chapas tendem a retardar a solidificação. No passe de raíz e de penetração total ocorre o direcionamento das segregações para o centro devido à extração bidimensional que ocorre na junta.
- e) **Formato da Poça de Fusão:** Soldagem com velocidade elevada forma uma poça de fusão em formato de lágrima que direciona as segregações para o centro do cordão de solda. O formato elíptico minimiza este fenômeno.
- f) **Relação Profundidade / Largura (P/L):** A relação P/L superior a 3 e inferior a 0,5 são propensas a trincas. Um cordão de formato convexo e $1 < P/L < 2$ é menos sensível a trincas.
- g) **Convexidade do Cordão:** A contração de cordões concavos em soldas de filete tende a abrir a linha de centro do cordão. Sendo assim, para que haja a condição de alojamento da contração térmica recomenda-se um cordão convexo.

- h) **Pré Aquecimento:** O pré quecimento é recomendável em juntas rígidas, pois altera a taxa de resfriamento e a intensidade das tensões de contração. Em juntas com rigidez reduzida, o pré-aquecimento induz a distorção, abrindo a junta e provocando novas juntas.
- i) **Trinca de Cratera:** A falta de material para enchimento da cratera, ocorre no final do cordão e para eliminar, a máquina deve parar por determinado tempo.

2.2.4.2 Porosidade

Na SAS, este defeito ocorre devido o aprisionamento dos gases que são dissolvidos na poça de fusão (MARQUES *et al.*, 2007). Na poça de fusão de aços ao carbono os gases mais presentes que provocam a porosidade são o O₂, H₂; CO e o CO₂. O O₂ e o H₂ estão presentes em toda a poça de fusão, e o H₂ é o mais nocivo que pode ser introduzido pelo fluxo, caso esteja úmido, provocando, após solidificação do cordão de solda, trincas a frio. Recomenda-se controlar o teor de enxofre (S), pois se combina com o H₂.

O O₂ pode ser introduzido pelo fluxo, pela oxidação do metal de base, pela atmosfera e pelo eletrodo, reage com o C forma o CO e o CO₂, que promovem a formação de porosidade. Para não permitir este defeito, utilizam-se desoxidantes (MARQUES *et al.*, 2007):

- a) **Qualidade do metal de base:** O teor de carbono (C) contido no metal de base, em quantidades muito baixas e muito altas influencia na porosidade.
- b) **O teor de S:** é outro fator que contribui, o S fundido na poça de fusão, formará poros grosseiros. O Al e o Si utilizados nos aços efervescentes também contribuem na aparição de porosidade.
- c) **Contaminantes na Junta:** A presença de sujeira, ferrugem, óleo, graxa e tinta na superfície devem ser removidos por ação mecânica e ou química.
- d) **Contaminantes no Fluxo:** O fluxo pode estar contaminado por umidade, sujeira ou ferrugem devido às condições de armazenagem, reciclagem ou secagem inadequadas.

- e) **Contaminantes no Eletrodo:** O armazenamento inadequado do eletrodo pode causar a absorção de umidade e o próprio lubrificante quando em excesso causam também porosidade.

Dentre os problemas operacionais, destacam-se (MARQUES *et al.*, 2007):

- a) **Fluxo insuficiente:** Ocorre quando há luminosidade do arco
- b) **Fluxo aprisionado ao metal de solda:** Ocorre quando é feito mais de um passo de solda em lados opostos. Na soldagem do primeiro passe o fluxo fica aprisionado na parte inferior do cordão de solda.
- c) **Sopro Magnético:** Ocorre quando há desvio e descontrole do direcionamento do arco elétrico, causando desta forma a porosidade.
- d) **Soldas sem Penetração Total:** Comumente a porosidade é encontrada na soldagem de perfis com espessura inferior a 8mm, cuja borda é preparada em chanfro reto.

2.2.5 ABRASIVOS

Os rebolos são utilizados para desbaste dimensional e acabamento superficial. Podem ser de óxido de alumínio ou de carboneto de silício (WENDT, 2014). Os rebolos de óxido de alumínio apresentam menor dureza, porém resistem melhor ao impacto por serem mais tenazes, os mais são chamados de *Aloxite*, *Alundun* e *Recordit*, são utilizados em materiais de maior tenacidade. Os rebolos de carboneto de silício (Quadro 1) são mais duros e não suportam choques e impactos. São utilizados para desbastar materiais de alta resistência à tração ou quebradiços.

Quadro 1: Tipo de Abrasivos.

ÓXIDO DE ALUMÍNIO Al_2O_3	CARBONETO DE SILÍCIO (SiC)
Materiais de Alta Tenacidade	Materiais de Baixa Tenacidade
Aços ao carbono, Aços ligas, Ferro forjado, Bronze e Aços rápidos.	Metal duro (wídia), Ferro cinzento, Ferro cementado, Bronze fundido.
Ferro maleável, Ferro forjado.	Latão, Cobre, Alumínio, Mármore, Granito, Vidro, Pedra, Borracha, Couro, Concreto.

Fonte: CUNHA & CRAVENCO (2006)

Para trabalhos grosseiros como desbaste e rebarbação, utiliza-se o rebolo de granulação grossa (grãos de 1,2 a 4,8mm). Trabalhos finos como acabamento, afiação, utiliza-se rebolos de granulação fina (inferior a grãos de 1,2mm) (Figura 22) (WENDT, 2014).

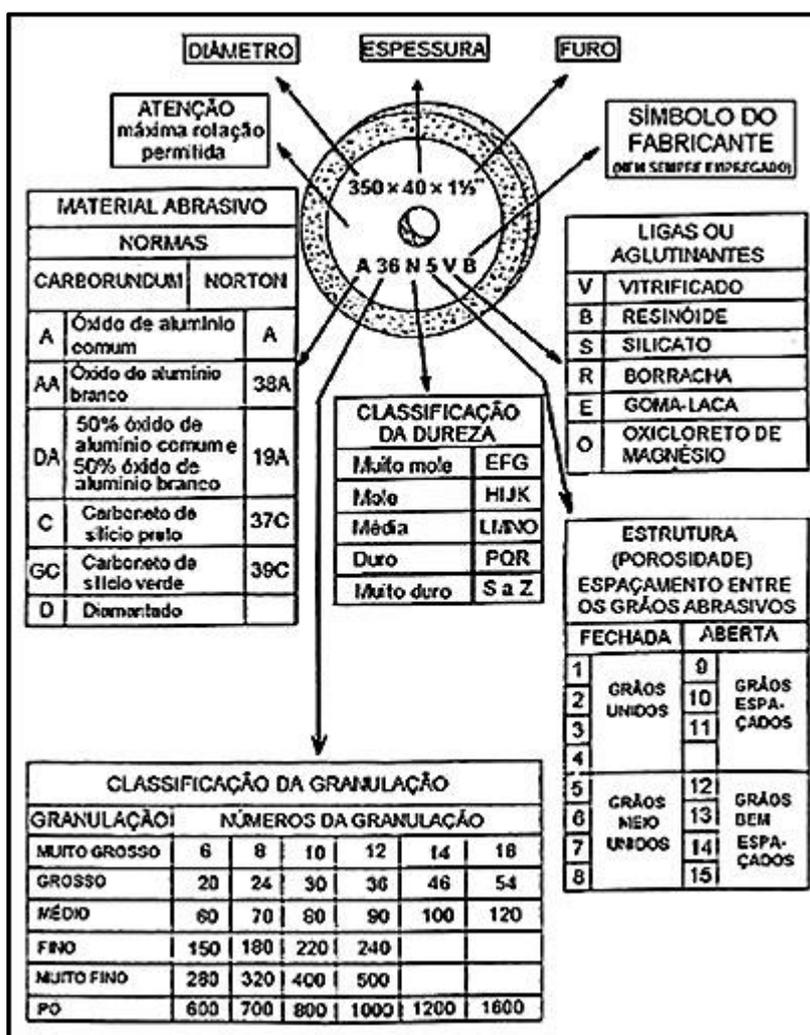


Figura 22: Classificação e Dimensão de Rebolos.

Fonte: CUNHA & CRAVENCO (2006)

A dureza de um rebolo (HB – *Hardness BRINELL*, Dureza Brinell) é caracterizada pela ligação dos grãos do material e o não pela dureza do material. Quando a granulação se desprende facilmente caracteriza-se como rebolo mole e quando não, denomina-se rebolo duro. O mole desgasta-se mais facilmente enquanto o duro ocorre o emplastamento, agregação do material esmerilhado no rebolo.

Quanto mais fino o acabamento, mais densa a estrutura de aço, a fim de se ter número suficiente de arestas cortantes.

2.2.6 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

As superfícies apresentam certas características em função de cada processo, por exemplo: torneamento, fresamento, retífica, brunimento, lapidação, etc. As superfícies assim produzidas se apresentam como um conjunto de irregularidades, com espaçamento regular ou irregular e que tendem a formar um padrão ou textura característicos em sua extensão de usinagem, definidos pela ABNT 8404 (2002), conforme observado na Figura 23.

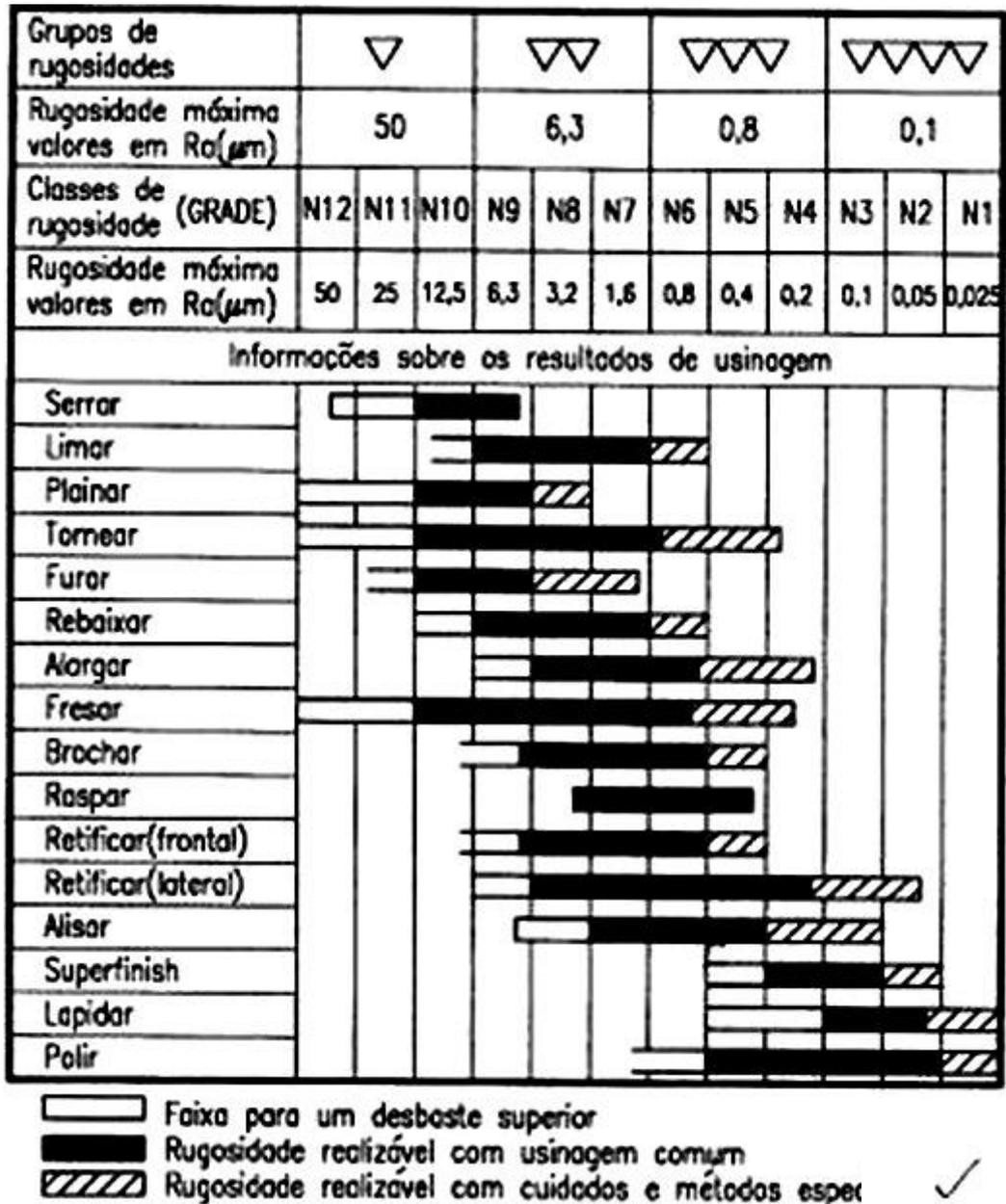


Figura 23: Classificação do Grupo de Rugosidades.

Fonte: MITUTOYO (s.d., p.24)

A rugosidade, ou textura primária, é formada por sulcos ou marcas deixadas pelo mecanismo que atacou a superfície que em um processo de usinagem (ferramenta, rebolo, partículas abrasivas, ação química, etc.) e se encontra superposta a um perfil de ondulação (Figura 24) provocado por deficiência nos movimentos da máquina, deformação, deformação no tratamento térmico, tensões residuais de forjamento ou fundição, etc. (SOBRINHO E ALCANTARA, 2007).

- 1) comprimento da rugosidade
- 2) comprimento da ondulação
- 3) amplitude da rugosidade
- 4) amplitude da ondulação
- 5) orientação dos sulcos

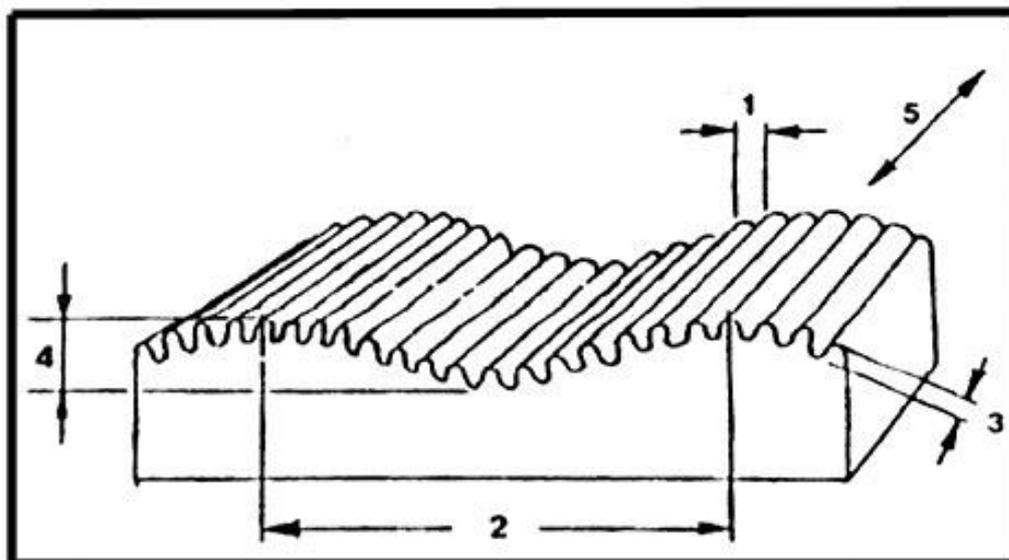


Figura 24: Perfil de Rugosidade.

Fonte: MITUTOYO (s.d., p.8)

A rugosidade superficial justifica sua importância no acabamento e na precisão de ajustes entre as peças a serem soldadas e esta medição se expressa em microns. A medição da rugosidade ocorre por meio de um equipamento denominado rugosímetro (AGOSTINHO *et al.*, 1977).

A completa caracterização da superfície de um produto não é tarefa fácil. Geralmente requer uma série de especificações, que por sua vez são estritamente relacionadas com a aplicação e uso desse produto. O acabamento final de uma superfície é geralmente obtido na última operação da fabricação (acabamento), fornecendo assim aos produtos a maior parte das propriedades necessárias ao seu funcionamento (NOVASKI, 1994).

A rugosidade superficial é um fator determinante em propriedades tais como retenção de lubrificantes, atrito entre partes em contato, vedação, capacidade de carga em rolamentos, e resistência ao desgaste, dentre outras. Sendo assim, a engenharia de produto deve decidir entre uma série de parâmetros de caracterização de rugosidade superficial que deve, portanto, atender aos requisitos funcionais bem como obter maior desempenho dos produtos. Esses parâmetros

devem ser posteriormente utilizados para a manufatura, de forma a produzir superfícies conforme as especificações de projeto, que serão por sua vez verificadas pelo controle de qualidade (PIRATELLI FILHO, 2011).

Nesta dissertação, analisa-se a rugosidade superficial como uma das etapas de soldagem por arco submerso (explicado anteriormente), a de preparação da superfície para recebimento da solda com manutenção de suas qualidades mecânicas.

2.2.6.1 Importância do Acabamento Superficial

Sob o ponto de vista funcional, a rugosidade tem uma importância estritamente relacionada com a aplicação do produto. Ela pode influenciar nas propriedades ópticas, mecânicas, elétricas e magnéticas. Entretanto, não existe ainda uma teoria generalizada que explica a influência da rugosidade superficial sobre os fenômenos físicos. Existe uma série de exemplos que pode ser fornecida a fim de demonstrar a importância da especificação da rugosidade superficial. Esses exemplos não pretendem esgotar o campo de abrangência, mas ilustrar um número limitado de aplicações (MITUTOYO, s.d.).

Antes, porém, é necessário definir de maneira simples o que se entende por rugosidade superficial. Uma superfície de uma peça qualquer, por exemplo, um bloco de motor, quando observada a olho nu, em geral, parece perfeita. Uma análise mais detalhada da mesma mostra que existe uma série de imperfeições, desde aquelas observadas e mensuráveis com instrumentos comuns de medição tais como micrômetros e relógios comparadores (erros macrométricos), até erros considerados microgeométricos possíveis de serem medidos somente com instrumentos especiais. Os erros microgeométricos são conhecidos como rugosidade superficial; os exemplos a seguir demonstram a importância da rugosidade (ROSA, 2016):

- a) Aumento da resistência ao desgaste em guias de máquina-ferramentas: quando duas superfícies estão em contato, apenas uma parte das mesmas realmente toca na outra (denominada superfície efetiva de contato). Uma

rugosidade superficial muito elevada, pode limitar a área de distribuição de carga, provocando um aumento excessivo no desgaste.

- b) Ajuste de rolamentos em eixos: uma superfície com rugosidade superficial muito elevada pode se apresentar maior durante a inspeção do que na sua montagem, ocasionando um ajuste inadequado que pode influenciar nas condições operacionais do produto.
- c) Manutenção de filme lubrificante em mancais: superfícies muito rugosas podem ultrapassar (devido aos picos) a camada de lubrificante que previne o contato metal-metal, ocasionando um desgaste acentuado. Dessa forma, a rugosidade deve ser especificada de modo a possibilitar a retenção da camada de lubrificante entre as peças em contato.
- d) Resistência ao lascamento de aresta de corte em ferramentas de usinagem: a ocorrência de altas tensões localizadas, devido a rugosidade superficial elevada, pode provocar lascamento das arestas de corte.
- e) Resistência a corrosão de hastes de cilindros hidráulicos: picos e vales de uma superfície rugosa funcionam como pontos de início de corrosão, que no caso de hastes cromadas de cilindros hidráulicos promovem a deterioração dos elementos de vedação.
- f) Redução de efeitos abrasivos em assentos de lábios de retentores: exige-se um nível adequado de rugosidade em retentores de modo a evitar-se desgaste excessivo e, conseqüentemente, provocar vazamentos.
- g) Influência na capacidade relativa de carga: no estudo de mancais de motores de combustão interna se observa que a rugosidade, tanto do casquilho como do colo da árvore de manivelas, será tanto maior quanto maiores forem as condições de capacidade de carga.

- h) Influência na transmissão de calor: a influência da rugosidade superficial também pode ser sentida na transmissão de calor entre duas superfícies, onde observamos que a medida que a rugosidade diminui, o coeficiente de transmissão de calor aumenta, porque isso garante maior área de contato.

Para estudar e criar sistemas de avaliação do estado da superfície se faz necessário definir previamente diversos termos e conceitos que possam criar uma linguagem apropriada. Com esta finalidade utilizar-se-á as definições da norma NBR 8404 (2002):

Superfície Geométrica: superfície ideal prescrita no projeto, na qual não existem erros de forma e acabamento. Por exemplo, superfície plana, cilíndrica, etc., ou seja, por definição perfeita. Na realidade não existe, é apenas uma referência.

Superfície Real: superfície que limita o corpo e o separa do meio que o envolve. É a superfície deixada pelo método empregado em sua produção, por exemplo, torneamento, retífica, ataque químico, etc. Superfície que se pode ver e tocar (Figura 25).

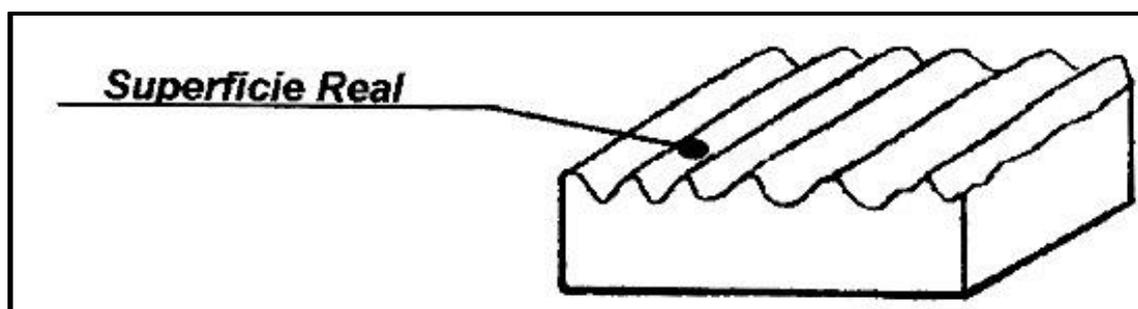


Figura 25: Superfície real, uma herança do método de fabricação.
Fonte: MITUTOYO (s.d., p.6)

Superfície efetiva: superfície avaliada pela técnica de medição com forma aproximada da superfície real de um corpo. É importante esclarecer que diferentes sistemas de medição, por exemplo, com ou sem sapata, ou condições de medição como raio da ponta do apalpador, podem resultar em diferentes superfícies efetivas. É a superfície apresentada pelo instrumento de medição.

Perfil geométrico: intersecção da superfície geométrica com um plano perpendicular. Por exemplo, uma superfície plana perfeita cortada por um plano perpendicular que originará um perfil geométrico que será uma linha reta.

Perfil real: intersecção da superfície real com um plano perpendicular. Neste caso o plano perpendicular (imaginário), cortará a superfície deixada pelo método de usinagem e originará uma linha irregular.

Perfil efetivo: imagem aproximada do perfil real obtido por um meio de avaliação ou medição. Por exemplo, o perfil apresentado por um registrador gráfico, sem qualquer filtragem e com as limitações atuais da eletrônica.

Perfil de rugosidade: obtido a partir do perfil efetivo, por um instrumento de avaliação, após filtragem. É o perfil apresentado por um registrador gráfico após uma filtragem para eliminar a ondulação à qual se sobrepõe geralmente a rugosidade.

Outros componentes de uma superfície: aos efeitos de facilitar o estudo da textura superficial, é oportuno definir ainda os seguintes itens (HAMMES *et al.*, 2017):

- a) Comprimento da rugosidade
- b) Comprimento da ondulação
- c) Amplitude da rugosidade
- d) Amplitude da ondulação
- e) Orientação dos sulcos

2.2.6.2 Rugosidade e Ondulação

Um dos problemas enfrentados ao realizar qualquer tipo de medição, consiste em eliminar ou filtrar alguns fatores indesejáveis que influenciam o resultado. No caso da definição de rugosidade, o fator que deve ser eliminado é a ondulação

(componentes de baixa frequência), pois a esta curva encontra-se superposta à rugosidade (componentes de alta frequência) o que pode levar a resultados enganosos ao pretender sua medição. A ondulação ou textura secundária, pode ser considerada como um erro macrogeométrico, mas a tendência atual é avaliá-la, com os mesmos meios com que se avalia a rugosidade (ROSA, 2016).

2.2.6.3 Sistemas de medição da rugosidade

A definição e medição da textura superficial se realiza em forma geométrica, ante a impossibilidade de uma definição. As definições geométricas são bastante abstratas porque são baseadas numa linha de referência que existe somente na teoria. Os resultados inclusive sofrem certas distorções pela utilização de filtros para excluir a ondulação quando se pretende definir a rugosidade. Atualmente existem vários sistemas ou perfis de avaliação, a seguir são apresentados os principais tipos de perfis utilizados na avaliação da rugosidade superficial e em seguida os dois tipos de sistemas de linha de referência mais utilizados atualmente (HAMMES *et al.*, 2017).

2.2.6.4 Perfis de avaliação

Os perfis de avaliação constituem os formatos de picos e vales da rugosidade (MITUTOYO, s.d.).

Perfil Primário P

Um perfil que resulta da intersecção da superfície medida e um plano normal ao plano médio. Entretanto, ele normalmente representa um perfil primário que é obtido diretamente pelo detector da máquina de medição de rugosidade superficial sobre a superfície da peça.

Perfil de Rugosidade R

Um perfil resultante do perfil primário que possui os componentes de comprimentos de onda mais longos (denominados componentes de ondulação) removidos através de filtros eletrônicos. Os filtros utilizados para este propósito são chamados de filtros passa-alta.

Perfil de Ondulação WC

Um perfil resultante do perfil primário que possui os componentes de comprimentos de ondas mais curtos (denominados componentes de rugosidade) removidos através de filtros eletrônicos. Os filtros utilizados para este propósito são chamados de filtros passa-baixa.

Perfil de Ondulação Filtrada da Linha média WCA

Um perfil resultante do perfil primário que possui os componentes de comprimentos de onda mais curtos (denominados componentes de rugosidade) e os componentes de comprimento de onda mais longos (denominados componentes de ondulação) removidos através de filtros eletrônicos. Os filtros utilizados para este propósito são chamados de filtros passa-banda, isto é, uma combinação dos filtros passa-baixa e passa-alta.

Perfil de Ondulação do Círculo Rolante WE

Um locus (curva) determinado pelo centro de um círculo com um dado valor de raio que é traçado, rolando sobre a superfície da peça. Este círculo é denominado círculo rolante.

Perfil de Ondulação da Linha Média do Círculo Rolante WEA

Um perfil resultante do perfil de ondulação do círculo rolante que possui os componentes de comprimento de onda mais longos (denominados componentes de ondulação) removidos através de filtros eletrônicos.

Perfil Residual Envolvente E

Um perfil determinado através do resíduo (desvio) entre o perfil de ondulação do círculo rolante calculado e o perfil primário.

Perfil DIN 4776

A norma DIN 4776 (1998) determina que, se a superfície da peça possui vales, significativamente profundos, dispersos aleatoriamente por uma ondulação relativamente rasa, não é fácil de se determinar a posição apropriada da linha média para se avaliar a textura superficial da peça por consequência dos efeitos destes vales profundos. Esta norma DIN fornece meios de se eliminar este efeito até certo ponto. Obtém-se a linha média primária a partir dos dados medidos; Removem-se os vales abaixo da linha média primária, conforme Quadro 2 e Figuras 26 a 28.

Quadro 2: Rugosidade aritmética.

Ra = 0,01	Blocos padrão, réguas triangulares de alta precisão.
Ra = 0,02	Aparelhos de precisão, superfícies de medida em micrômetros e calibres de precisão.
Ra = 0,03	Calibradores, elementos de válvulas de alta pressão hidráulica.
Ra = 0,04	Agulhas de rolamentos, superacabamento da camisa de bloco do motor.
Ra = 0,05	Pistas de rolamento, peças de aparelhos de controle de alta precisão.
Ra = 0,06	Válvulas giratórias de alta pressão, camisas de blocos de motores.
Ra = 0,08	Agulhas de rolamentos de grandes dimensões, colos de virabrequim.
Ra = 0,1	Assento cônico das válvulas, eixos montados sobre mancais de bronze, teflom, etc, a velocidades médias.
Ra = 0,15	Rolamentos de dimensões médias, colos de rotores de turbinas e redutores.
Ra = 0,2	Mancais de bronze, náilon, etc., cones de cubos sincronizadores de caixas de câmbio de automóveis.
Ra = 0,3	Flancos de engrenagens, guias de mesas de máquinas-ferramentas.
Ra = 0,4	Pistas de assento de agulhas de cruzetas em cardãs, superfície de guia de elementos de precisão.
Ra = 0,6	Válvulas de esfera, tambores de freio.
Ra = 1,5	Assentos de rolamentos em eixos com carga pequena, eixos e furos para engrenagens, cabeças de pistão.
Ra = 2	Superfícies usinadas em geral, eixos, chavetas de precisão, alojamentos de rolamento.
Ra = 3	Superfícies usinadas em geral, superfícies de referência, de apoio, etc.
Ra = 4	Superfícies desbastadas por operações de usinagem.
Ra = 5 a 15	Superfícies fundidas, superfícies estampadas.
Ra > 15	Peças fundidas, forjadas e laminadas.

Fonte: MITUTOYO (s.d., p.22)

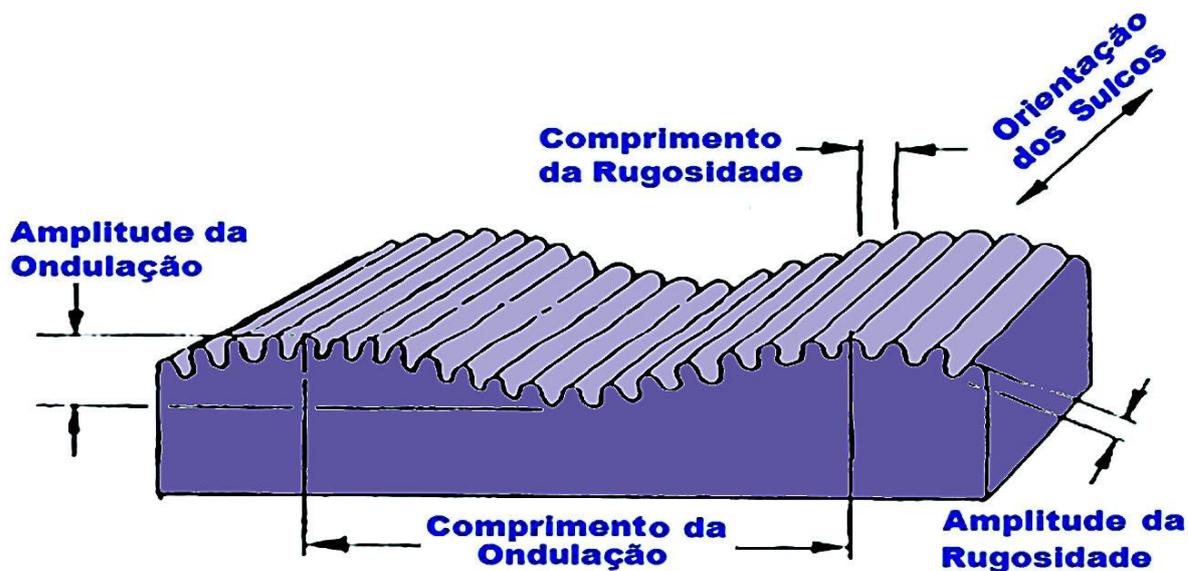


Figura 26: Componentes de análise da rugosidade superficial.

Fonte: MITUTOYO (s.d.)

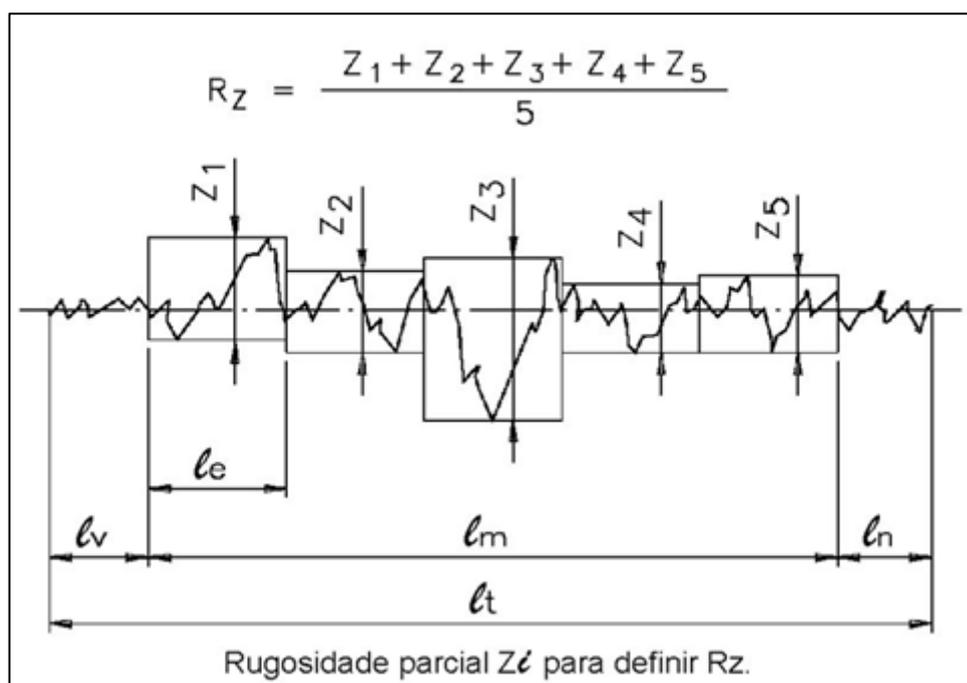


Figura 27: Base de Cálculo da Rugosidade Média Real (R_z).

Fonte: MITUTOYO (s.d.)

Onde:

Le: comprimento para cálculo de cada parâmetro equivalente a 1/5 de L_m

Lm: percurso de avaliação que consiste de n consecutivos comprimentos de amostragem

Ln: percurso final do comprimento e deslocamento do percurso de medição

Lv: comprimento de descolamento antes do percurso de medição

Lt: comprimento definido pela soma do percurso inicial com o percurso de medição e o percurso final

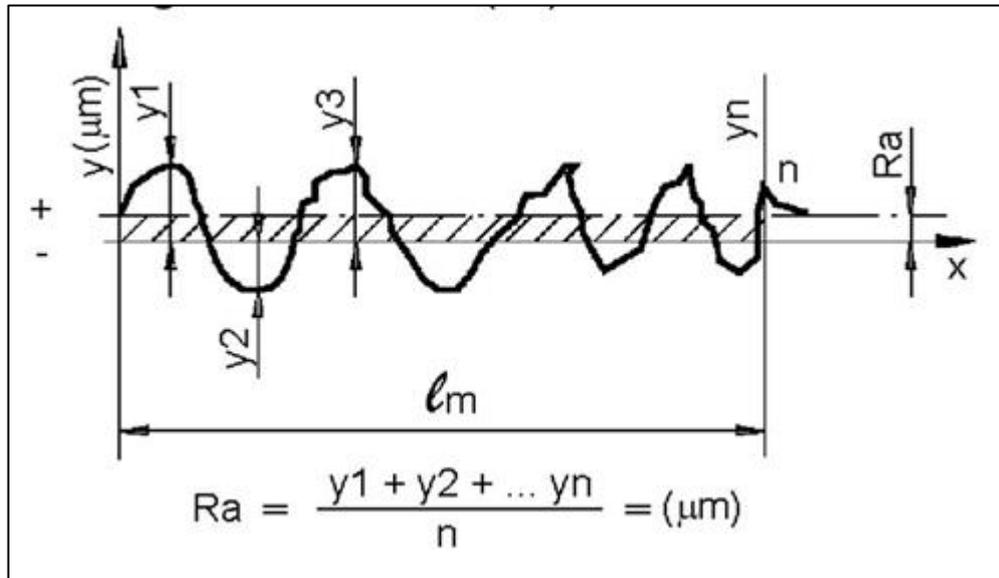


Figura 28: Base de Cálculo da Rugosidade Média Absoluta (R_a).
Fonte: MITUTOYO (s.d.)

Nesta pesquisa de mestrado, optou-se por estudar os resultados da rugosidade superficial adotando os critérios de R_a , R_z e R_q , que são, respectivamente:

- **Rugosidade Média Absoluta (R_a):** é uma média aritmética de ordenadas de valores absolutos do perfil efetivo, relacionando a linha média em um comprimento de amostragem (HAMMES *et al.*, 2017).
- **Rugosidade Média (R_q):** é o desvio médio quadrático do perfil da rugosidade, a partir da linha média dentro do percurso de medição (MITUTOYO, s.d.).
- **Rugosidade Média Real (R_z):** média aritmética de 5 valores de rugosidade parcial Z_i (Z_i = soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento acima e abaixo da linha média existentes dentro de um percurso de amostragem – *cut off*)

2.2.7 SEGURANÇA E ERGONOMIA DA MÃO DE OBRA

As condições de trabalho de insalubridade são tratadas na NR 15 (2015), em seus Anexos 1 e 2, que abordam o ruído industrial de interesse para a higiene ocupacional. A NR-15, conforme Portaria nº 3.214/78, nos Anexos 1 e 2, estabelece os limites de tolerância para a exposição a ruído contínuo ou intermitente e para ruído de impacto, que apresentam-se como as duas classificações básicas do ruído.

De acordo com a NR-15 (2015), pode ser tolerada exposição do trabalhador ao ruído de, no máximo, oito horas diárias, contínuo ou intermitente, com média ponderada no tempo de 85 decibéis, ou uma dose equivalente. No caso de níveis elevados de pressão sonora de impacto, o limite é de 130 decibéis ou 120 decibéis.

A legislação trabalhista impõe que deve ser observado um ambiente de trabalho seguro, onde o trabalhador permaneça saudável durante a atividade laboral. A NR-17, da Portaria nº 3751/90, estabelece os parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. Também a NR-6 trata do uso de equipamento de proteção individual (EPI) e dentre eles o equipamento de proteção auditiva. Já no Anexo 8 na NR-15, trata das vibrações (localizadas ou de corpo inteiro), com base nos limites de tolerância das normas ISO 2.631 e ISO/DIS 5.349 (grau médio).

O trabalho representa grande parte da vida de uma pessoa, e as más condições podem afetar negativamente e serem contraproducentes no bem-estar ou manifestação de sintomas que afetam a saúde. A organização do trabalho é visualizada como fator mediador entre produção e trabalhador, e o estudo das condições de trabalho engloba todos os aspectos passíveis de influenciar a execução de atividades, tarefas e funções, sem limitar-se a postos de trabalho ou aspectos físicos do ambiente, mas, principalmente, direcionando-se as relações do homem com a sua atividade e/ ou tarefas específicos.

Na mesma seara, a exposição a trabalhos repetitivos e com peso induz a necessidade de intervenções necessárias para prevenir possíveis danos e lesões ao trabalhador, sendo que muitas vezes acabam sendo irreversíveis. Portanto, algumas ações e mudanças realizadas no ambiente laboral, têm influência positiva sobre a

qualidade de vida do trabalhador e sua continuidade no cotidiano da indústria (ABERGO, 2000).

Dentre as alterações, utiliza-se a ergonomia para adaptar o ambiente e equipamentos de forma que não prejudique o trabalhador. A Ergonomia refere-se aos conhecimentos sobre o desempenho do ser humano na realização de suas atividades de trabalho, com o fim de aplicá-los à concepção de tarefas, dos instrumentos, das máquinas e dos sistemas de produção (LAVILLE, 1977).

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho a manutenção da saúde do homem, o que inclui máquinas e equipamentos para transformar materiais no processo produtivo, além da condição de ocorrência do relacionamento entre homem e desempenho no trabalho (IIDA, 2002). Este conceito surgiu após a Revolução Industrial pela necessidade de soluções para os problemas causados a saúde dos trabalhadores por situações de trabalho. Os conceitos ergonômicos podem ser aplicados para prevenir lesões e doenças ocupacionais, além de motivar e oferecer maior satisfação ao trabalhador na realização de suas tarefas. A Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO, 2000) define Ergonomia (ou Fatores Humanos) como uma ciência relacionada a compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos laborais, a fim de aperfeiçoar o bem estar humano e o desempenho no trabalho.

Desta forma, a Ergonomia buscou analisar os fatores humanos pertinentes ao projeto de instrumentos de trabalho, ferramentas e outros instrumentos típicos da atividade humana em ambiente profissional. Posteriormente, buscou-se entender, tabelar, organizar dados sobre os fatores humanos que deveriam ser considerados não apenas para os instrumentos, mas para os projetos de sistemas de trabalho, como as linhas de montagem, as salas de controle, os postos de direção de máquinas, etc. (IIDA, 2002).

A análise ergonômica compreende a correção a partir de variáveis: antropometria física (as dimensões estáticas e dinâmicas do corpo), fisiologia do trabalho (o funcionamento de nossos sistemas fisiológicos em diversos regimes), psicologia experimental (a percepção de sinais, a discriminação de indícios, a leiturabilidade de instrumentação), higiene e toxicologia (os riscos envolvidos nas atividades) (DUL; WEERDMEESTER, 1995).

Existem diversas formas de trabalhar a ergonomia, sendo enfatizada a corretiva, que intervém no ambiente ou no processo produtivo já existente e que precisa ser melhorado, visando gerar maior conforto e segurança ao trabalhador e melhorar a produtividade do sistema. Esse tipo de Ergonomia se aplica em situações já existentes, tentando resolver problemas relacionados com segurança, fadiga, doenças do trabalhador, ou a quantidade e qualidade da produção (VIDAL *et al.*, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho se baseia no estudo de caso qualitativo e quantitativo, definido como pesquisa empírica que investiga fenômenos contemporâneos de acordo Yin (2005). Foi escolhida uma única empresa a ser pesquisada. Gil (2009) justifica que o estudo de caso envolve análise que pode ser resumida a uma única situação, com foco específico. A coleta de dados ocorreu por pesquisa documental e observação participante na empresa estudada (MARCONI & LAKATOS, 2001).

A análise de dados foi qualitativa e descritiva, e optou-se pela triangulação de Yin (2005), adotando a pesquisa bibliográfica, documental e observação participante. Nesta pesquisa as fontes utilizadas serão a observação direta e participante, além das informações coletadas in loco (a observação direta se dá no local escolhido, isto é, a fase de esmerilhamento de bordas de anéis de torre eólica metálica). Pode-se, assim, tanto compreender os fenômenos que acontecem quanto compreender os limites ou os problemas do local. A observação participante foi realizada com análise em um processo no setor de conformação da empresa com aplicação de novo dispositivo para esmerilhamento dos anéis de uma torre eólica metálica. Os resultados foram analisados de forma qualitativa, comparando-se resultados sobre processos, adoção do novo dispositivo e produção.

3.1 Protocolo do estudo de caso

A análise foi realizada sobre um exemplo prático de implantação de dispositivo para esmerilhamento no setor de conformação da empresa ENGEBASA, situada no município de Cubatão, no polo petroquímico, no sentido de reduzir a rugosidade dos anéis de torre eólica, apresentando os ganhos alcançados com a utilização do dispositivo na célula de produção.

A pesquisa aborda dados e relatos com quantidade elevadas de linguagem de chão de fábrica de forma a ser fidedigna ao mostrar o que ocorre na célula de produção. Trabalhou-se o processo de esmerilhamento do material metálico, tendo percorrido a participação, diretamente na execução das atividades, com acesso às

informações que transitaram durante o período de implantação do dispositivo proposto.

3.1.1 DISPOSITIVO SUPORTE DE ESMERILHADEIRAS

A análise teórica do tema gerou maior percepção sobre os procedimentos que são utilizados na indústria para qualificar o processo de esmerilhamento no chanfro dos anéis de bordas de torre eólica. Levando em consideração a prática industrial, passou-se a analisar como é feito este processo e quais as variáveis que poderiam ser modificadas para garantir maior eficácia na soldagem do material na junção dos diversos anéis que compõem a torre eólica e garantem sua construção e funcionamento. Tal processo anteriormente era realizado com esmerilhadeira manual, cujo dispositivo com disco de desbaste situava-se em posição de risco ao trabalhador que precisava manobra-lo até 180°, em dois lados, o que acarretava problemas de fadiga humana com o passar do tempo.

De outra perspectiva, o processo manual demandava um tempo aproximado de 60 minutos para a realização do esmerilhamento, que deveria ocorrer inicialmente no chanfro interno e após no chanfro externo conforme ordem de serviço programada no setor de produção. Para tanto, foi elaborado um protótipo de dispositivo para melhorar a qualidade no processo de esmerilhamento das bordas dos anéis de torre eólica pelo autor desta dissertação, que participou do processo de conformação durante a observação.

A busca por melhorias em processos que reduzam tempo de fabricação de peças sem perda de qualidade também é um dos motivadores para o projeto de construção do dispositivo. De outro lado, sabe-se que o processo de soldagem requer redução máxima da rugosidade da peça, o que, em construção com chapas de aço, representa a garantia de manutenção do produto final, neste caso a torre eólica, pois irá garantir sua funcionalidade além de segurança em sua operação.

Embora a incidência de rompimento de torre eólica no Brasil seja insignificante, devido ao aumento na produção deste produto, é necessário rever os procedimentos atuais e buscar maior qualidade na peça acabada, que irá garantir

sua funcionalidade, assim como o tempo para a produção da peça, que envolve a fabricação dos anéis de aço laminado.

Inicialmente foi projetado e construído o dispositivo e em sequência analisada a qualidade no processo de esmerilhamento e conseqüente melhoria para os trabalhadores. O procedimento para a realização da proposta de confecção e instalação do dispositivo de esmerilhamento foi por acionamento pneumático em substituição à lixadeira elétrica, em uma das fases do processo de fabricação de torre. Foi solicitada a permissão ao Eng. José Quina Diogo da empresa ENGEBASA S/A para acompanhamento e verificação de uma das atividades para melhoria contínua do processo como parte da observação participante para a realização da dissertação.

Após permissão, o acompanhamento foi realizado a partir da observação participante do autor da dissertação no processo de construção dos anéis, desde o recebimento da matéria prima, placa de aço até a inspeção e expedição da estrutura metálica denominada torre. Foi escolhida a fase de preparação dos chanfros das placas calandradas dos anéis de junção das torres.

O projeto de confecção de um dispositivo de esmerilhamento através de acionamento pneumático foi proposto para substituição de lixadeira elétrica, eliminação da condição de riscos da operação de esmerilhamento e melhoria de acabamento dos chanfros para posterior soldagem a arco submerso.

Foi idealizado um protótipo de dispositivo para melhorar a qualidade no processo de esmerilhamento das bordas dos anéis de torre eólica, a partir de ideia desenvolvida ao observar os movimentos de uma base magnética. A ideia de desenvolver o dispositivo partiu do princípio da vantagem mecânica, ou seja, a utilização de alavanca, denominada "alavanca interfixa". Assim fez-se o esboço do dispositivo (Figura 29).

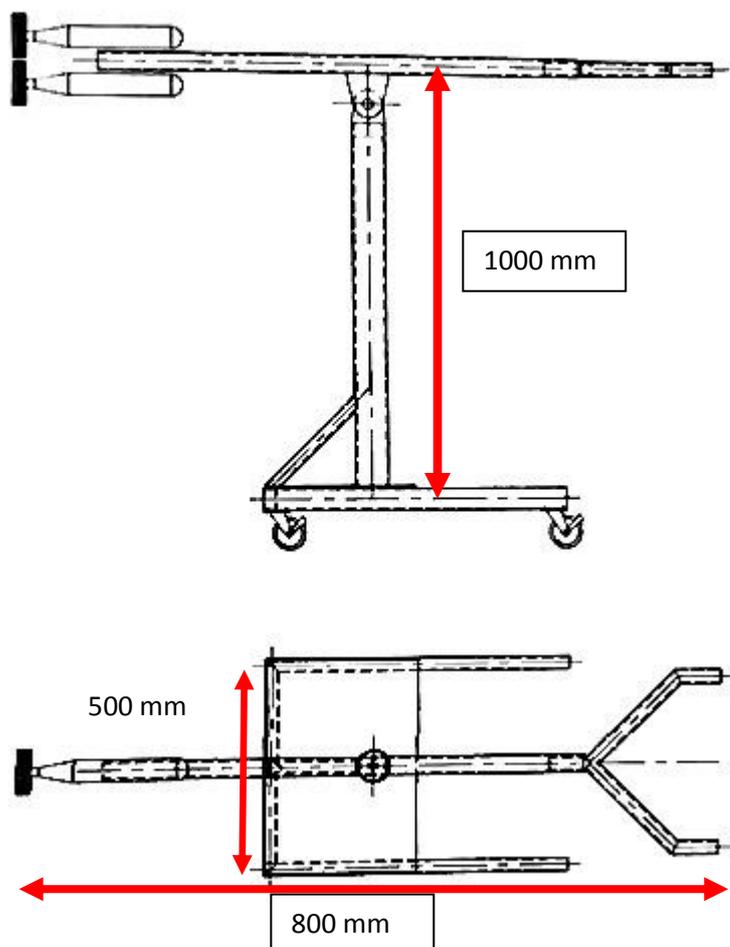


Figura 29: Esboço do dispositivo para processo de esmerilhamento.

Em sequência, fez-se o processo de construção após a elaboração de um desenho técnico específico, com suas respectivas dimensões, reproduzido no Apêndice B desta dissertação. Para a confecção da base do dispositivo, utilizou-se uma barra de aço 1020, conformando-a em formato “U” através de corte e soldagem por eletrodo revestido (Figuras 30 a 33).

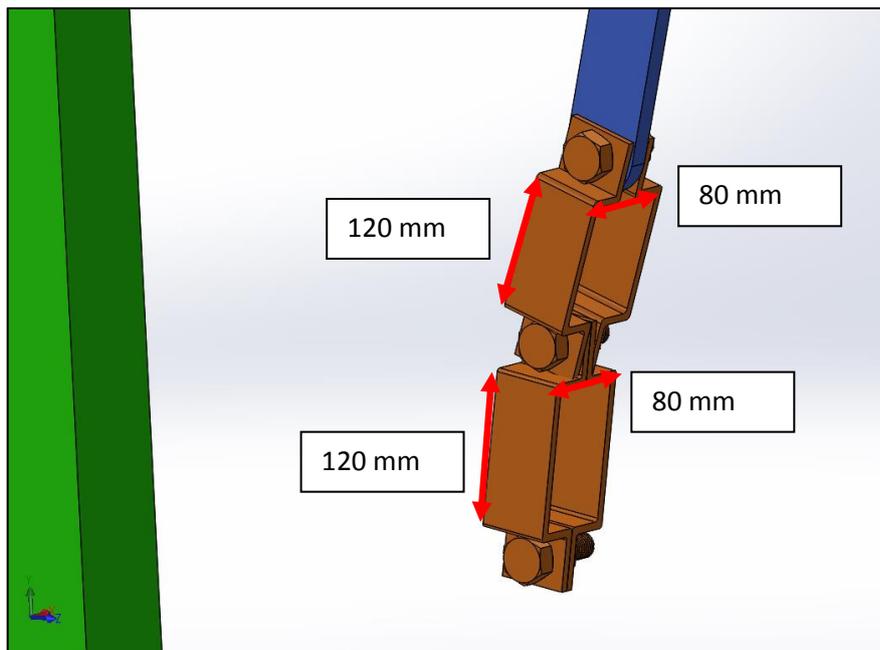


Figura 30: Encaixe do corpo das duas esmerilhadeiras.

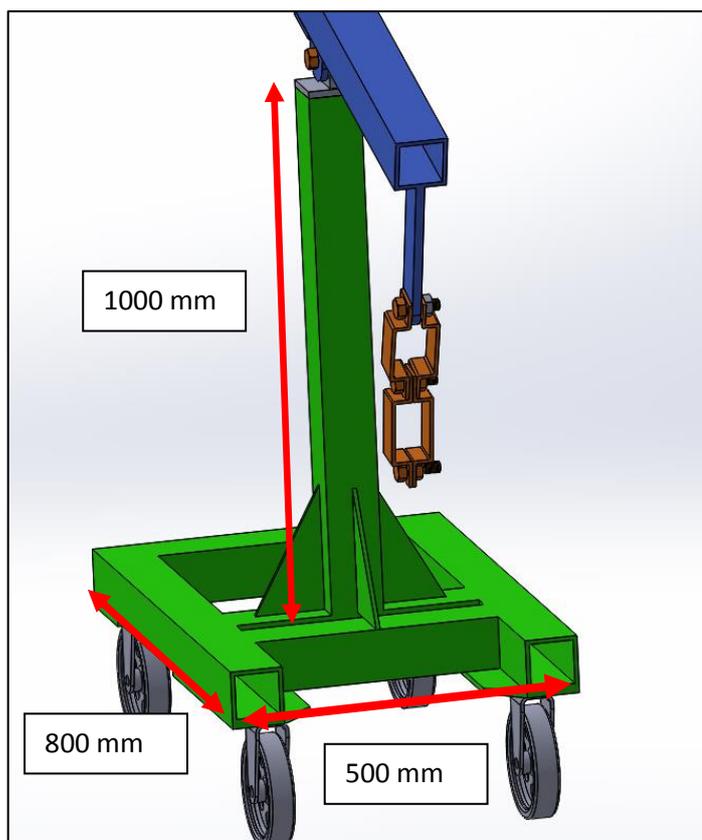


Figura 31: Vista frontal do dispositivo.

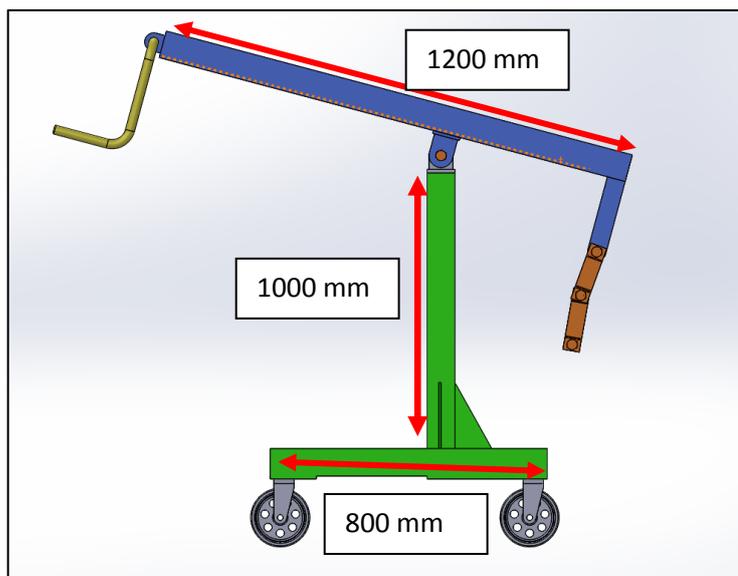


Figura 32: Vista lateral do dispositivo.

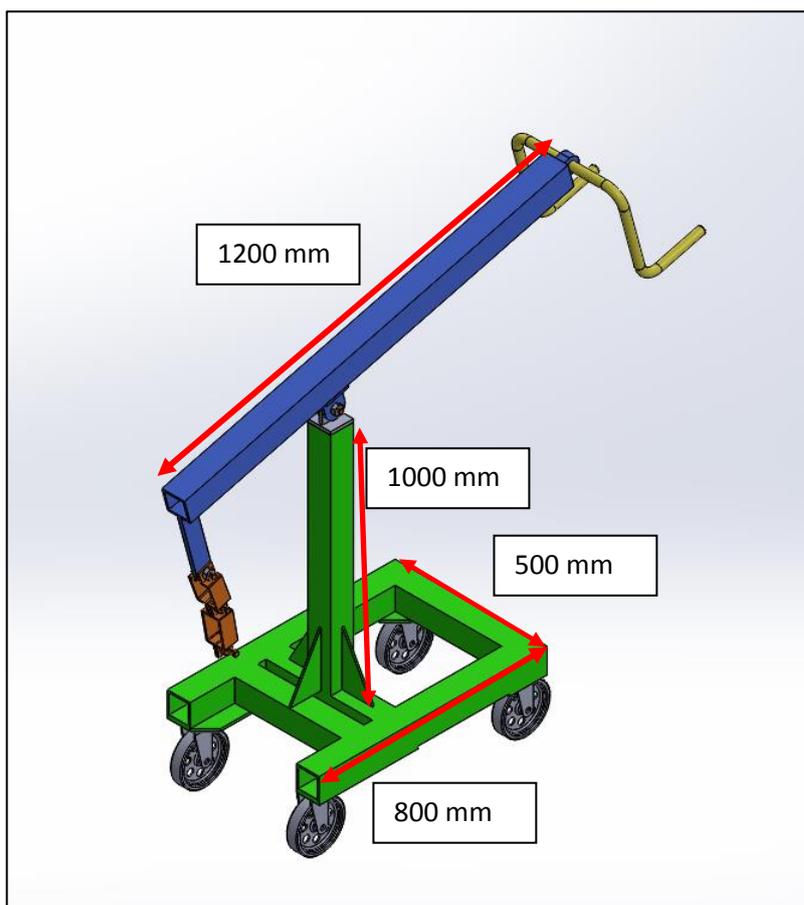


Figura 33: Perspectiva do conjunto.

Como coluna foi utilizado um perfil I de 4" de largura x 2" ¼" de espessura em aço, soldado sobre uma base travessa de perfil retangular soldada na base do dispositivo. O mancal de deslizamento foi confeccionado em barra de aço "2 ¼" em formato de capela e soldado sobre o perfil "I". O braço de sustentação foi adaptado com um vínculo soldado à barra e contrapinado no mancal de deslizamento para articulação da própria barra. O manipulador foi conformado em formato "U" semelhante a um "guidão de bicicleta". O material para a construção do dispositivo está descrito no Quadro 3.

Quadro 3: Material para construção do dispositivo.

Item	Descrição	Material Aço 1020	Quantidade	Unidade
1	Rodas	Rodas de aro em aço	4	pç
2	Base em formato "U"	Perfil retangular 4"x2	3	m
3	Coluna	Perfil formato "I"	1	m
4	Mancal de deslizamento	Barra chata 1/4"	1	pç
5	Braço de sustentação	Barra redonda 1 1/4"	1,5	m
6	Manipulador	Tubo Ø 1 1/2"	1	m

As figuras 34 e 35 mostram o resultado final da construção do dispositivo suporte para as esmerilhadeiras.

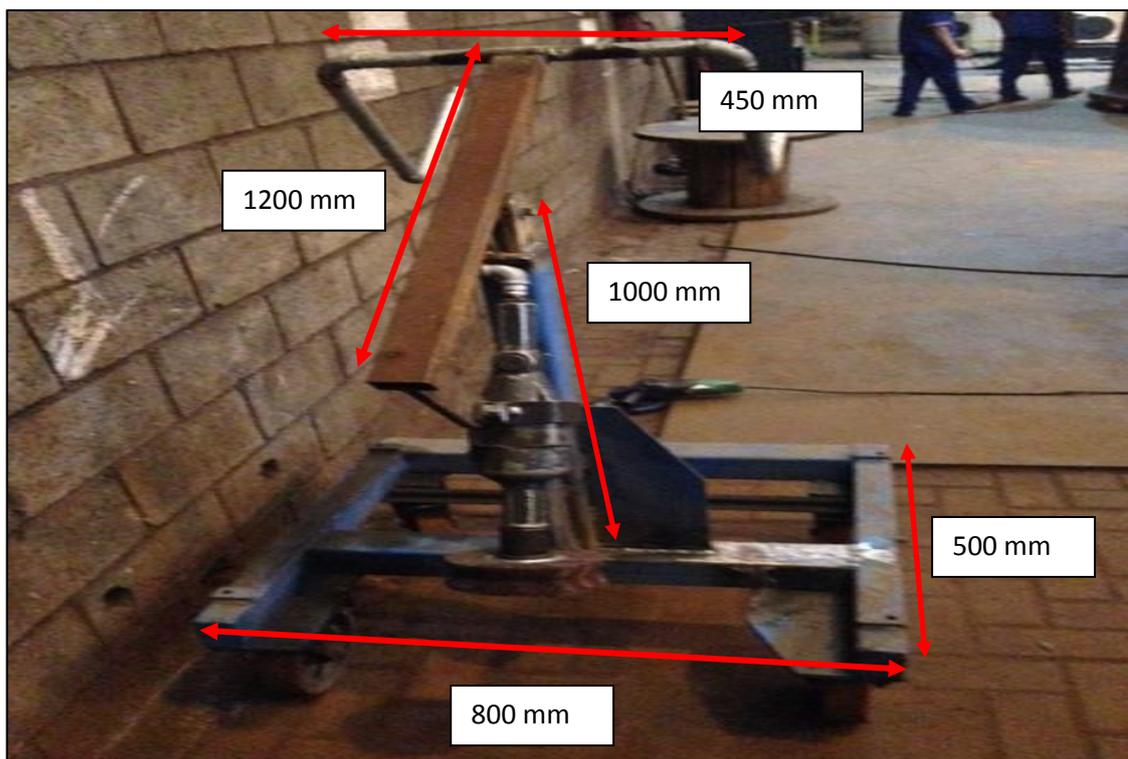


Figura 34: Perspectiva do conjunto do dispositivo acabado.

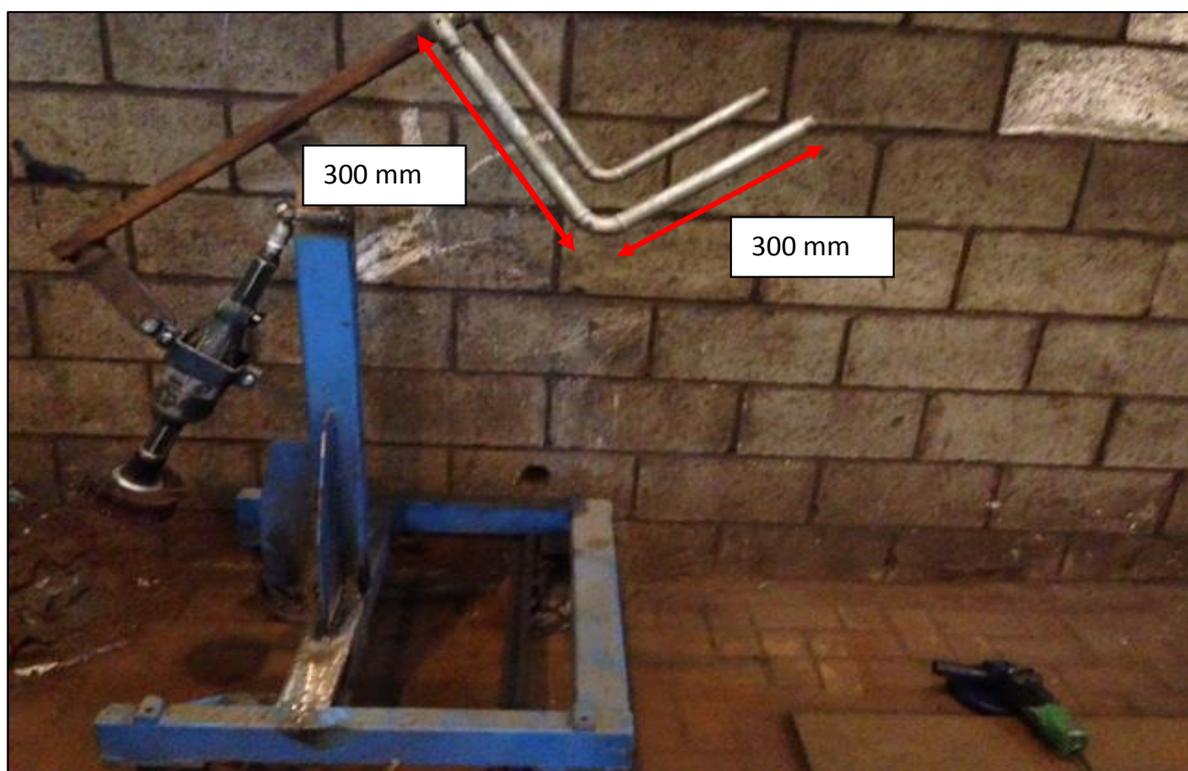


Figura 35: Vista lateral do dispositivo acabado.

3.1.2 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO PROCESSO DE CHANFRAMENTO

Os dados tiveram tratamento não estatístico e foram levantados essencialmente no piso de fábrica, mais precisamente, na célula de chanfragem de bordas de chapas metálicas, de onde foram extraídos os elementos para análise. Foi feito o desenho do estado atual do processo, identificando-se as oportunidades de melhorias e eliminação de desperdícios na mão de obra humana perante a adoção de dispositivo, depois foi elaborado um plano de ação para implementação de ações a fim de se estabelecer um novo processo, ou seja, um novo estado, conhecido como o estado futuro do processo.

3.1.3 MEDIÇÃO DOS RESULTADOS APÓS A UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO

Ressalta-se que anteriormente a construção do dispositivo, por haver critérios e padrão de conformidade, já estabelecidos por normas regulamentadoras relacionadas à construção dos anéis de torre eólica, não havia medição no processo de esmerilhamento e eram aceitos os critérios definidos e publicados. Após a construção do dispositivo de suporte das esmerilhadeiras, foi realizada medição de corpos de prova (C_p , amostras) para identificar se há melhoria da qualidade do material com o novo processo de esmerilhamento.

O procedimento para a realização dos experimentos respeitou uma sequência de preparação dos corpos de prova desde a obtenção dos materiais semi acabados até o corte a plasma e ajustagem dimensional para avaliação dos resultados tendo como objetivo a comparação do comportamento das amostras. Todos os experimentos foram feitos nos laboratórios de mecânica e ferramentaria das Escolas Técnicas Aristóteles Ferreira e Dona Escolástica Rosa, em Santos-SP.

Foi utilizado o rugosímetro Mitutoyo, fabricante com alto grau de confiabilidade para este tipo de instrumento, que se constitui de um eixo com agulha com ponta de diamante, que a partir do contato determina os níveis de rugosidade. De acordo com o Manual Mitutoyo, o Rugosímetro SJ-210 é um instrumento de medição da rugosidade destinado ao chão de fábrica, que apalpa a superfície das

peças e calcula a rugosidade da superfície com base nas normas e depois mostra os resultados. Esses níveis variam entre N1 = 0,025 μm a N12 = 50 μm de acordo com a ABNT 8404 (2002).

Um sensor de rugosidade, conhecido como pick-up (doravante chamado de ponta “stylus”) montado na unidade do detector do SJ-210 apalpa as minúsculas irregularidades da superfície da peça. O deslocamento vertical da ponta e processado digitalmente e mostrado numa tela de cristal líquido do SJ-210, que consiste de unidade display e unidade drive/detector. A unidade drive/detector permite ser utilizado em duas formas: montado ou desmontado da unidade display (Figuras 36 a 38). Dependendo da forma da peça, torna se mais fácil a medição com (ou sem) a unidade drive/detector montado a unidade display.

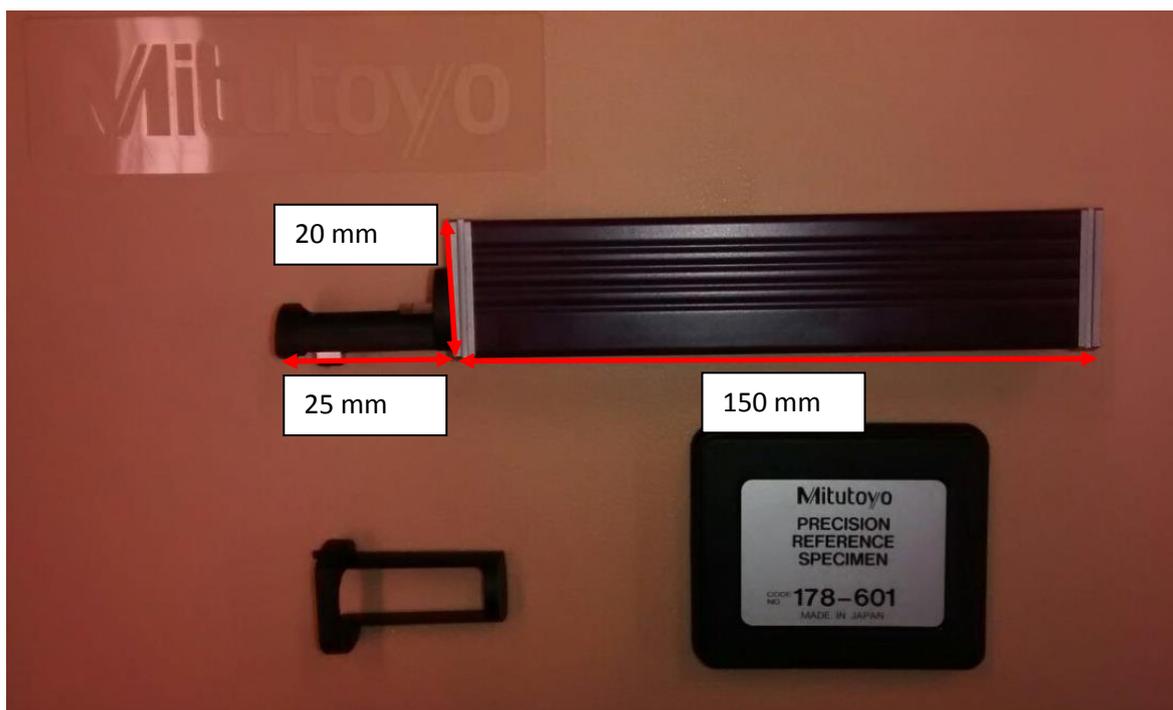


Figura 36: Vista lateral do rugosímetro Mitutoyo.

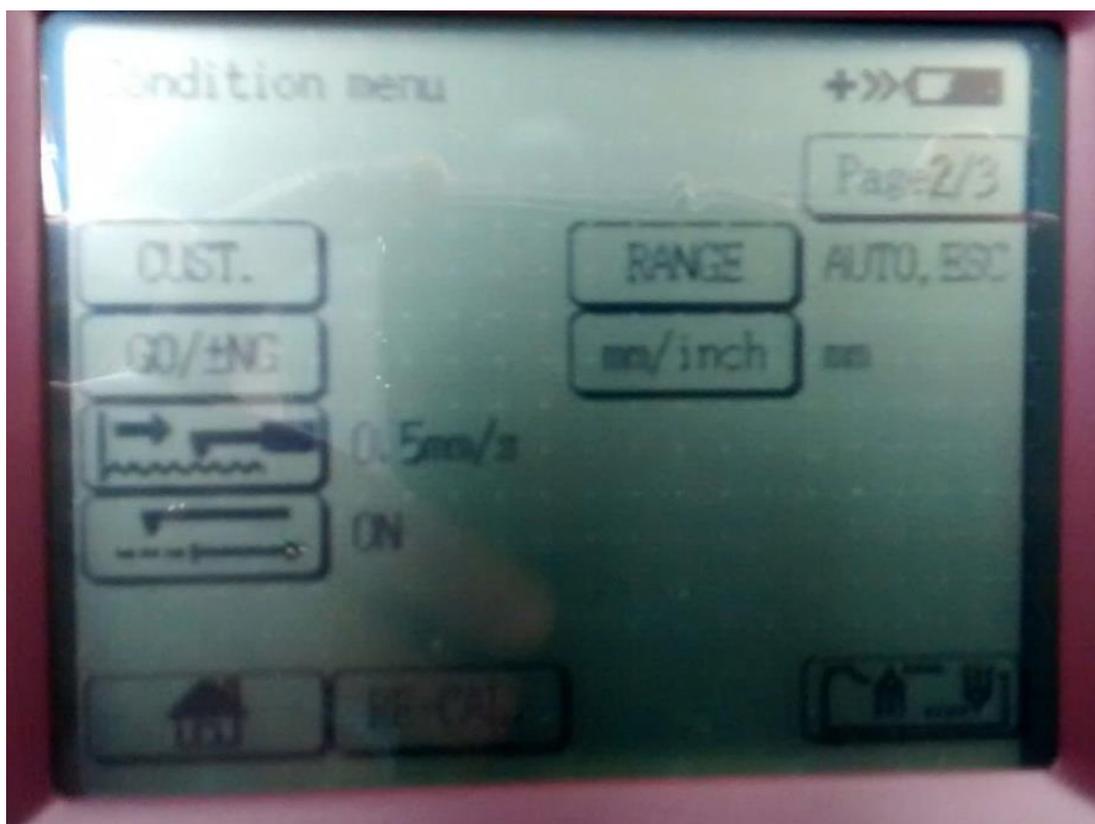


Figura 37: Tela inicial do painel do rugosímetro de Mitutoyo.

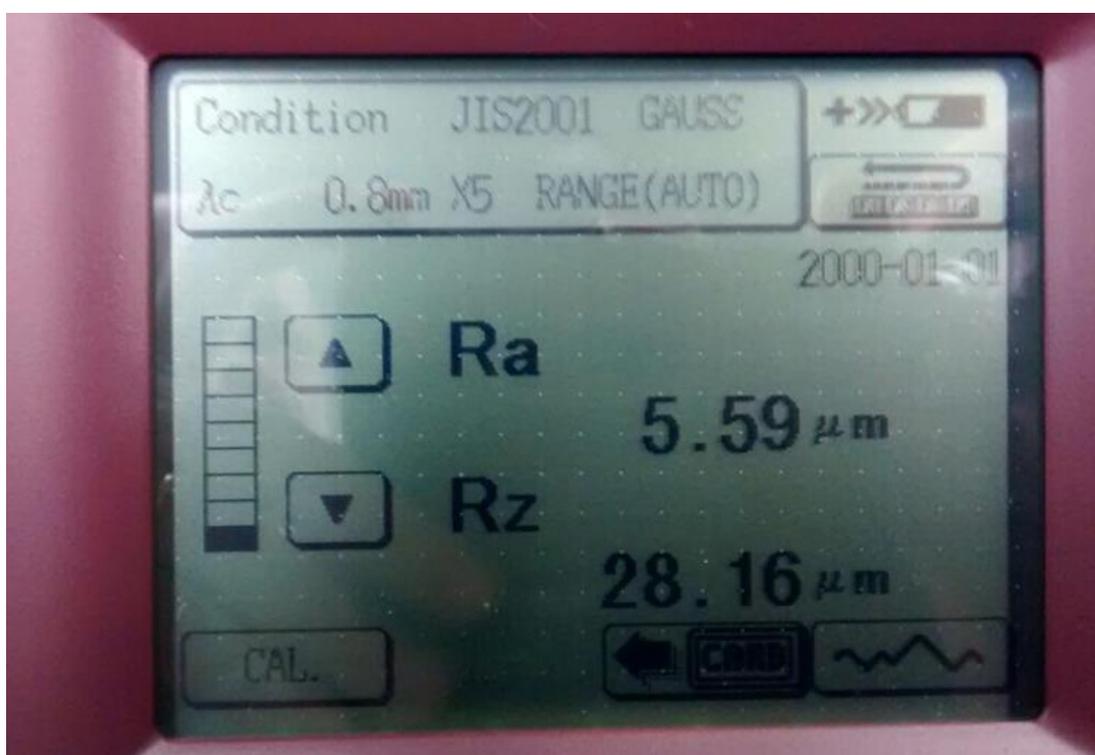


Figura 38: Tela de medição.

Por se tratar de um processo já consolidado na indústria de produção de anéis para construção de torre eólica e pela experiência no manuseio do corte e esmerilhamento das chapas de aço para acabamento superficial, não havia a preocupação inicial de medir a rugosidade do material após o processo de esmerilhamento em todas as suas fases.

Após a criação, desenvolvimento e uso do dispositivo, identificou-se a necessidade de verificar seus resultados. Para tanto, fez-se análise com processo de esmerilhamento em quatro fases: fresamento, disco de desbaste, rebolo e flap, respectivamente e mensurou-se a rugosidade aritmética ou média (R_a) para mensurar a superfície após processo de usinagem. Em sequência foi medida a rugosidade quadrática média (R_q), que é uma forma de acentuar os valores que se afastam da média, sendo aplicado na mensuração do aço por se tratar de material que apresenta riscos de usinagem bem orientados e caracterizar um tipo de superfície em que há pouca resolução do R_a .

E também foi avaliada a rugosidade média (R_z) que analisa os pontos máximo e mínimo de altura no perfil do comprimento de amostragem. Esse critério é utilizado quando os pontos isolados não influenciam na função da peça a ser controlada. Quatro corpos de prova da seção avaliada (superfície) foram produzidos para execução das medidas de rugosidade conforme Figura 39.



Figura 39: Corpos de prova.

A especificação das placas de aço analisadas encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Especificação das placas de aço.

AÇO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA %							LIMITE DE RESISTÊNCIA
S355 JO	0,2 C	0,55 Si	1,6 Mn	0,03 P	0,035 S	0,00 Cu	0,00 Al	470 á 630 MPa
S235	0,17 C	0,00 Si	1,4 Mn	0,035 P	0,035 S	0,035 Cu	0,015 Al	360 á 510 MPa

Em sequência observam-se os perfis das juntas analisadas conforme Anexo B, separadas por juntas: C4, C5, C6, C7 e C8, conforme Figuras 40 a 44, respectivamente.



Figura 40: Perfil de junta C4.

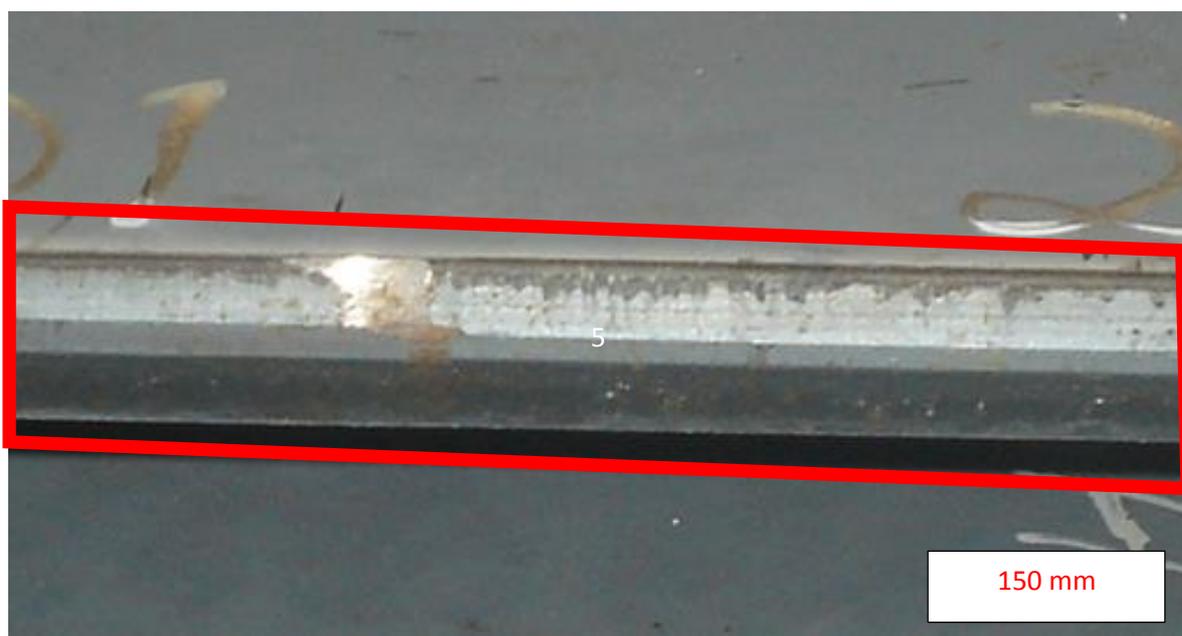


Figura 41: Perfil de junta C5.



Figura 42: Perfil de junta C6.



Figura 43: Perfil de junta C7.

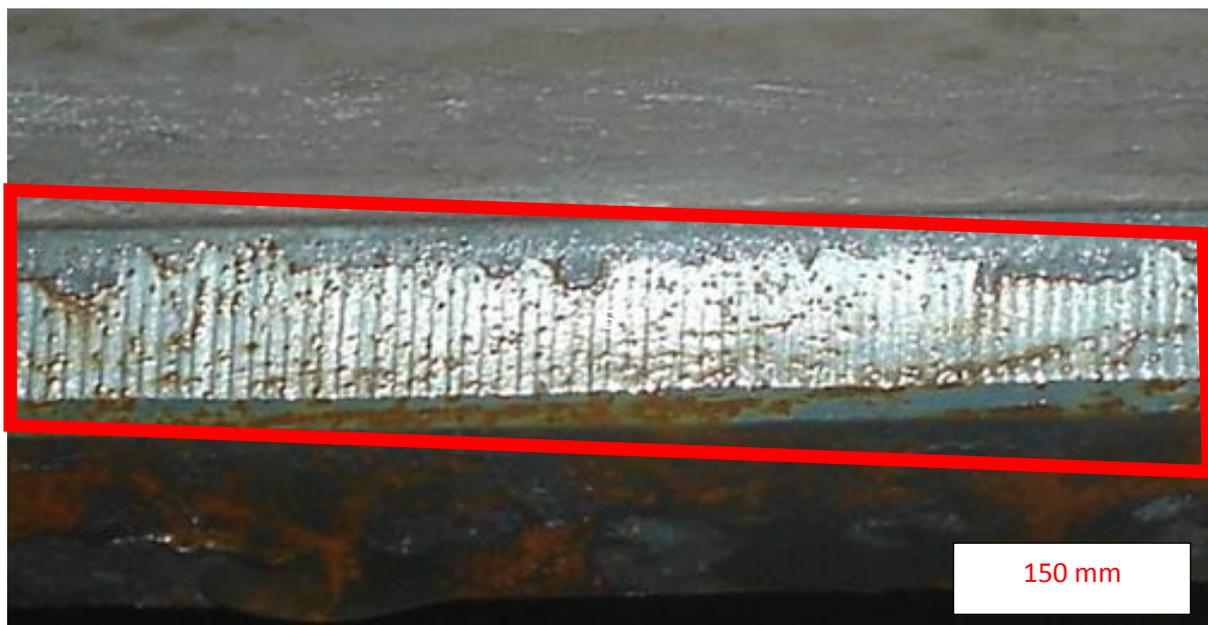


Figura 44: Perfil de junta C8.

Os corpos de prova foram submetidos a processo de esmerilhamento em quatro fases separadamente e em sequência foi realizada a medição a partir do rugosímetro, dividindo as peças lixadas em cada fase em seis secções para permitir a comparação e análise da eficácia no processo de esmerilhamento da superfície.

Considerou-se o tamanho da peça de amostra de 100-160mm de comprimento por 20mm de largura com *cut-off* de 4,0mm e comprimento de amostragem de 0,8mm. Assim ficou:

$L_t = 4,0\text{mm}$

$L_e = 0,8\text{mm}$

3.2 Sujeitos da Pesquisa

Os sujeitos da pesquisa são os operadores participantes da célula de esmerilhamento de bordas de anéis obtidos de chapas metálicas calandradas, passando pelas etapas de preparação de insumos necessários, esmerilhamento mecânico, além do uso do dispositivo pneumático e fluxo de processo.

3.3 Coleta de Dados

Os dados foram coletados por meio de técnica interativa de observação direta e participante no período dos anos de 2015 e 2016, pelo trabalho real de construção dos anéis para estrutura de torre eólica. Participaram do processo o autor desta dissertação como proponente da automação e idealizador do dispositivo de esmerilhamento, além dos operários que fazem parte do processo de construção dos tramos. Inicialmente foram levantados os fluxos do processo atual e elencados os problemas existentes quanto a rugosidade para sugestão da aplicação de novo dispositivo.

Em seguida, foram levantados os fluxos das peças e componentes que são requeridos no esmerilhamento de bordas dos anéis, assim como a tomada do tempo de cada operação executada e requerida no posto de trabalho e o levantamento do estoque de peças entre os postos de trabalho e acabadas.

3.4 Limitações do Método

Conforme Yin (2005), os pontos fracos para um estudo de caso levando em consideração a observação direta, é que esta forma consome muito tempo, é uma forma seletiva salvo ampla cobertura, o acontecimento pode ocorrer de forma diferenciada porque está sendo observado ocasionando assim a reflexibilidade, o custo é significativo uma vez que requer horas de observação dos agentes. Para a observação participante, relata-se também que pode existir viés devido à manipulação dos eventos por parte do pesquisador.

Outro fator limitante do método é a adesão/ cooperação e dissimulação dos operários envolvidos na pesquisa, que são agentes atuantes da célula a ser estudada, uma vez que o resultado final pode ser fator determinante sobre a necessidade ou não da força de trabalho no uso do dispositivo em termos qualitativos ou quantitativos funcionais.

Segundo Ludwig (2009, p.307), a dissimulação ocorre quando o observador é conhecido, que pode significar um “risco de atividade atípica dos observados”, ou seja, eles podem realizar suas atividades de forma diferente do que executam no

cotidiano, o que pode levar a um resultado distorcido da realidade. Outro aspecto é que o registro pode influenciar a observação e esta pode afetar os registros.

Para Gil (2009), uma objeção ao estudo de caso refere-se ao tempo que é destinado a pesquisa, demandando muito tempo para ser realizado com pouca consistência nos resultados finais, onde a análise de um único ou poucos casos, fornecem uma base frágil para generalização.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da Análise Ergonômica da Mão-de-obra

Com a construção da alavanca interfixa, evidencia-se a construção de dispositivo de vantagens mecânicas que associam facilidade no manuseio e resultados na qualidade do processo de esmerilhamento. Anteriormente o trabalhador esmerilhava em meia lua (180° da peça) e girava 180° o anel para lixar a outra parte. Atualmente existem berços de rolos motrizes que vão girando continuamente em baixa rotação o anel (Figuras 45 a 47).

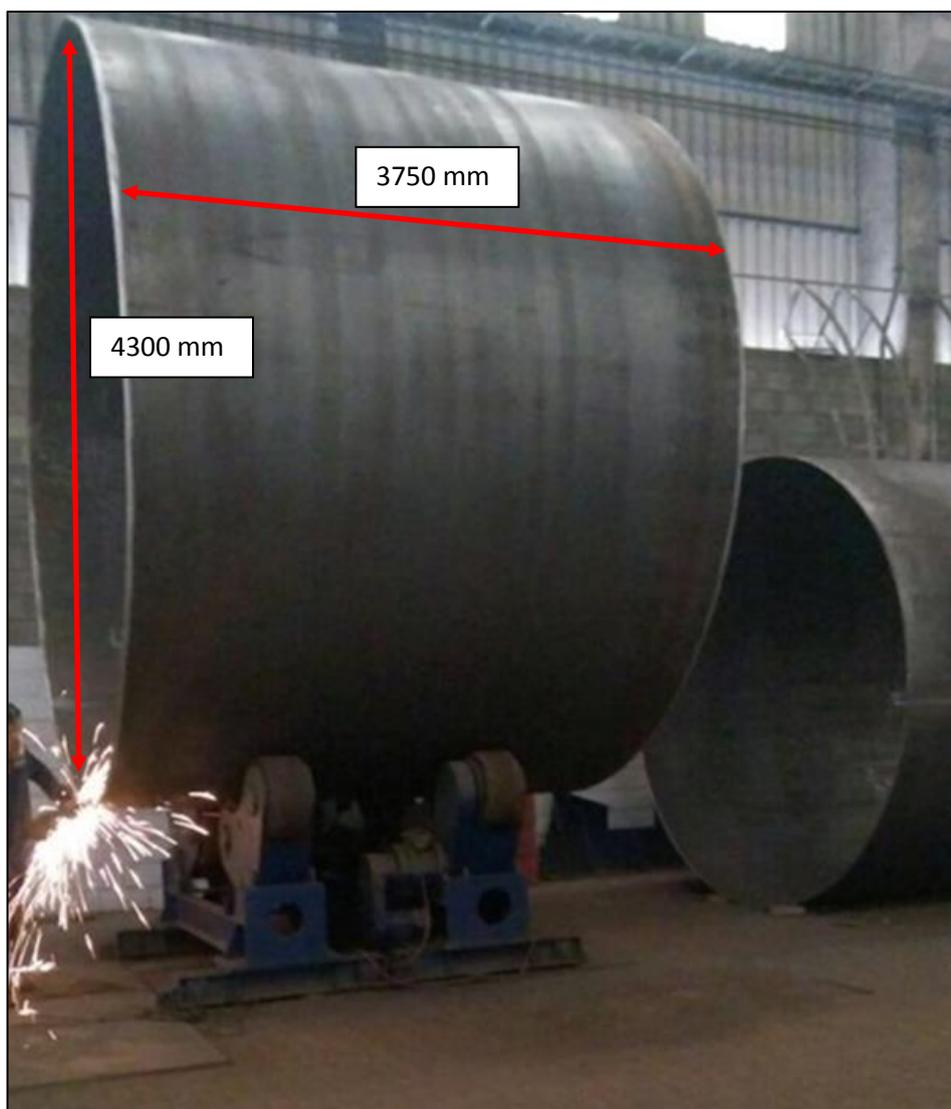


Figura 45: Processo de esmerilhamento manual.



Figura 46: Posição do operador em proximidade da esmerilhadeira.



Figura 47: Posição do operador em proximidade da esmerilhadeira.

Percebe-se na figura 47, embora não esteja tão nítida, que o operário situa-se muito próximo ao disco de desbaste pela posição de sua mão, o que lhe confere um risco no processo, além da postura inadequada, pois ele vai passando a lixa pelas bordas, inicialmente no chanfro interno e após no chanfro externo. Com a adoção do dispositivo suporte de esmerilhadeira, esta condição de trabalho é superada (Figuras 48 e 49).

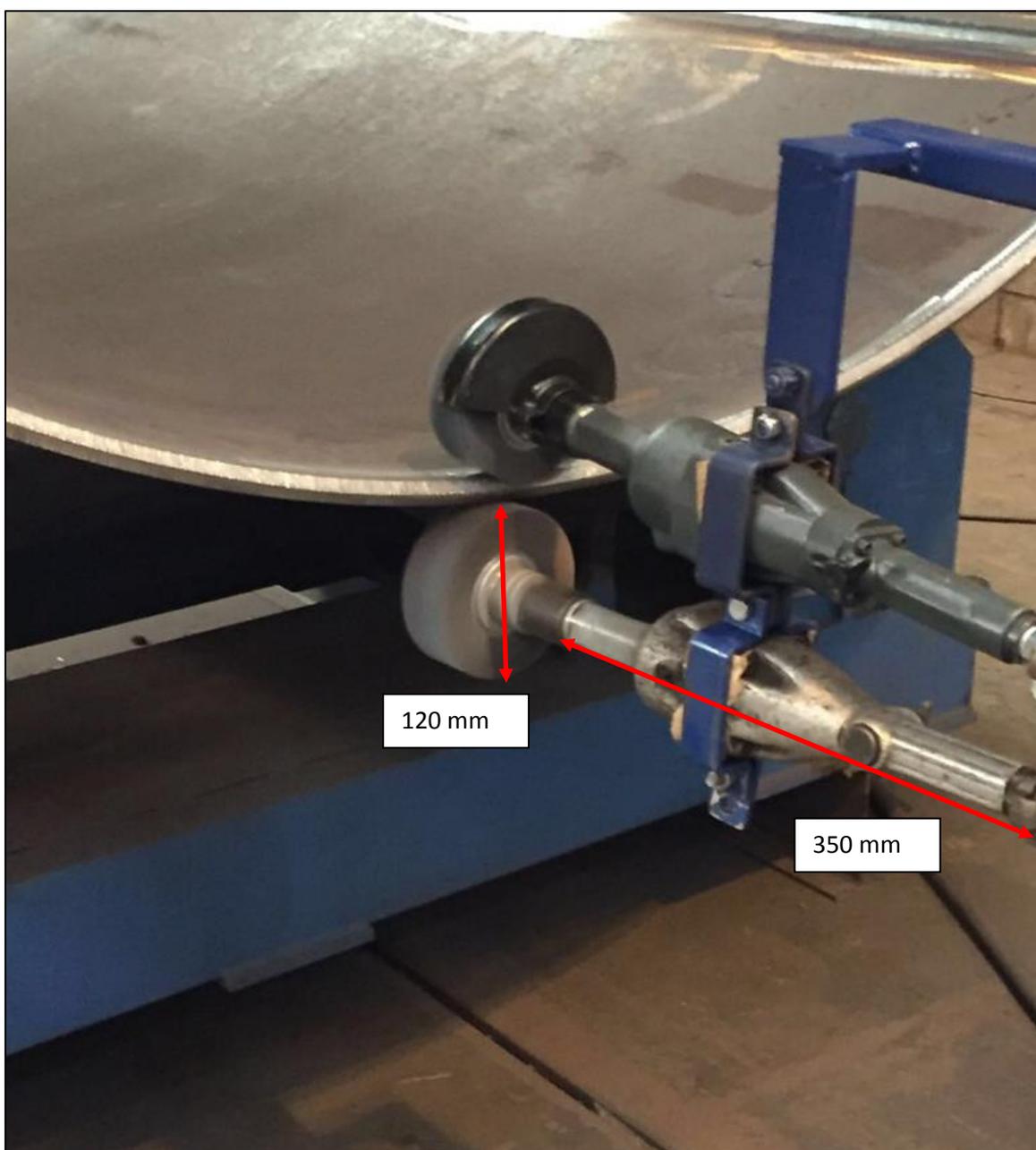


Figura 48: Processo de esmerilhamento com utilização do dispositivo suporte de esmerilhadeira.

Observa-se na Figura 48 que o dispositivo fica posicionado corretamente na borda, tanto no chanfro externo quanto interno do anel, sendo fixado a esta borda e o que vai girando no processo é o anel.



Figura 49: Posição atual do operador no processo de esmerilhamento.

Também fica evidente na figura 49 que o operário posiciona-se atrás do dispositivo e não mais tão próximo do disco de desbaste, apenas sua função atual é de segurar o guidão e direcionar o dispositivo. Assim, não há necessidade de dispor o trabalhador nem de coloca-lo em risco pelo manuseio do disco de desbaste, pois ele apenas precisa segurar o dispositivo e não fica tão próximo do disco de esmerilhamento. O trabalhador assume a função de manter o equilíbrio da barra de sustentação do dispositivo das esmerilhadeiras.

Além da eficiência no uso do dispositivo, houve redução de tempo no processo de esmerilhamento de 60 minutos aproximadamente para 28 minutos, pois a atividade que era executada em dois momentos (chanfro de face interno e chanfro de face externo da borda do anel) e de forma manual, passou a ser executada nas duas faces simultaneamente ao permitir a colocação de duas superfícies de esmerilhamento.

4.2 Resultados da Medição

Em sequência comparou-se os valores de rugosidade de Ra, Rz e Rq nas secções.

Tabela 2: Medição dos valores de Rugosidade Ra, Rz e Rq da Amostra.

RUGOSIDADE: LIXAMENTO POR DISCO DE FLAP					
RA	2,41	1,94	1,63	1,75	2,23
RZ	12,17	11,19	9,53	9,17	11,65
RQ	2,91	2,49	2,13	2,17	2,78
RUGOSIDADE: LIXAMENTO POR DISCO DE REBOLO					
RA	2,18	2,03	2,08	1,92	2,33
RZ	11,41	11,95	10,28	8,68	11,44
RQ	2,88	2,73	2,57	2,92	2,85
RUGOSIDADE: LIXAMENTO POR DISCO DE DESBASTE					
RA	2,3	2,31	2,01	2,3	2,59
RZ	10,84	11,57	9,64	12,63	13,99
RQ	2,35	3,27	2,66	2,81	2,75
RUGOSIDADE: FRESAMENTO					
RA	3,76	3,54	2,33	3,04	3,84
RZ	22,44	17,61	13,27	14,87	20,46
RQ	4,90	4,40	2,96	3,64	4,42

Foram analisados os processos referentes ao esmerilhamento superficial de pequeno perfil de amostra do fresamento, que constitui o aspecto primeiro após a usinagem do aço, ao processo mais fino, realizado atualmente com flap. Verificadas as condições de rugosidade das quatro operações envolvidas no processo de esmerilhamento atual dos anéis de borda, foram demonstrados os resultados (Gráficos 1 a 4).

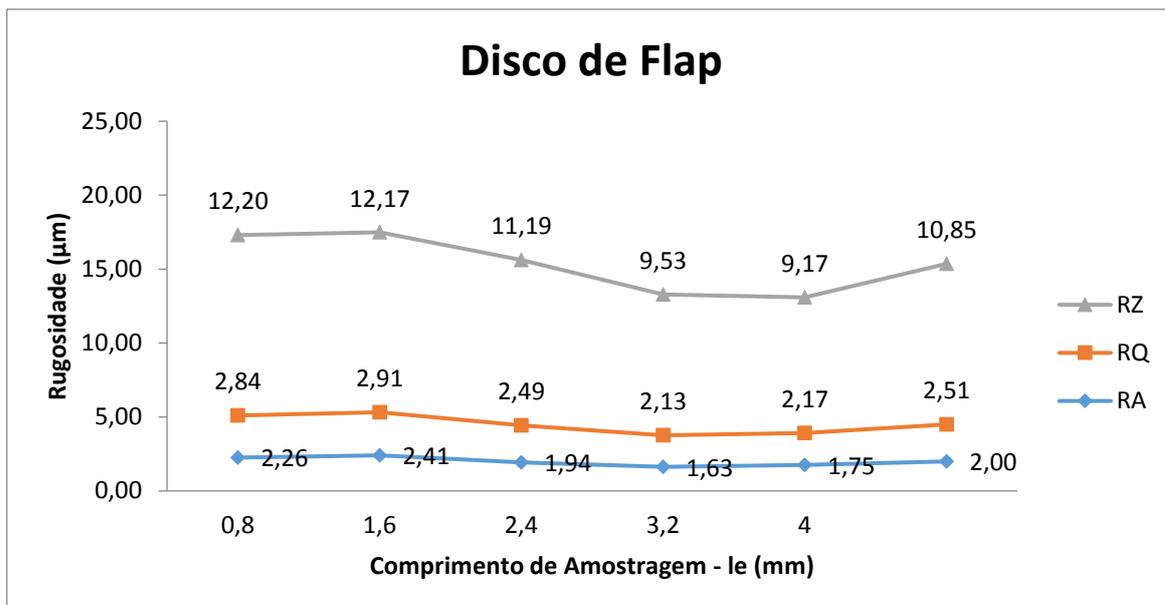


Gráfico 1: Resultado final do *cutt-off* para medição do material esmerilhado por disco de flap, indicando a média ponderada das medições das seções.

No Gráfico 1, observa-se que houve redução da rugosidade em todas as medições, de Ra, Rq e Rz. Pelo esmerilhamento através do disco de flap confirma-se que ocorreu a maior redução da rugosidade, evidenciando maior regularidade entre picos e vales do comprimento da amostragem (perfis).

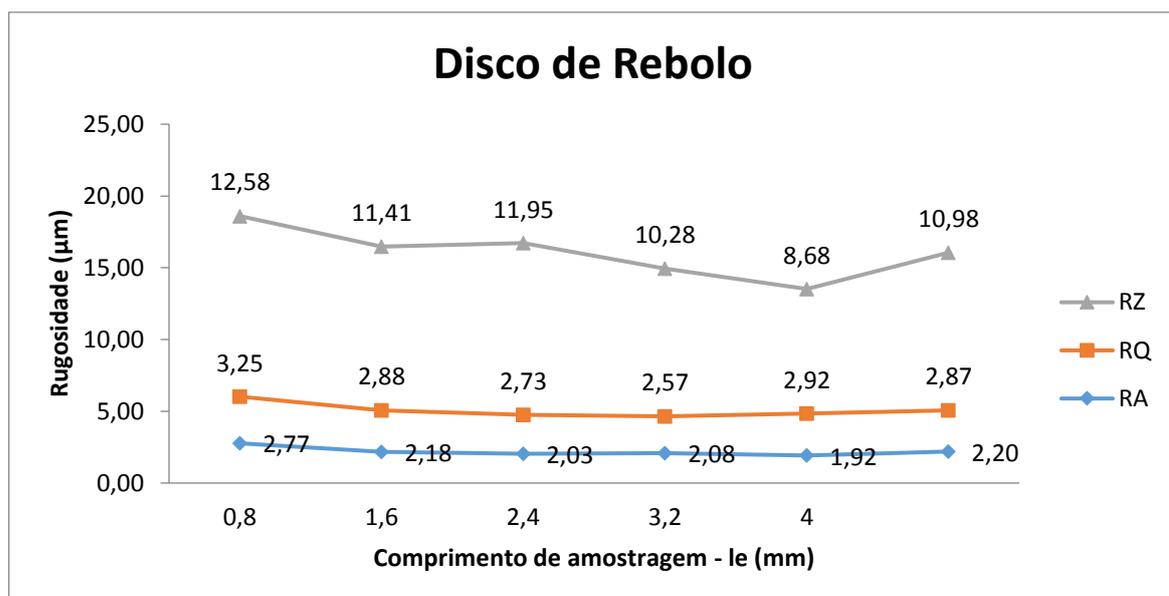


Gráfico 2: Resultado final do *cutt-off* para medição do material esmerilhado por rebolo, indicando a média ponderada das medições das seções.

No Gráfico 2, observa-se que houve redução da rugosidade em todas as medições, de Ra, Rq e Rz. Pelo esmerilhamento através do disco de rebolo observa-se redução da rugosidade em relação ao desbaste. Assim como no flap, percebe-se regularidade entre picos e vales, porém com valor de rugosidade maior do que na medição por flap (perfis).

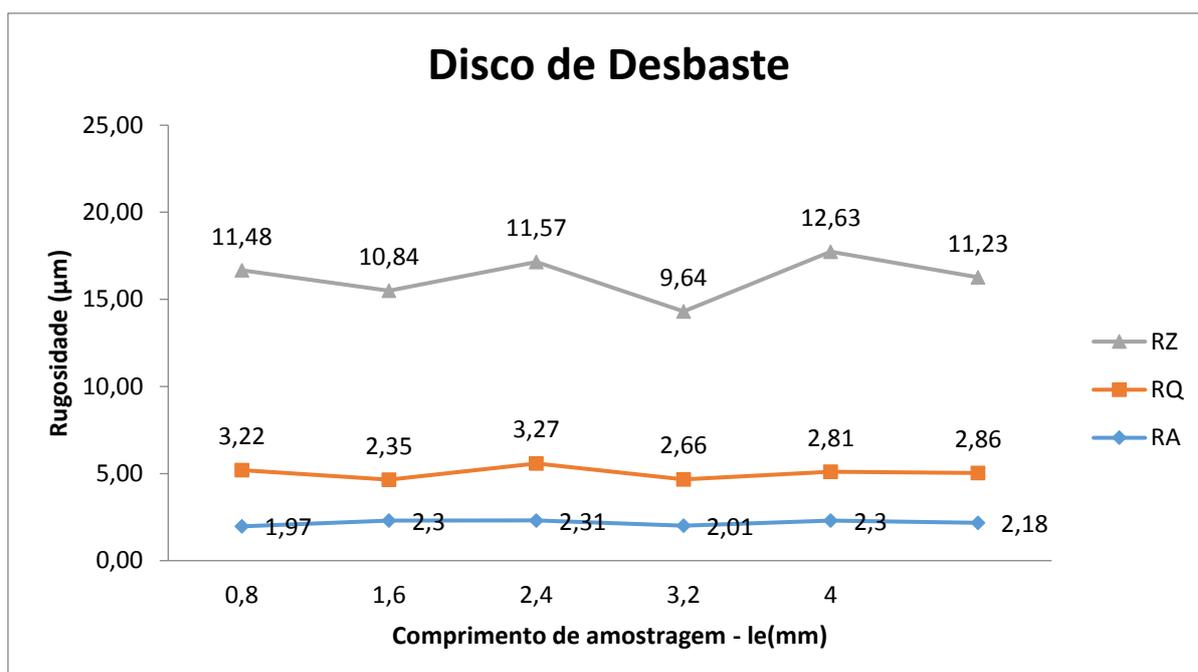


Gráfico 3: Resultado final do *cutt-off* para medição do material esmerilhado por disco de desbaste, indicando a média ponderada das medições das seções.

No Gráfico 3, observa-se que houve redução da rugosidade em todas as medições, de Ra, Rq e Rz. Pelo esmerilhamento através do disco de desbaste observa-se redução da rugosidade em relação ao disco de fresa, porém com irregularidades entre picos e vales (perfis).

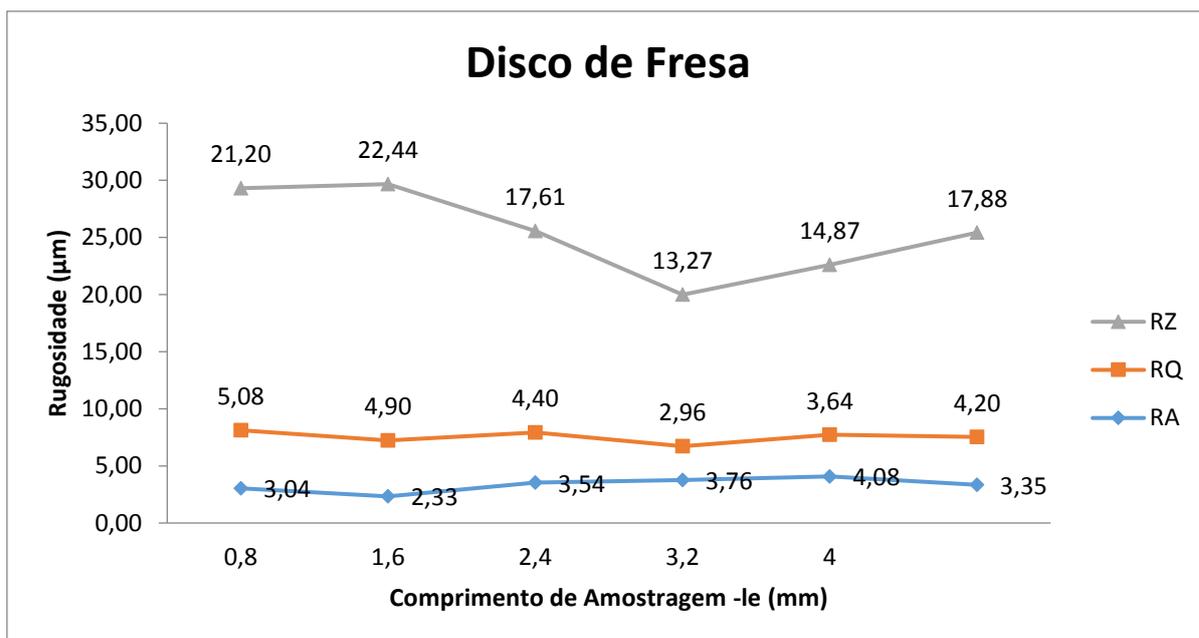


Gráfico 4: Resultado final do *cutt-off* para medição do material por fresamento, indicando a média ponderada das medições das seções.

No Gráfico 4, percebe-se que os valores de rugosidade são maiores do que os percebidos em desbaste, rebolo e flap, onde há maiores irregularidades entre picos e vales (perfis).

Em sequência faz-se análise por tipo de classificação, Ra, Rz e Rq, comparando as seções (Tabelas 3 a 5 e Gráficos 5 a 22).

Tabela 3: Análise Ra.

	RA					
FRESAMENTO	4,08	3,76	3,54	2,33	3,04	3,35
DESBASTE	1,97	2,3	2,31	2,01	2,3	2,18
REBOLO	2,77	2,18	2,03	2,08	1,92	2,20
FLAP	2,26	2,41	1,94	1,63	1,75	2,00

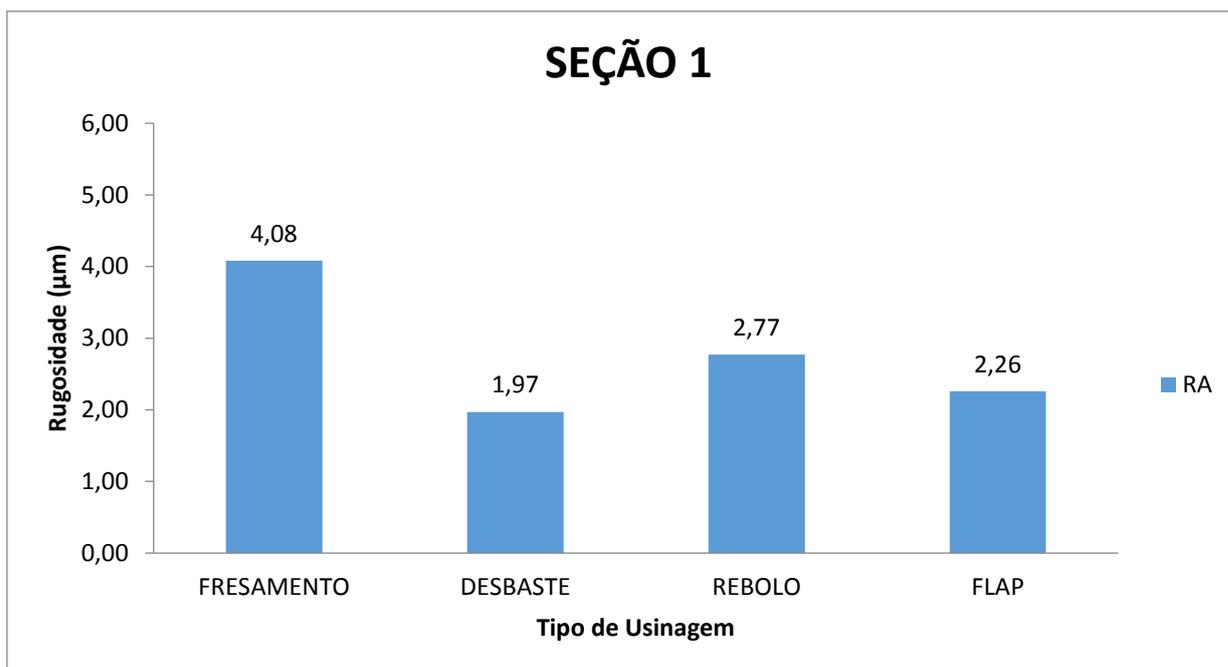


Gráfico 5: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 1- Ra.

No Gráfico 5, observa-se a redução da rugosidade em 80%.

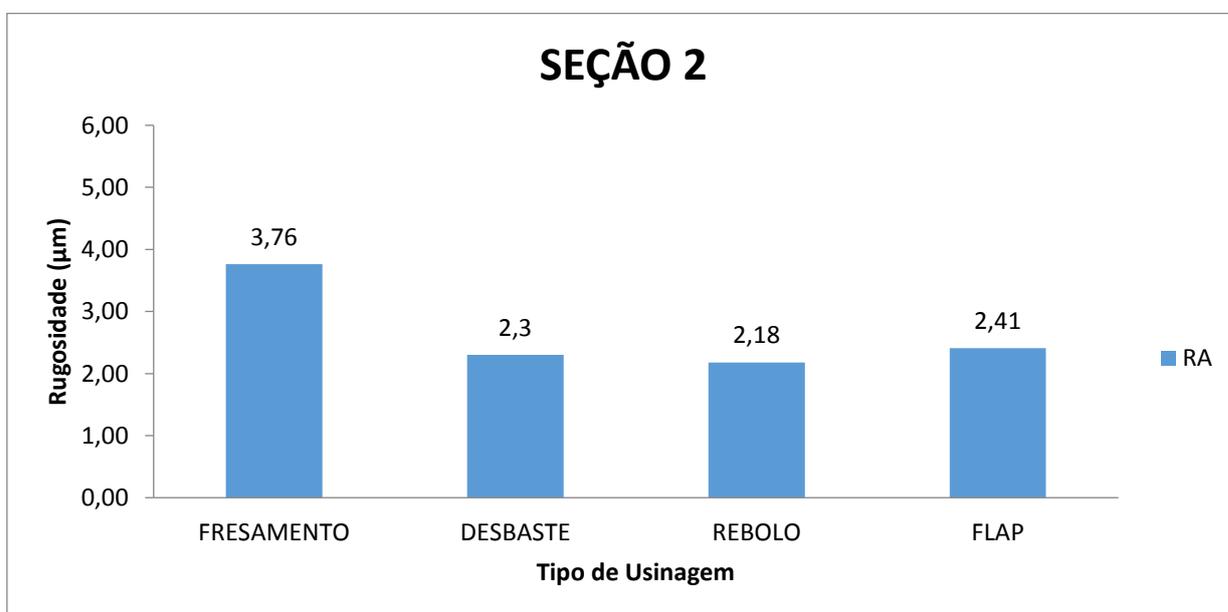


Gráfico 6: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 2- Ra.

No Gráfico 6, observa-se a redução da rugosidade em 56%.

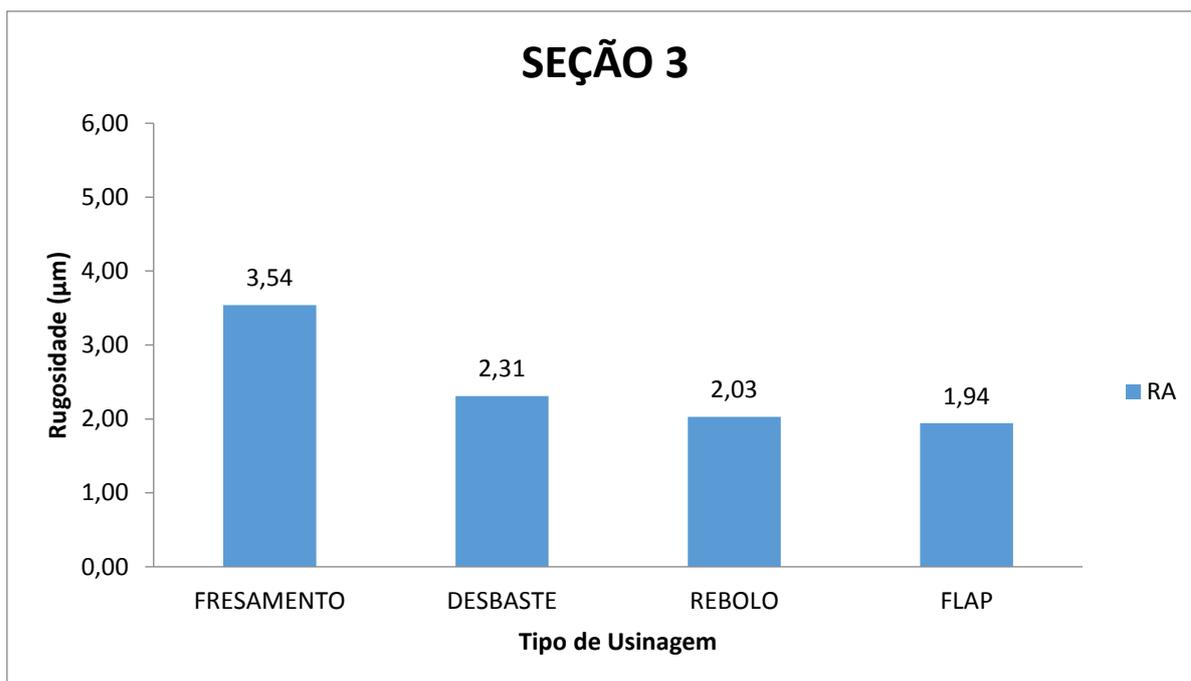


Gráfico 7: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 3- Ra.

No Gráfico 7, observa-se a redução da rugosidade em 82%.

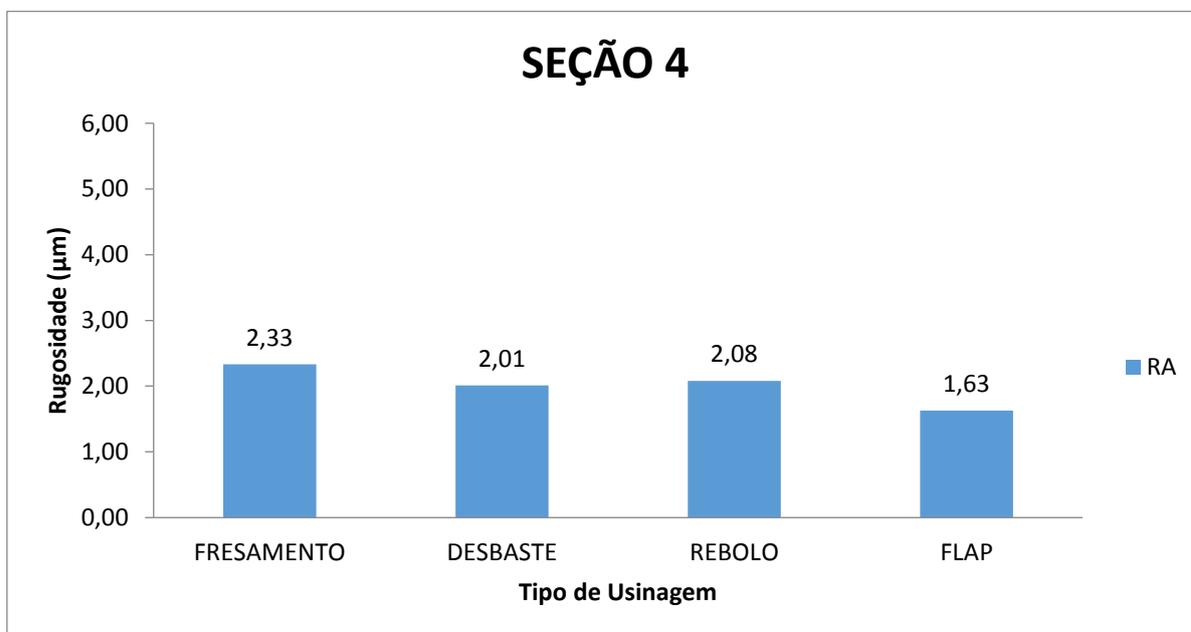


Gráfico 8: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 4- Ra.

No Gráfico 8, observa-se a redução da rugosidade em 43%.

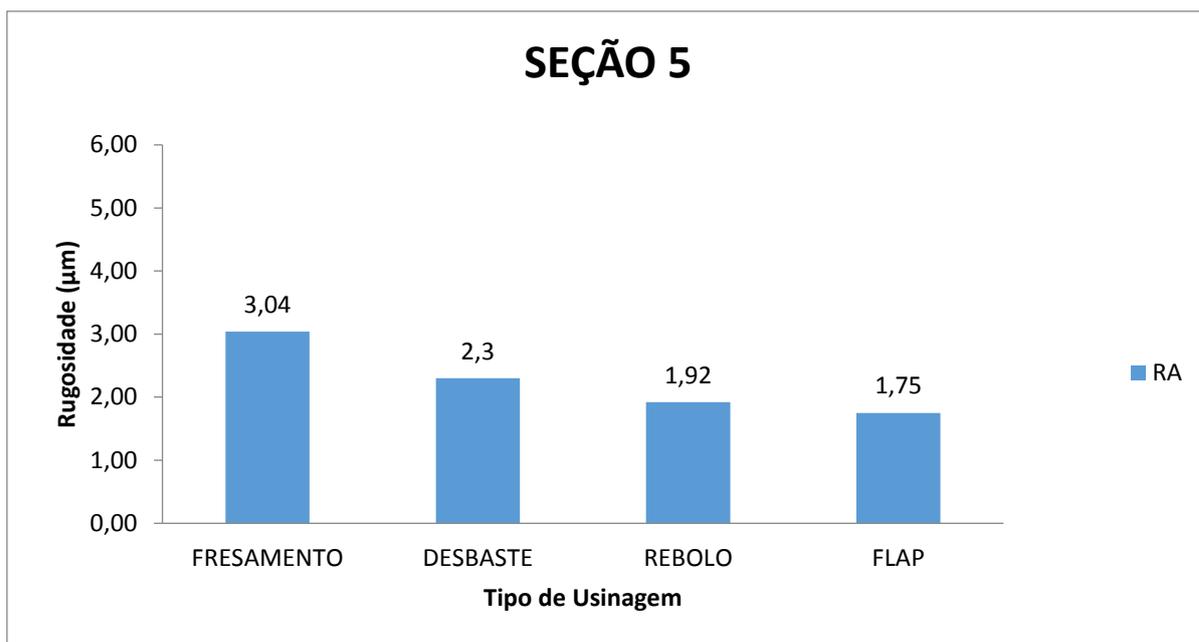


Gráfico 9: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 5- Ra.

No Gráfico 9, observa-se a redução da rugosidade em 74%.

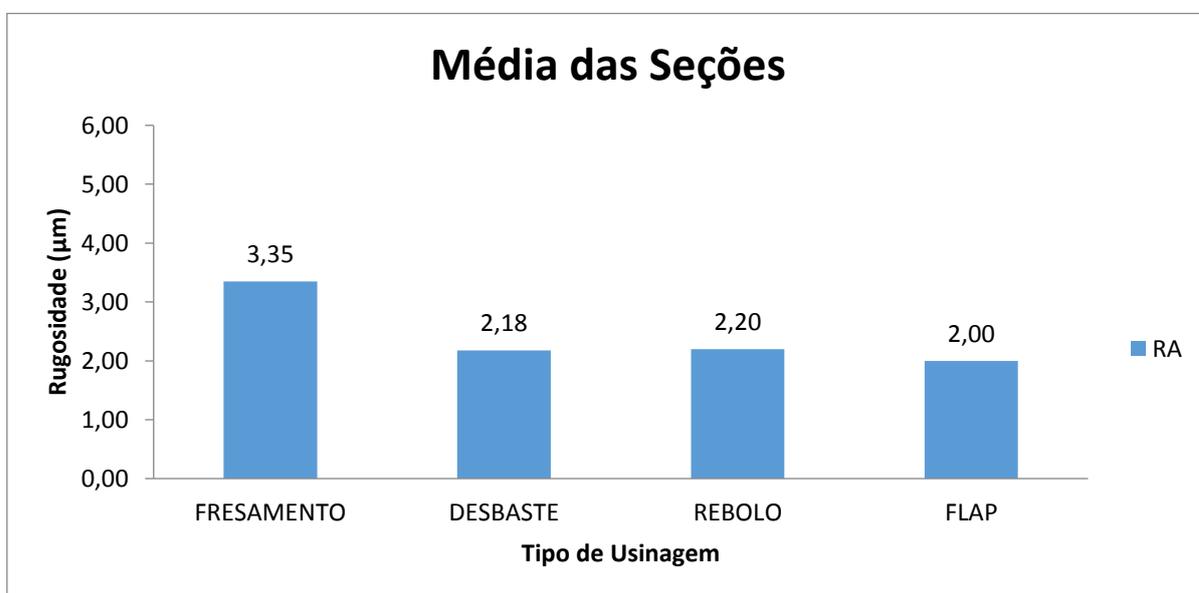


Gráfico 10: Média das Seções- Ra.

No Gráfico 10, na classificação comparativa de Ra, houve um ganho de redução de rugosidade de 68%.

Tabela 4: Análise Rz.

RZ						
FRESAMENTO	21,20	22,44	17,61	13,27	14,87	17,88
DESBASTE	11,48	10,84	11,57	9,64	12,63	11,23
REBOLO	12,58	11,41	11,95	10,28	8,68	10,98
FLAP	12,20	12,17	11,19	9,53	9,17	10,85

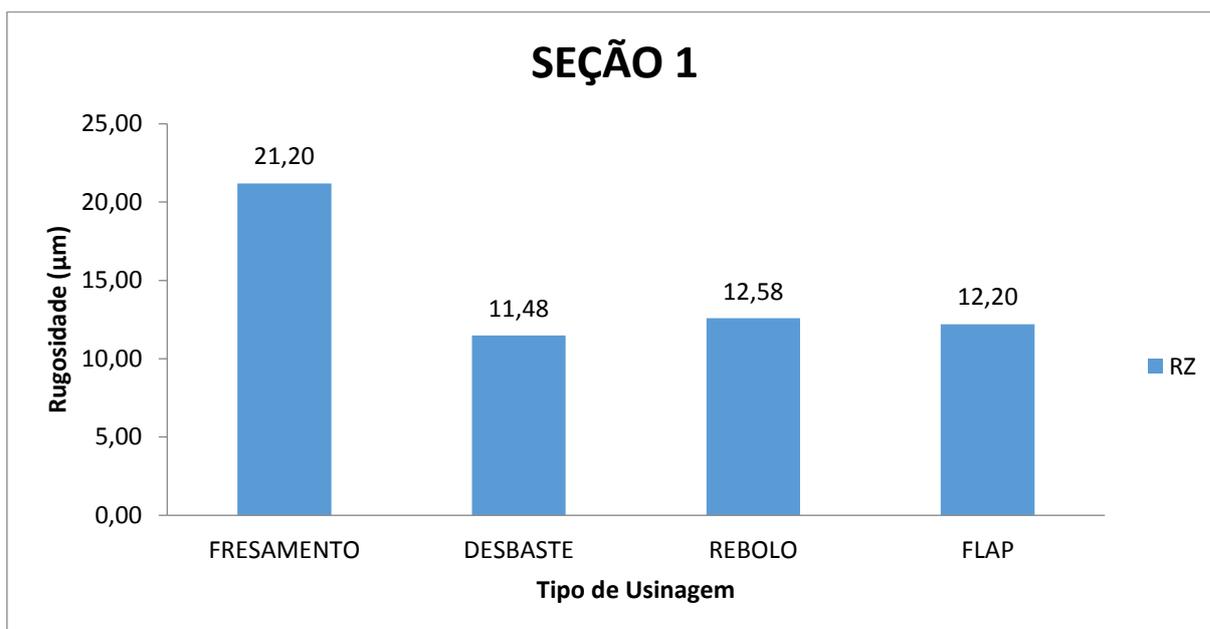


Gráfico 11: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 1- Rz.

No Gráfico 11, observa-se a redução da rugosidade em 74%.

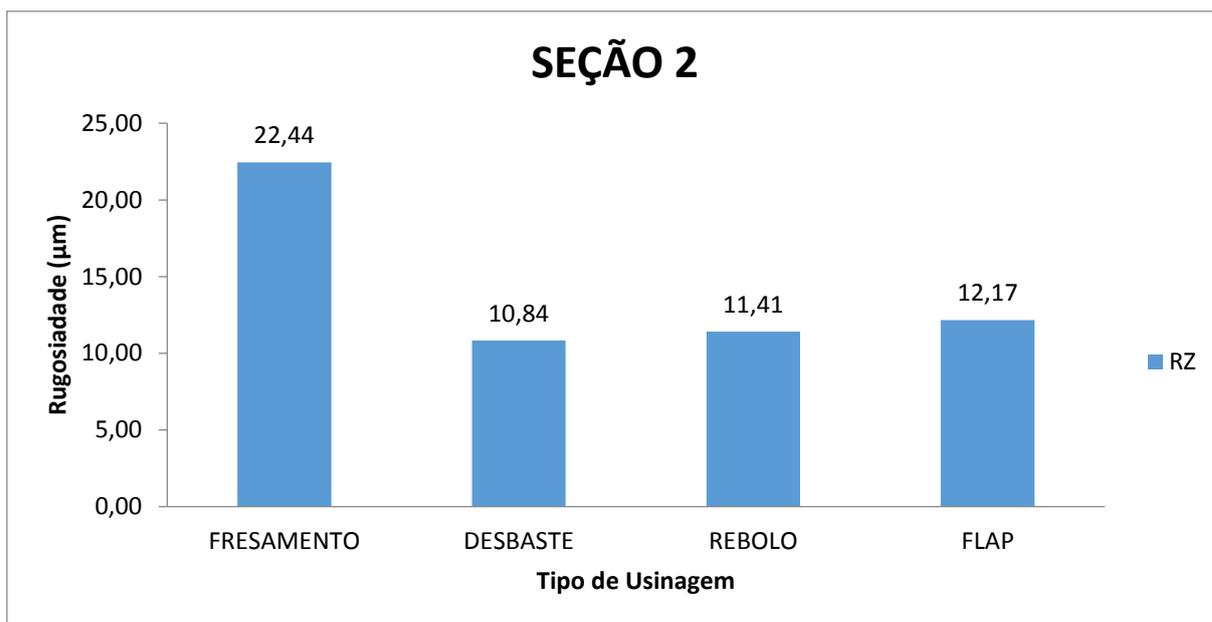


Gráfico 12: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 2- Rz.

No Gráfico 12, observa-se a redução da rugosidade em 84%.

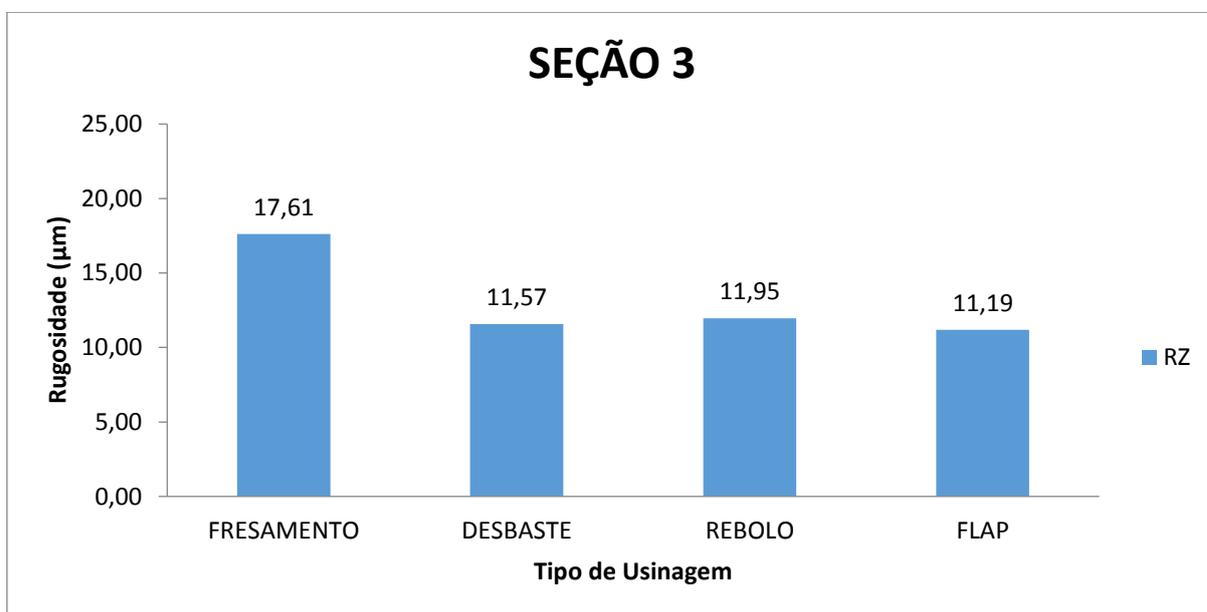


Gráfico 13: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 3- Rz.

No Gráfico 13, observa-se a redução da rugosidade em 57%.

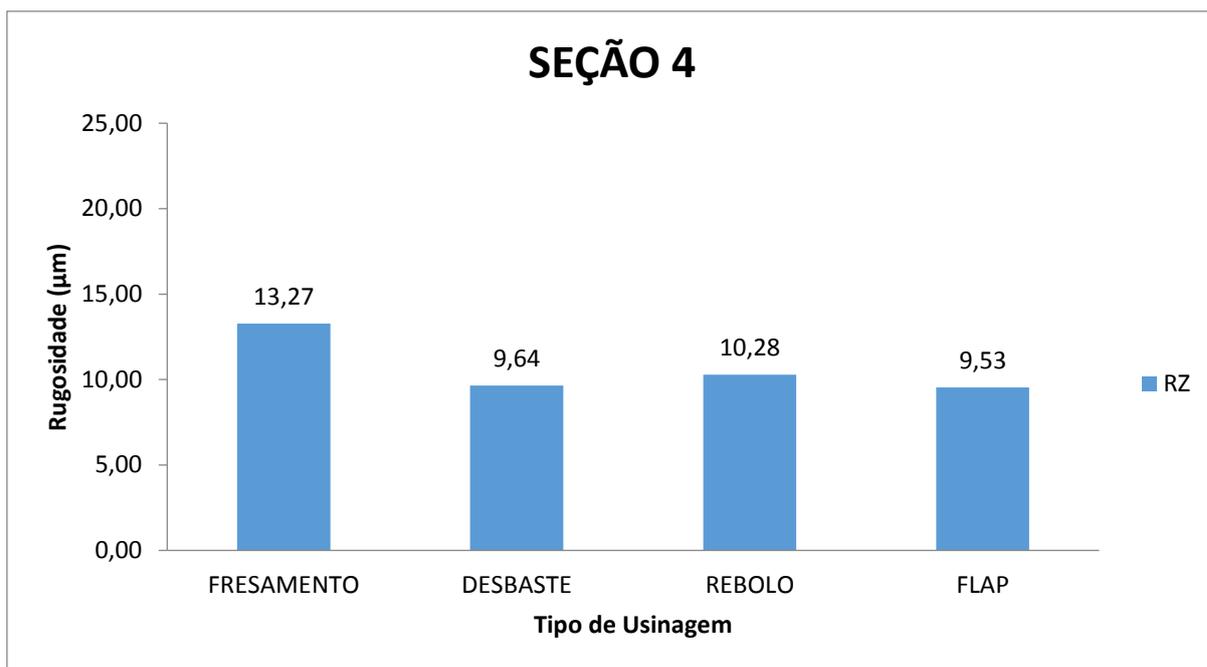


Gráfico 14: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 4- Rz.

No Gráfico 14, observa-se a redução da rugosidade em 39%.

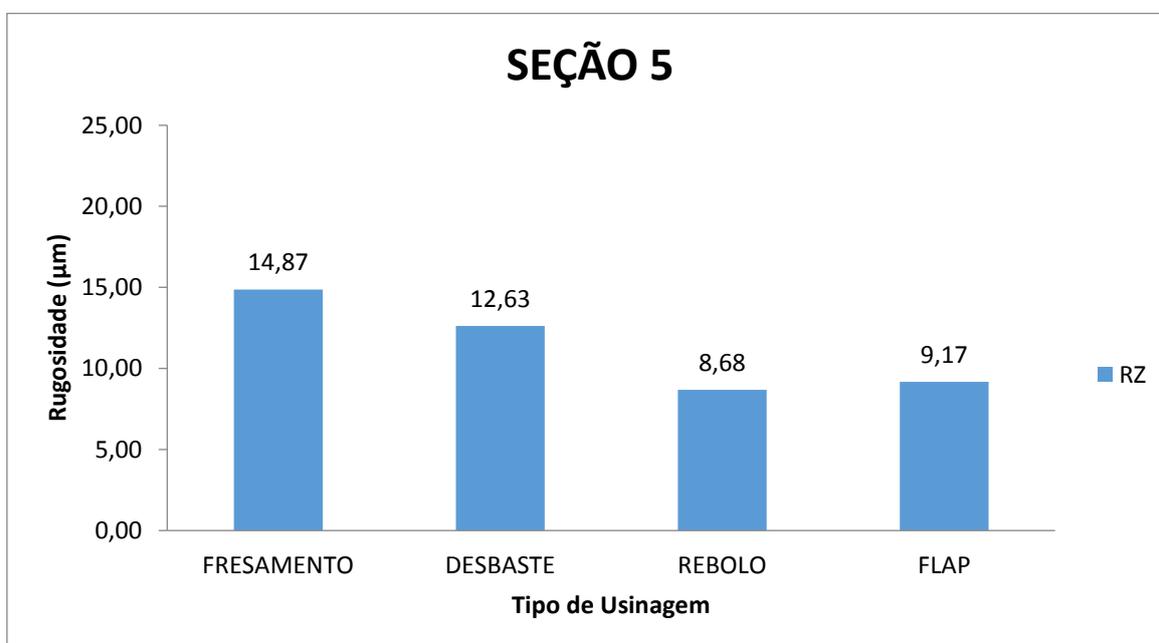


Gráfico 15: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 5- Rz.

No Gráfico 15, observa-se a redução da rugosidade em 62%.

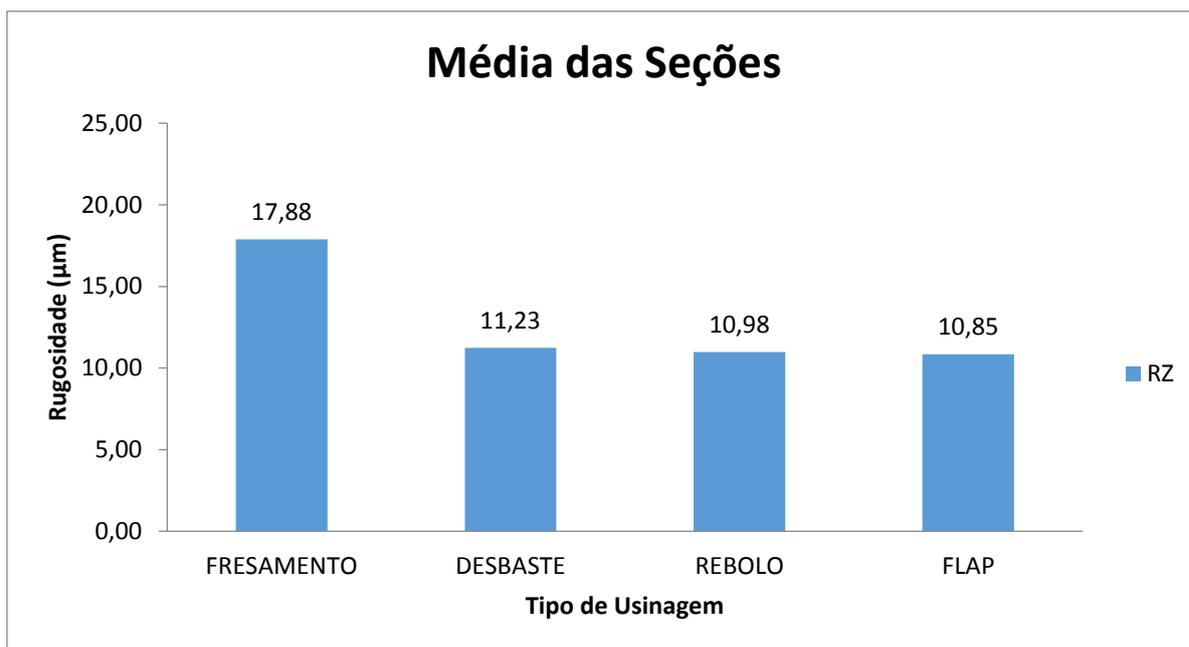


Gráfico 16: Média das Seções- Rz.

No Gráfico 16, na classificação comparativa de Rz, houve um ganho de redução de rugosidade de 65%.

Tabela 5: Análise Rq.

RQ						
FRESAMENTO	5,08	4,90	4,40	2,96	3,64	4,20
DESBASTE	3,22	2,35	3,27	2,66	2,81	2,86
REBOLO	3,25	2,88	2,73	2,57	2,92	2,87
FLAP	2,84	2,91	2,49	2,13	2,17	2,51

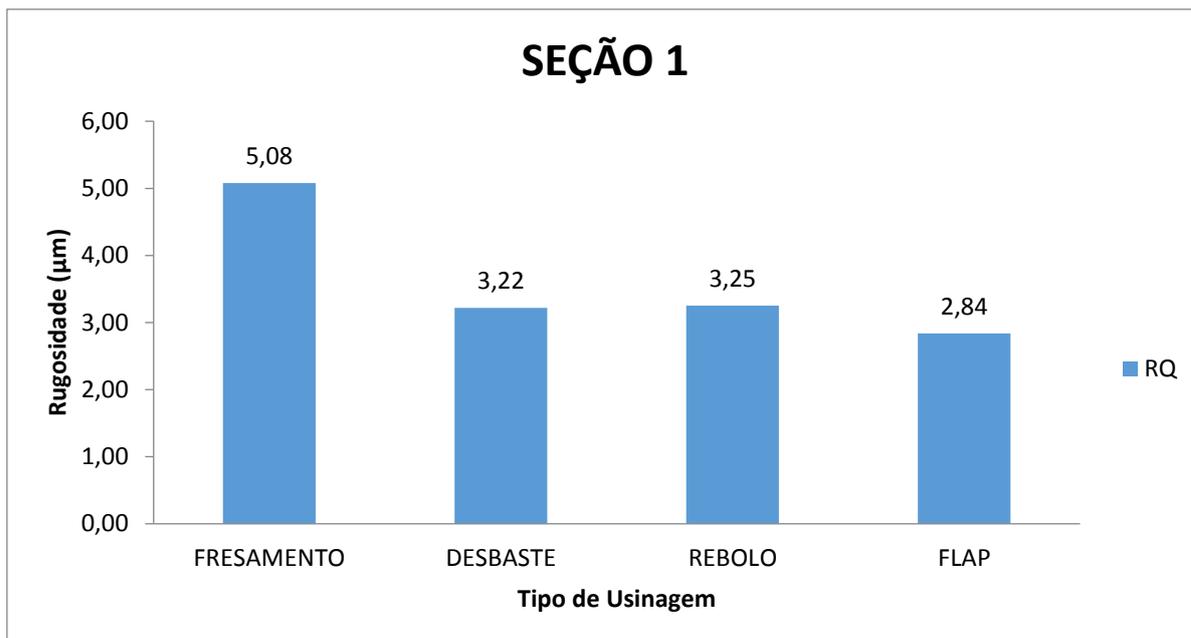


Gráfico 17: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 1- Rq.

No Gráfico 17, observa-se a redução da rugosidade em 79%.

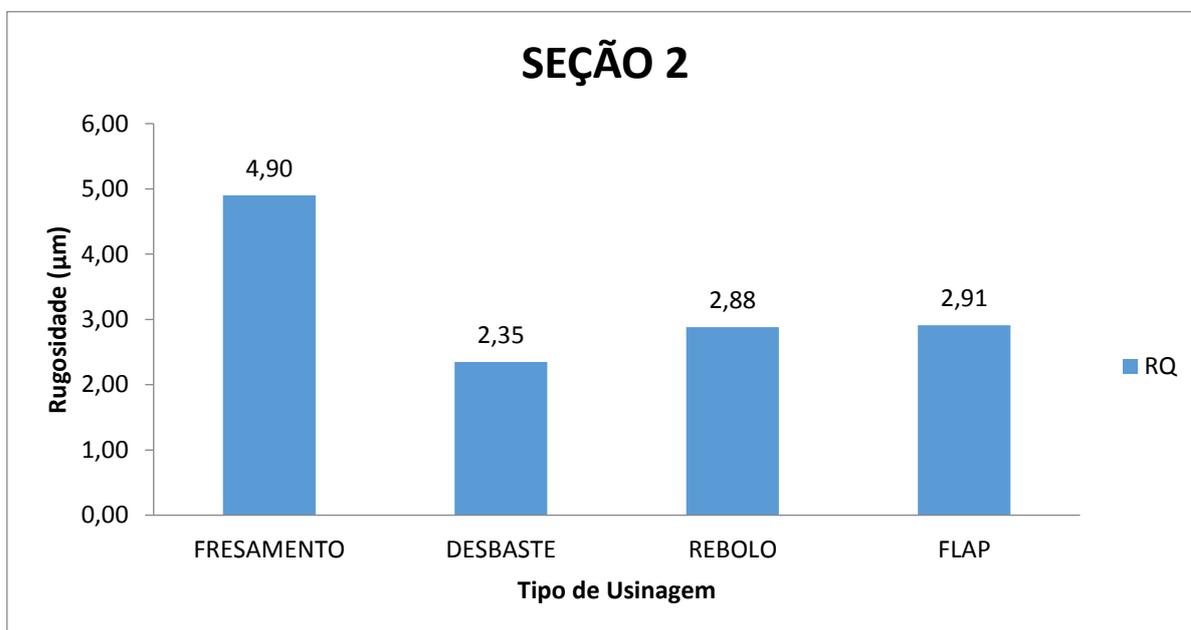


Gráfico 18: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 2- Rq.

No Gráfico 18, observa-se a redução da rugosidade em 68%.

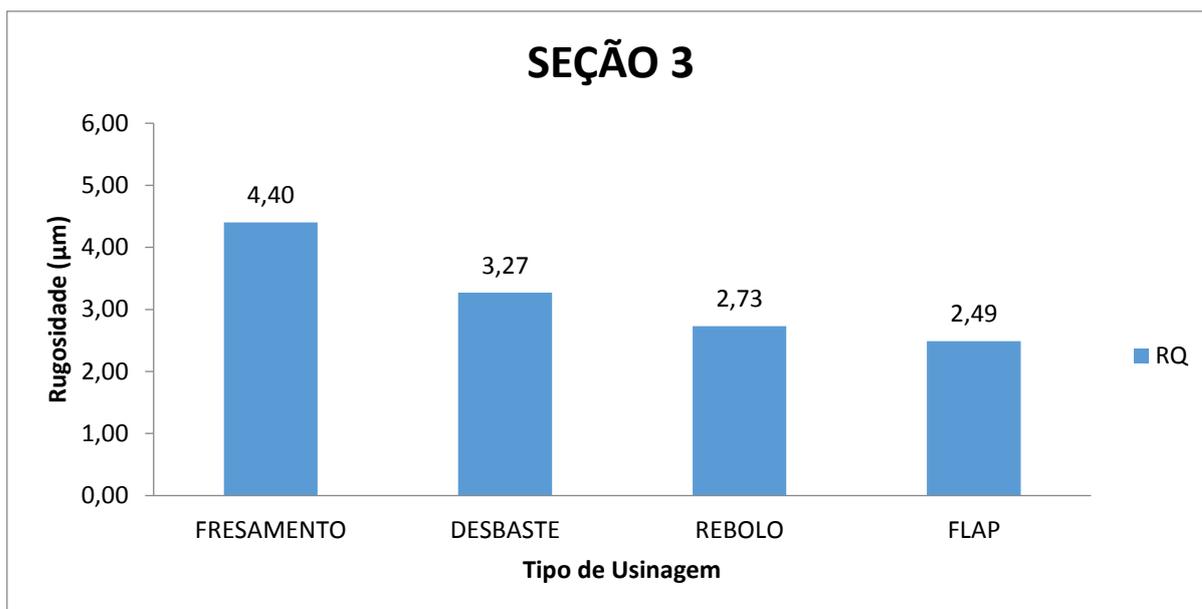


Gráfico 19: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 3- Rq.

No Gráfico 19, observa-se a redução da rugosidade em 77%.

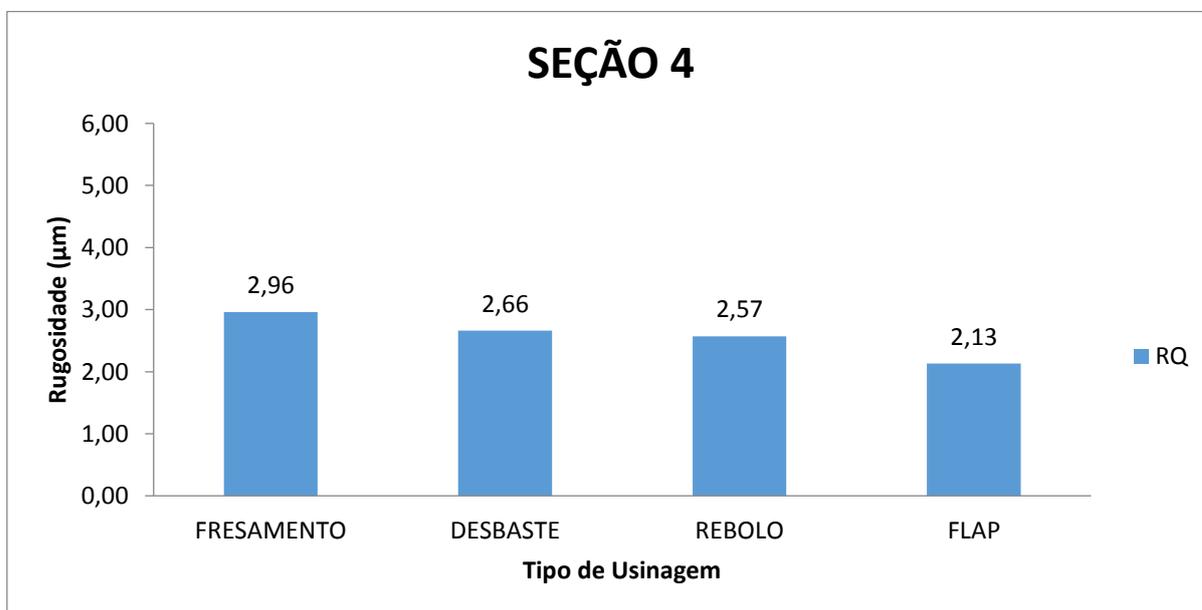


Gráfico 20: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 4- Rq.

No Gráfico 20, observa-se a redução da rugosidade em 39%.

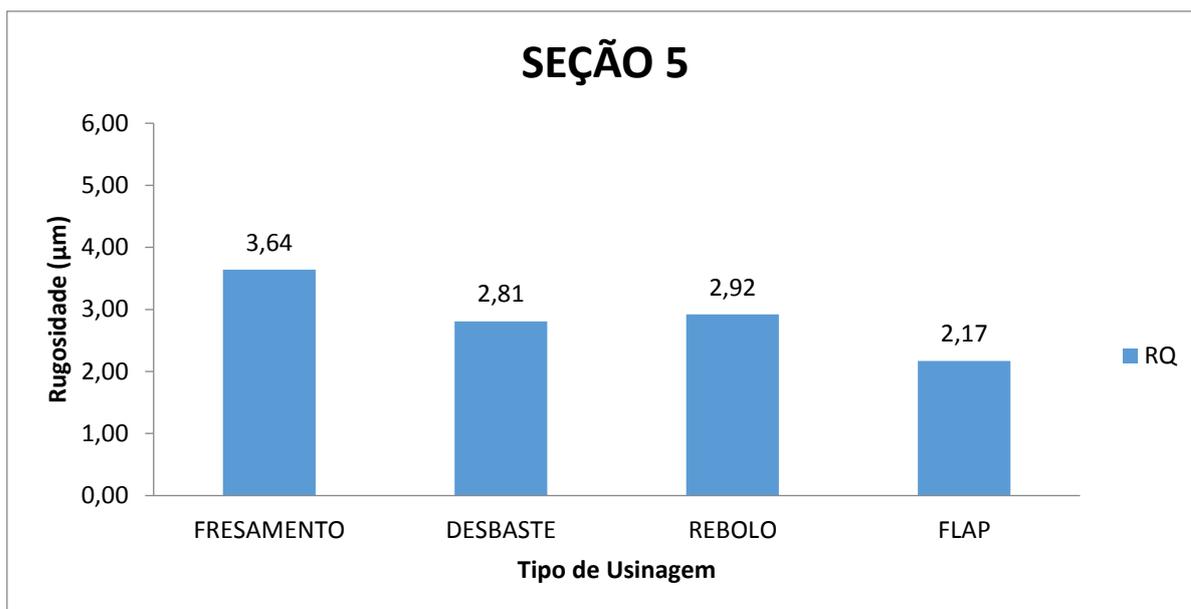


Gráfico 21: Comparativo dos esmerilhamentos na Seção 5- Rq.

No Gráfico 21, observa-se a redução da rugosidade em 68%.

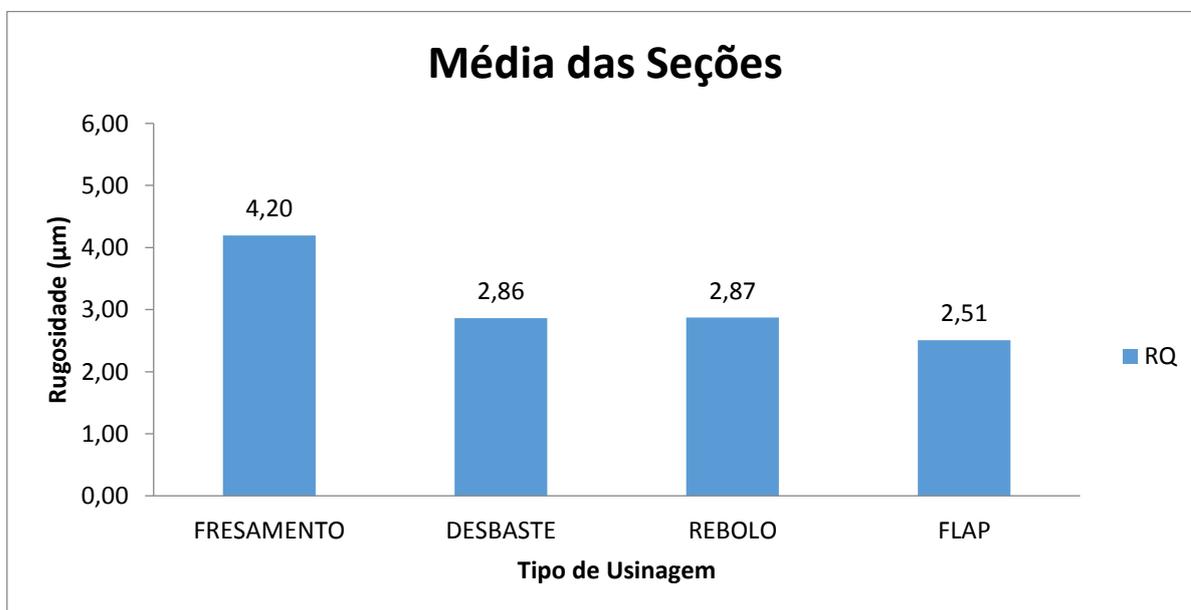


Gráfico 22: Média das Seções 1- Rq.

No Gráfico 22, na classificação comparativa de Rq, houve um ganho de redução de rugosidade de 67%.

Por fim, a Gráfico 23 apresenta os valores referentes à medição por ultrassom, realizadas em 2015 e 2016. Ressalta-se que anteriormente ao uso do dispositivo proposto, não havia este teste, apenas após a introdução do dispositivo suporte de esmerilhadeira iniciou a medição por ultrassom após o processo de esmerilhamento para mensurar os índices de reparos realizados para redução da rugosidade do material. As metas foram reduzidas ano a ano, devido à melhoria contínua obtida como indicador de qualidade.

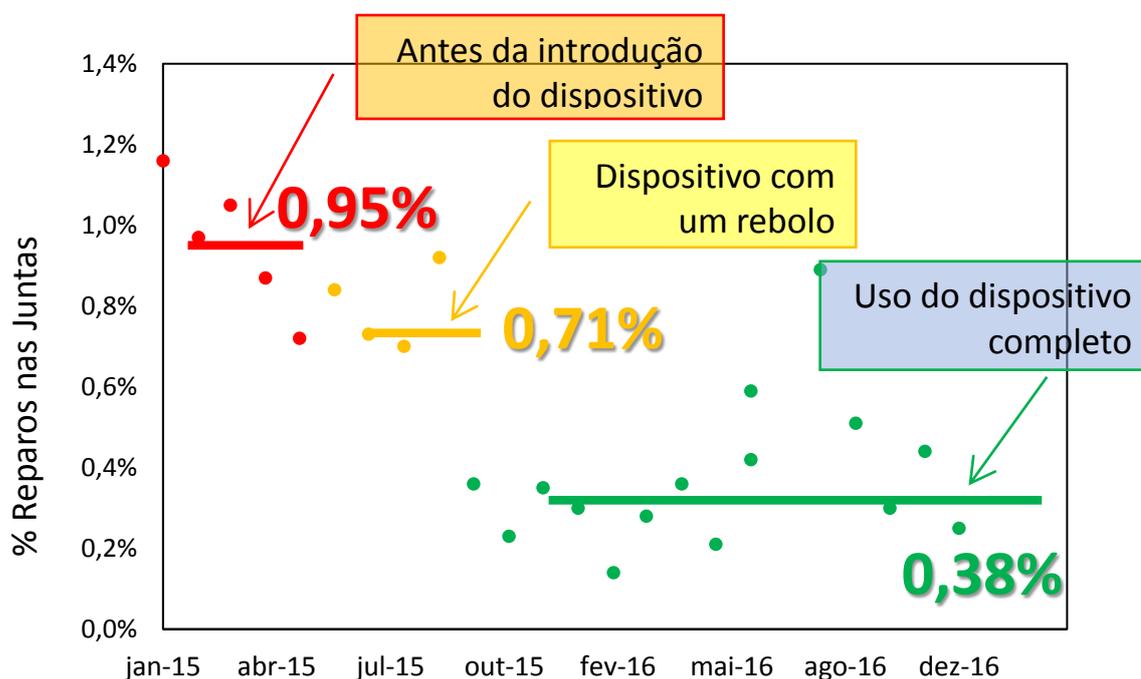


Gráfico 23: Evolução do índice médio de Reparos realizados em 2015 e 2016.

5 DISCUSSÃO

Os parâmetros de rugosidade podem variar no processo de esmerilhamento. Embora atendam as especificações, a redução da rugosidade representa ganhos de qualidade no material e reflete na durabilidade ao longo do ciclo de vida e funcionalidade da torre eólica. Anteriormente, não havia utilização do rebolo e flap no processo de esmerilhamento, portanto constitui uma inovação no processo produtivo que aumenta a qualidade, que será comprovada no teste de ultrassom exigido pelo cliente após a soldagem e faz parte do escopo de fornecimento dos anéis de construção de torre eólica.

Este processo de avaliação ocorre de forma sequencial à soldagem, porém apresenta-se a solução do processo de esmerilhamento como outro ganho de produtividade em relação à antecipação dos defeitos que podem ocorrer no anel, uma vez que anteriormente, no processo manual, não havia adoção do rebolo e flap no esmerilhamento, somente após teste de ultrassom eram verificados os defeitos e retornava a peça para correção, ai nesta fase utilizando somente o disco de desgaste. Desta forma, o processo realizado com o dispositivo suporte de esmerilhadeira obteve ganho de qualidade nos critérios tempo e produtividade, inicialmente pelo tempo para esmerilhamento das bordas, posteriormente na correção de defeitos que são reduzidos.

Foi calculada a redução do tempo para esmerilhamento, porém para a amostra selecionada não houve a realização do acompanhamento da peça até entrega ao cliente, porém constata-se com os resultados que há melhoria na qualidade já pela adoção do flap, que vai reduzir a rugosidade pelo acabamento mais fino dado ao material no processo de esmerilhamento, o que antes não ocorria.

A inovação no processo é constituída pela redução de tempo de esmerilhamento da peça, redução de tempo no processo produtivo total pela redução de etapas para melhoria e acabamento e aumento de qualidade do material que irá para soldagem pela adoção do rebolo e flap no esmerilhamento. Assim, constituem os diferenciais desta pesquisa: construção de dispositivo suporte de esmerilhadeira, adoção de rebolo e flap já no processo de esmerilhamento, redução de tempo de produção, redução do desgaste de mão de obra.

A discussão passa pelos seguintes aspectos:

5.1 Ausência de critério de comparação entre processo anterior e atual

No processo anterior não havia medição da rugosidade, pois esta era avaliada somente na fase de inspeção de ensaios não destrutivos, com a utilização do teste pelo ultrassom, por exigência do cliente. Assim, quando a peça era identificada com defeitos, iria a um novo processo de esmerilhamento de reparo, feito de forma aleatória de acordo com a inspeção, sendo constituída de diversas etapas para eliminação dos defeitos até o ultrassom atestar ausência de defeitos.

No processo atual, são reduzidas essas etapas uma vez que houve adoção de rebolo e flap já no esmerilhamento, o que reduz e pode até eliminar os defeitos que podem ocorrer.

5.2 Análise do processo específico de produção

O foco desta pesquisa foi mostrar a eficácia do dispositivo suporte de esmerilhadeira apenas na fase de esmerilhamento, na construção de anéis de torre eólica. Houve o mapeamento do processo construtivo, porém a análise permanece apenas na fase analisada, que representa uma das etapas principais para atestar a qualidade do material utilizado na construção da torre eólica.

Considera-se que há como verificar o resultado final, pois a empresa constrói a torre eólica e não apenas as peças de montagem (os anéis) e por conta disso consegue identificar as necessidades para funcionalidade e ciclo de vida do produto.

5.3 Cientificidade na análise do trabalho da mão de obra

Não houve análise aprofundada da mão de obra durante período prolongado, porém consegue-se aferir a melhoria no trabalho da mão de obra pelo critério tempo de esmerilhamento, reduzido de 60 para 28 minutos e pela comparação entre figuras do processo anterior e atual.

Nesse quesito, houve o critério de comparação, pois havia registro de como era realizado o processo de esmerilhamento antes da construção do dispositivo.

Portanto evidencia-se nos resultados o posicionamento e risco a que estavam expostos os operários e no processo atual comprova-se que há distanciamento do profissional do disco de desbaste e uma posição mais ergonômica no processo, apenas de posicionar e segurar o guidão do dispositivo.

5.4 Comparação da redução de rugosidade entre fresamento, desbaste, rebolo e flap

Com o atual processo de esmerilhamento com o dispositivo, houve redução significativa nos níveis de rugosidade entre medições de Ra (redução de 68%), Rz (redução de 67%) e Rq (redução de 66%), na amostrada analisada, o que indica que a adoção do flap no esmerilhamento é um ganho de produtividade que reduzirá e/ ou eliminará os defeitos na peça ao reduzir a rugosidade no material antes do processo de inspeção de qualidade do ensaio não destrutivo.

Com isso conseguimos apresentar a melhoria de qualidade no processo de redução da rugosidade nas bordas de anéis de torre eólica ao analisar os dados de medições em amostra de forma comparativa entre etapas do processo de esmerilhamento, o que anteriormente não incluía o flap.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa evidenciou a melhoria no chanframento das bordas de anéis para soldagem por arco submerso no processo de esmerilhamento para a fabricação de torres eólicas e apresentou as seguintes conclusões:

1. O processo de esmerilhamento recebe pouca atenção com relação a sua importância estratégica na garantia de qualidade da fabricação de torres eólicas, uma vez que nesta fase pode-se atribuir economicidade de tempo, em face da necessidade de otimizar a produção, conforme o aumento da demanda deste produto.
2. O desenvolvimento de dispositivo suporte de esmerilhadeiras, da forma como se apresentou nesta pesquisa, com foco para melhorar o processo produtivo, caracteriza-se como uma inovação importante para o resultado final na produção de torres eólicas, por apresentar solução ágil, de aumento na qualidade de redução da rugosidade superficial que norteará o processo de soldagem de borda dos anéis e garantirá a mecânica adequada a função do produto final, a torre eólica.
3. Há necessidade de mensuração da rugosidade como forma de otimizar tempo e custos na produção de torres eólicas.

Com esta dissertação, comprovou-se que há redução da rugosidade a partir do esmerilhamento através do disco de rebolo e disco de flap, ocorrendo a maior redução da rugosidade, com maior regularidade entre picos e vales do comprimento da amostragem (perfis) no uso com disco de flap.

7 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Devem ser realizados estudos mais aprofundados sobre o processo de esmerilhamento e a automatização deve ser analisada em processos produtivos como forma de aumento de qualidade no produto final ou em semiacabados:

- 1- Há necessidade de pesquisas aprofundadas sobre a implementação da automação no processo de esmerilhamento para otimizar a redução controlada da rugosidade, com maior controle de remoção de picos e vales, tornando-a mais regular.
- 2- Também há necessidade de estudos específicos sobre a ergonomia da mão-de obra durante os processos intermediários de fabricação de torres eólicas.

REFERÊNCIAS

AAVI. **Linhas eólicas**. Disponível em: http://www.davi.com/br/pt/Linhas_Eolicas. Acesso em: 30/08/2017.

ABERGO. A certificação do ergonomista brasileiro. Editorial do Boletim 1/2000, **Associação Brasileira de Ergonomia**, 2000.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6166**: Ferramentas Abrasivas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 8404**. Indicação Do Estado De Superfícies Em Desenhos Técnicos. 1984. Rio de Janeiro, 2002.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. ABDI.

Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil. 2014. Disponível em:
<http://www.abdi.com.br/Estudo_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%20%C3%BAstria%20E%20%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf> . Acesso em: 02/03/2017.

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S; LIRANI, J. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.

ALMEIDA, P. M. L. P. **Produção de uma torre eólica com transformador interno e desenvolvimento do respectivo sistema de ventilação, na Martifer Energy Systems**. 2008. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, Portugal. Disponível em:
<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60297/2/Texto%20integral.pdf>
Acesso em 12/11/2016.

ALVES, Jose Jakson Amancio. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. Taubaté, v. 6, n. 1, p. 165-188, jan-abr 2010.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia eólica**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso em 12/07/2017.

ANSI. *American National Standards Institute*. **ANSI-Standard B 74.2**. *Specifications for Shapes and Sizes of Grinding Wheels and Identification of Mounted Wheels*, 1992.

BITTENCOURT, Mateus Cunha. **Avaliação de Ligações Soldadas de Perfis Tubulares em Estruturas de Aço Através do Método dos Elementos Finitos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

BORGES, M.M. **Fundição**. Disponível em: http://mmborges.com/processos/Conformacao/cont_html/fundicao.htm. Acesso em: 09/05/2017.

BRASIL. NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-6 - Equipamento de Proteção Individual**. 2001. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>. Acesso em: 03/07/2017.

BRASIL. NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-15 - Atividades e Operações Insalubres**. 2015. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>,. Acesso em: 03/07/2017.

BRASIL, NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-17 - Ergonomia**. 2015. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-17-ergonomia>. Acesso em: 03/07/2017.

BRITO, J. D.; PARANHOS, R. **Como determinar os custos da soldagem**. Campos dos Goytacazes: Ronaldo Paranho, 2005.

CBEE. **Centro Brasileiro de Energia Eólica**. Disponível em: <http://www.eolica.com.br/>. Acesso em: 13 out. 2017.

CENTRO DE ENERGIA EÓLICA PUC RS. **Energia eólica**. Disponível em: <http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php?q=10>. Acesso em: 09/05/2017.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Dicionário. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/>. Acesso em: 09/05/2017.

COSTA, Jeffer Araripe da; AGUIAR, Rafael Sant'ana; DIAS, Pedro Henrique Fonteles; ANDRADE, Carla Freitas de. Sistema mecânico de baixo custo para içamento e descida de uma torre articulada para geração eólica de pequeno porte. **Encontros Universitários da UFC**, Araripe da Costa, v.1, n.1, 2016.

CUNHA, L. S.; CRAVENCO, M. P. **Manual prático de mecânica**. 9.ed. Curitiba: Hemus, 2006.

*DIN. Deutsches Institut fur Normung. **Determination Of Surface Roughness Parameters Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2 Serving To Describe The Material Component Of Roughness Profile**. German, 1998.*

_____. ***DIN 69100. Bonded abrasive products; designation, types, dimensional letters, materials**. German, 1988.*

_____. **DIN Taschenbuch: Bd. 108: Werkzeuge 6: Schleifwerkzeuge.**
German: Beuth Verlag, 1986. 425 p.

_____. **DIN 69800: Abrasive products with diamond or cubic boron nitride;**
code of forms, designation. German, 1980.

DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia prática.** 3.ed. São Paulo: Edgard
Blucher, 1995.

DUTRA, Marcos. **Juntas e símbolos.** Disponível em:
<https://pt.slideshare.net/marcosc Dutra/juntas-e-simbolos>. Acesso em: 30/08/2017.

FADIGAS, E.A.F.A. **Energia Eólica.** Barueri: Manole, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2009.

GONÇALVES, Daniel Casassola; MARTINS, Mateus Campos; FONSECA, Maria P.
Cindra. Estudo Experimental e Numérico de Tensões Residuais em Juntas Soldadas
com e sem Restrição. **Soldagem e Inspeção.** São Paulo, v.22, n.2, abril/ junho
2017.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Atlas eólico do estado de são paulo.**
Governo de São Paulo. Secretaria de Energia. São Paulo, 2012.

GUEDES, P. **Metrologia industrial.** Lisboa: ETEP, 2011.

IIDA. I. **Ergonomia projeto e produção.** 8.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

HAMMES, Jonas Muller; ROSA, Ariane Ferreira Porto; WALKER, Eduardo.
Otimização do acabamento superficial no torneamento cilíndrico externo de um aço
SAE 1045. **Revista GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas.**
Bauru, v.12, n.2, p.138-156, 2017.

ISO. *International Organization for Standardization. ISO 6104: Superabrasive products*. 2005.

_____. **NBR8404**: Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos. 2002.

_____. **ISO/ R525**: *Bonded abrasive products -- General requirements*. 1999.

_____. **ISO/R 603**: *Bonded abrasive products -- Grinding-wheel dimensions (Part I)*. 1999

_____. **ISO 1117**: *Bonded abrasive products -- Grinding-wheel dimensions (Part 2)*. 1975.

_____. **ISO 2631-1**: *mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 1: general requirements*. Geneva, 2010. Amendment 1.

_____. **ISO 5349**: *Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration*. 2.ed. Genebra, 1979.

_____. **ISO 6405-1**:2017 Preview
Earth-moving machinery -- Symbols for operator controls and other displays -- Part 1: Common symbols. 2017.

LAVILLE, A. **Ergonomia**. São Paulo: EPU, 1977.

LOBJOIS, C.H. **Desenvolvimento de chapas**. Curitiba: Hemus, 2002.

LUDWIG, A. C. W. **Fundamentos e prática de Metodologia Científica**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2001.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

MITUTOYO. **Rugosidade superficial**: uma abordagem prática. Curso. s/d.

NOGUEIRA, Augusto Camillo. **Descrição turbinas de vento canalizado e análise da viabilidade técnica na geração de energia eólica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico.

NOVASKI, O. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

OLIVEIRA NETO, Calisto Rocha de; LIMA, Elaine Carvalho de. Novas perspectivas de desenvolvimento: uma análise da energia eólica no Brasil. **Revista Grifos**, v.25, n.41, p.304-324, 2017.

PARANHOS, R.; SOUZA, A. C. **Soldagem a arco submerso**. Coleção soldagem 2000. Rio de Janeiro: FIRJAN. SENAI, 1999.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

PIOVESAN, Alvaro Santos. **Metodologia para aplicação da análise de escória de solda ao estudo do processo de soldagem MAG**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi.

PIRATELLI FILHO, Antonio. Rugosidade superficial. 3 Seminário de Metrologia. **Anais...** Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

POLIDO, Rafael Saito Polido; CARVALHO JUNIOR, Donizeth Aparecido De; VIOTO JUNIOR, Leonildo; ARAUJO, Márcia Regina Vieira de; GALLEGRO, Juno.

Caracterização da zona termicamente afetada em aço estrutural submetido à soldagem por arco submerso. XII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica. **Anais...** Ilha Solteira, 22 a 26 de agosto de 2005.

PONTE, André Filipe Pereira; CERQUEIRA, José Carlos P.; FONSECA, Mário André S. Sistemas Eólicos de Energia Mais Leves que o Ar. **Neutro à Terra**, n. 15, jun 2015.

PORTAL BRASIL. **Brasil é o maior gerador de energia eólica da América Latina**. 20/03/2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/03/brasil-e-o-maior-gerador-de-energia-eolica-da-america-latina>. Acesso em: 20/07/2017.

ROSA, Anderson Manoel da. **Influência de diferentes tipos de lubrificantes e da pressão de contato no atrito e desgaste de ferramentas para conformação de chapas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi.

SANTIAGO, B. C. L.; SOUZA, C. A.; RENAN, I.; ABREU, C. R. M. E.. **Pantógrafos e Geradores de retas**. Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Maio de 2011.

SARTORI, Diego. **Análise das distorções resultantes do processo de soldagem MAG em chapas finas de HARDOX 450**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA JUNIOR, Luis Adeildo da; YADAVA, Yogendra Prasad; FERREIRA, Ricardo Artur Sanguinetti. Simulação das transformações de fase em pontos da ZTA de juntas soldadas do aço API 5L X70. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. **Anais...** Campina Grande – Paraíba, 18 a 21 de agosto de 2010.

SILVA, Cristina Mendes da; CUNHA, Tiago Vieira da; MIKOWSKI, Alexandre. Análise mecânica e microestrutural de soldas produzidas pelo processo de arco submerso com pulsação ultrassônica da corrente. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.22, n.4, out. 2017.

SILVA NETO, J. C. **Metrologia e controle dimensional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SOBRINHO, J. F.; ALCÂNTARA, N. G. Análise dos Ciclos Térmicos Obtidos na Zona Afetada Termicamente da Junta Soldada de um Aço de alta Resistência. II CONNPI. **Anais...** João Pessoa-PB, 2007.

VIDAL, M.C. et al. Os limites da análise ergonômica do trabalho centrada na identificação de riscos biomecânicos. **Anais do Congresso da Associação Brasileira de Ergonomia**, ABERGO, 2002.

VILLANUEVA, A. O. **Traçado prático de desenvolvimentos em calderaria**. São Paulo: Hemus, 2014.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blüncher, 1992.

WENDT. Abrasivos. Catálogo 2013/ 2014. Wendt, 2014.

YESHUN. **Perfil da Yeshun**. Disponível em: <http://yeshun-video.com/photos>. Acesso em: 30/08/2017.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GLOSSÁRIO

Aerogerador: também denominado turbina eólica ou Sistema de Geração Eólica, constitui-se de um equipamento que converte a energia cinética do vento em energia elétrica, constituindo-se em uma fonte de energia inesgotável (CENTRO DE ENERGIA EÓLICA PUC RS, 2017).

Bisel: borda cortada obliquamente, de modo que não termine em aresta viva (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Chanframento: processo de chanfrar, cortar em ângulo ou de esquelha, fazer quinas ou arestas (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Concreto protendido: sistema auto equilibrado de esforços caracterizado pela tração no aço e compressão no concreto (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Cutt-off: em engenharia significa valor de corte ou comprimento de amostragem, corte de materiais por disco abrasivo (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Ductilidade: capacidade de materiais de deformação sem rompimento. Pode ser medida por meio da estricção (redução na área da seção transversal de um corpo de prova), ou por meio do alongamento. Quanto mais dútil o material, maior será a redução da área da seção transversal e maior será o alongamento antes da ruptura. Logo, a ductilidade é uma medida da extensão da deformação que ocorre até a fratura.

Emplastamento: capacidade de material de grudar, colar ou pregar-se a uma superfície (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Esmerilhamento: Lustrar e retirar o brilho para tornar fosco; polir com esmeril (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Macrogeométricos: Erros macrogeométricos são os erros de forma, verificáveis por meio de instrumentos convencionais de medição, como micrômetros, relógios comparadores, projetores de perfil etc. Entre esses erros, incluem-se divergências de ondulações, ovalização, retilidade, planicidade, circularidade etc (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Massalote: tipo de reserva de metal que preenche os espaços que vão se formando à medida que a peça vai solidificando e se contraindo (BORGES, 2017).

Microgeométricos: são os erros caracterizados pelas pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície, também conhecidos como rugosidade (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Nacele: é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico (CENTRO DE ENERGIA EÓLICA PUC RS, 2017).

Pantógrafo: equipamento usado para reproduzir uma figura em seu tamanho natural ou em escala diferente do original. O significado da palavra é vinculado a essa propriedade de reprodução da mesma figura em tamanhos diferentes (SANTIAGO et al., 2011).

Placas de sacrifício: Também conhecidos como metais de sacrifício, são metais usados para proteger outros da oxidação, pois sendo mais reativo, com maior potencial de oxidação, será atacado primeiro (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Rebarbação: A rebarbação é a retirada dos canais de alimentação, massalotes e rebarbas que se formam durante a fundição. Ela é realizada quando a peça atinge temperaturas próximas às do ambiente (BORGES, 2017).

Resinoide: que apresenta aspecto de resina (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL

MECÂNICA, 2017).

Rugosidade: É o conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície. Essas irregularidades podem ser avaliadas com aparelhos eletrônicos, a exemplo do rugosímetro. A rugosidade desempenha um papel importante no comportamento dos componentes mecânicos (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

Tramos: Termo que define o trecho situado entre dois apoios contíguos, de uma estrutura (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

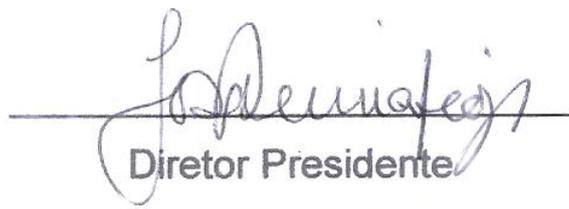
Virola: Reforço periférico de uma chapa metálica, obtido pela dobragem e aperto dos bordos desta (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2017).

APÊNDICE

Apêndice A – Declaração Consentimento Empresa

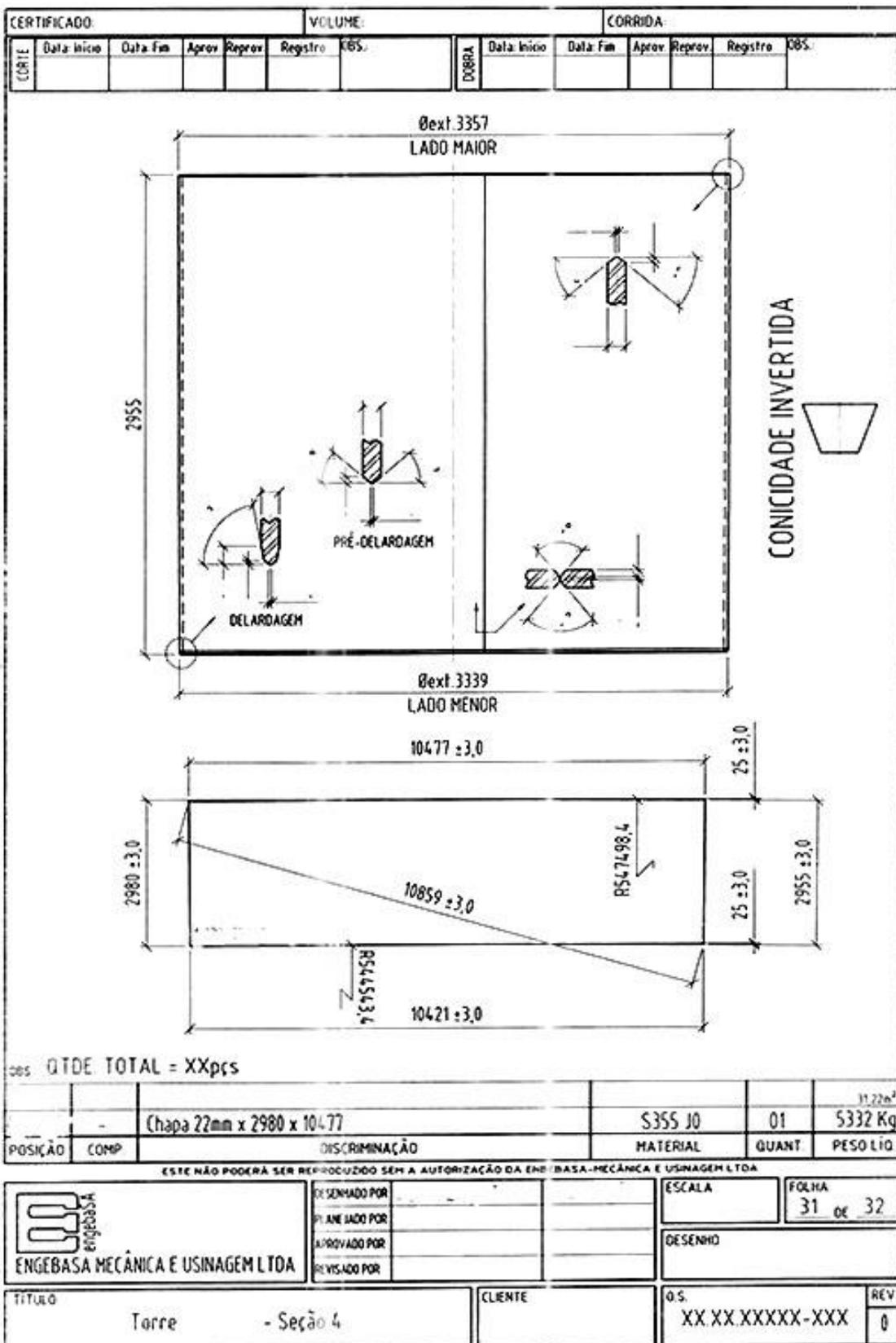
A Empresa ENGEBASA S/A, representada neste documento pelo Sr. Eng. José Quina Diogo, cargo de Diretor Presidente, autoriza a divulgação de informações e dados coletados em sua organização, na elaboração da Dissertação de Mestrado, intitulado: MELHORIA NO CHANFRAMENTO DAS BORDAS DE ANÉIS PARA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO DURANTE A FABRICAÇÃO DE TORRES EÓLICAS: UM ESTUDO DE CASO, realizado pelo aluno Roberto Santos, do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Santa Cecília.

Santos, 10 de Março de 2017.

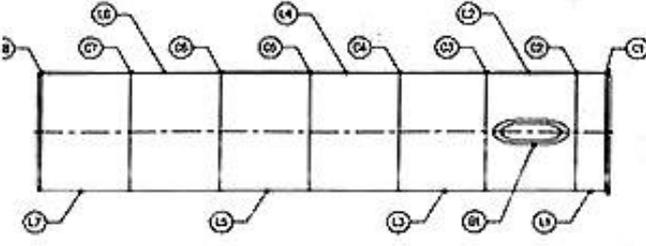
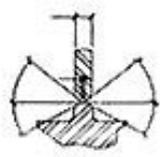
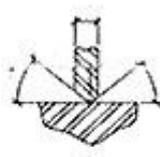

Diretor Presidente
ENGEBASA S/A
ENGEBASA - Mecânica e Usinagem S.A.

ANEXOS

Anexo A: Placa de Aço



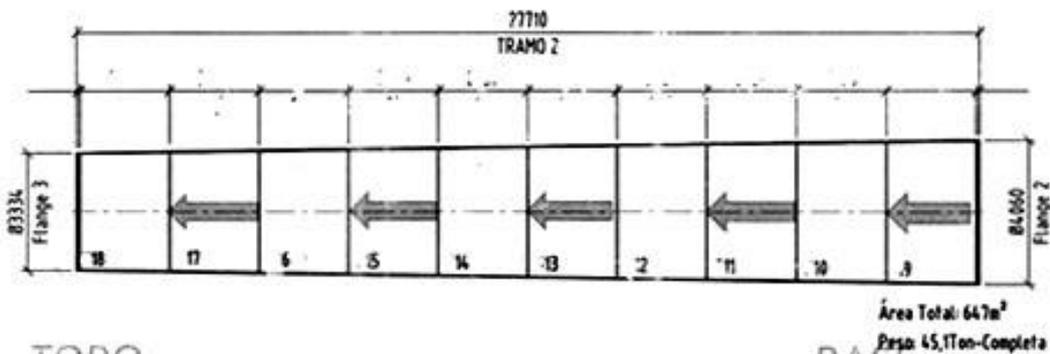
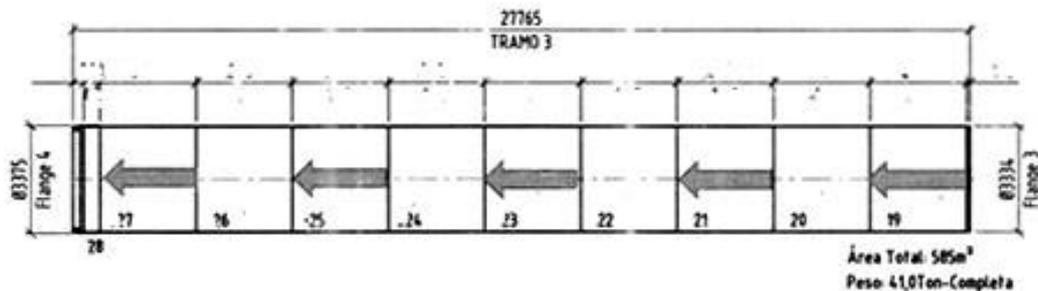
Anexo B: Plano de Juntas de Soldagem (Chanfros)

PLANO DE JUNTAS JOINT PLAN	REVISÃO: Revisão	EQUIPAMENTO: Equipment	PROCEDIMENTO: PROCEDURE	CLIENTE: CUSTOMER	DATA: Date	FOLHA: SHEET	
	0	Torne	SEÇÃO 1	ASME IX		01 DE (OF) 4	
CROQUI DE IDENTIFICAÇÃO DAS JUNTAS SOLDADAS SKETCH OF WELDING JOINTS LOCATION							
 <p style="text-align: center;">Torne - SEÇÃO 1</p>			 Junta C1	 Junta C2	 Junta C3		
 Junta C4	 Junta C5	 Junta C6	 Junta C7	 Junta C8	 Junta B1	 Junta L1, L2 e L3	 Junta L4, L5, L6 e L7
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA E OBSERVAÇÕES REFERENCE DOCUMENTS AND REMARKS							
NÚMERO NUMBER	REVISÃO REVISION	TÍTULO TITLE	OBSERVAÇÃO REMARKS	Engenheiro:	Qualidade:		
	0	SOLDADO COMPLETO					

Anexo C: Anéis e as Secções da Torre

- Torre

Rev.1



TOPO

BASE

