



Universidade Federal de Minas Gerais
Especialização em Engenharia de Soldagem

MODIFICAÇÃO NA ESTRUTURA DO DOSADOR DA PREPARAÇÃO DE BLOCOS DA LAMINAÇÃO

Helton Márvido Pimenta Nunes

Belo Horizonte, 13 de Dezembro de 2016

Helton Márvido Pimenta Nunes

**MODIFICAÇÃO NA ESTRUTURA DO DOSADOR DA
PREPARAÇÃO DE BLOCOS DA LAMINAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de pós-
graduação da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial para
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Soldagem.

Orientador: Ariel Rodriguez Arias

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2016



Universidade Federal de Minas Gerais Especialização em Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – 31270-901 – Belton Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3499-5145 – Fax: + 55 31 3443-3783

www.demec.ufmg.br – Email: cpgmec@demec.ufmg.br

MODIFICAÇÃO NA ESTRUTURA DO DOSADOR DA PREPARAÇÃO DE BLOCOS DA LAMINAÇÃO

HELTON MÁRVILO PIMENTA NUNES

Monografia defendida e aprovada em 13 de
Dezembro de 2016, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de "Especialista
em Engenharia de Soldagem"

Prof. Me. Ariel Rodriguez Arias (Orientador) – UFMG

Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense (Examinador) – UFMG

Eng. Leonardo Amaral Campos (Examinador) - UIT

AGRADECIMENTOS

A Deus...

A minha família, a qual amo muito, que me apoiou, ajudou e soube entender a minha ausência;

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração por acreditarem em mim e me mostrarem o caminho da ciência;

Aos colegas de curso pelo ótimo convívio e aprendizado.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho conseguisse atingir os objetivos propostos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Situação da mesa BG 200	13
2.2. Novo projeto	15
2.3. Métodos adotados no projeto de estruturas	17
2.3.1. Método das tensões admissíveis	17
2.3.2. Método dos estados limites	17
2.4. Fadiga	18
2.5. Tensões em juntas de filete soldadas	21
2.6. Ciclo de trabalho	24
2.7. Terminologia e simbologia de soldagem	25
2.8. Soldagem com eletrodo revestido	29
2.8.1. Eletrodo	30
2.8.2. Revestimento	32
2.8.3. Escória	34
2.9. Normas	35
3. DESENVOLVIMENTO	38
3.1. Revisão das soldas executadas no fabricante	38
3.1.1. Cálculo das soldas dos braços	38
3.1.2. Cálculo das soldas dos braços de acionamento	40
3.1.3. Cálculo das dimensões das soldas de fixação da base	42
3.1.4. Cálculo da solda da base do cilindro hidráulico	46
3.2. Confecção da EPS	48
3.3. Fabricação	51
4. RESULTADOS	57
4.1. Dimensionamento	57
4.2. EPS's	57
4.3. Soldas	61
5. CONCLUSÃO	65
6. BIBLIOGRAFIA	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Custo das falhas do dosador de blocos	11
Tabela 3.1: Dados das soldas a serem realizadas	48
Tabela 4.1: Dimensões das soldas realizadas	57
Tabela 4.2: Tipos de descontinuidades encontradas nas soldas	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Mesa de abastecimento BG 200 e dosador de blocos	13
Figura 2.2: Dosador de blocos (vista D-D)	14
Figura 2.3: Soldas de fixação das bases dos mancais do dosador de blocos	14
Figura 2.4: Nova configuração do dosador	15
Figura 2.5: Nova configuração das bases dos mancais	15
Figura 2.6: Soldas de fixação dos braços removedores	16
Figura 2.7: Soldas de fixação dos braços de acionamento	16
Figura 2.8: Soldas da base e base do cilindro hidráulico de acionamento	16
Figura 2.9: Curva de densidade de probabilidades	18
Figura 2.10: Curva S-N	19
Figura 2.11: Faixa de Tensão Permissível para Carga Aplicada Ciclicamente em Conexões Não-tubulares	21
Figura 2.12: Área da garganta	22
Figura 2.13: Decomposição das forças na solda de filete	22
Figura 2.14: Propriedades geométricas de juntas soldadas	24
Figura 2.15: Terminologia geral	25
Figura 2.16: Tipos de junta e tipos de chanfros mais utilizados na soldagem	26
Figura 2.17: Características dimensionais de chanfros usados em soldagem	26
Figura 2.18: Elementos de uma junta soldada	27
Figura 2.19: Seção transversal esquemática de uma solda de topo por fusão	28
Figura 2.20: Posições de soldagem para soldas de filete e soldas em tubulações.....	28
Figura 2.21: Elemento básico	28
Figura 2.22: Símbolos básicos de soldas	29
Figura 2.23: Símbolos suplementares	29
Figura 2.24: Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido ...	29
Figura 2.25: Desenho esquemático do eletrodo revestido durante uma solda	31
Figura 2.26: Classificação de eletrodos revestidos para soldagem de aços baixa liga	31
Figura 2.27: Diferentes tipos de eletrodo revestido	32
Figura 2.28: Diferença entre os eletrodos com revestimento rutílico e revestimento básico	34

Figura 2.29: Cordão de solda com escória destacada	35
Figura 3.1: Novo desenho do braço dosador	38
Figura 3.2: Braço do acionamento hidráulico	40
Figura 3.3: Braço do acionamento hidráulico revisado	41
Figura 3.4: Dosador de blocos (vista lateral)	42
Figura 3.5: Simplificação da base do dosador com esforço atuante	43
Figura 3.6: Vista lateral do dosador exibindo os inseridos metálicos existentes no piso	43
Figura 3.7: Região de realização das soldas	44
Figura 3.8: Posicionamento do cilindro de acionamento	46
Figura 3.9: Base do cilindro hidráulico de acionamento do dosador de blocos	46
Figura 3.10: Recorte realizado nas bases para viabilizar encaixe	52
Figura 3.11: Foto do equipamento durante a atividade	52
Figura 3.12: Sequência de soldagem das bases	53
Figura 3.13: Sequência de soldagem dos braços de acionamento	55
Figura 3.14: Sequência de soldagem das bases dos cilindros de acionamento ..	56
Figura 4.1: Regiões inspecionadas por líquido penetrante	61
Figura 4.2: Foto de uma das soldas da base acabada	62
Figura 4.3: Descontinuidade R1 – d1	62
Figura 4.4: Descontinuidade R2 – d2	62
Figura 4.5: Descontinuidade R2 – d3	63
Figura 4.6: Descontinuidade R2 – d4	63
Figura 4.7: Descontinuidade R3 – d5	63
Figura 4.8: Descontinuidade R4 – d6	63
Figura 4.9: Descontinuidade R4 – d7	63
Figura 4.10: Descontinuidade R4 – d8	63
Figura 4.11: Descontinuidade R5 – d11	63
Figura 4.12: Região T2 com agrupamento de poros	63

RESUMO

A realização de serviços de soldagem é muito comum em empresas de grande porte onde a manutenção dos ativos é realizada internamente. A falha de um equipamento e ou de uma estrutura metálica, pode resultar em perdas de materiais, vida e outras. Neste trabalho foi realizada a alteração da estrutura do dosador da mesa de carregamento BG-200 da preparação de blocos da laminação de tubos, utilizando como referência a norma AWS D1.1/2010. Este trabalho foi realizado durante a parada de manutenção da laminação de tubos em agosto de 2016 onde foi de responsabilidade do aluno a execução de toda a preparação, execução e testes do equipamento. De posse de todas as informações de projeto, foi elaborada a EPS constando todas as variáveis essenciais requeridas pela norma e boas práticas para que a solda realizada atenda os padrões de qualidade exigidos pelas normas e garanta que as soldas apresentem boa qualidade.

Palavras chaves: EPS, Soldagem, Norma, AWS, Equipamento.

ABSTRACT

Performing welding services is a very common activity in large companies where maintenance of assets is carried out internally. The failure of a device and or a metallic structure, may result in loss of materials, lives and others. The work was carried out to change the doser's structure of the BG-200 loading table of the bilet preparation, using as reference the standard AWS D1.1 / 2010. It was done during the pipe rolling mill maintenance shutdown in August 2016 when the student responsibility was to perform all the preparation, execution and testing equipment. With all project information, an EPS was made showing all the essential variables and best practices required by the standard to the welding performed meets the quality standards demanded by the rules and ensure that the welds show good quality.

Key Words: EPS, Welding, Standard, AWS

1. INTRODUÇÃO

A empresa onde este trabalho foi realizado é uma *joint venture* formada por um grupo francês e por um grupo japonês, parceiros há mais de trinta anos na área de conexões premium para o setor de óleo e gás. O complexo siderúrgico em questão está instalado em Minas Gerais, e possui uma área industrial de 2,5 milhões de m². Utilizando o que há de mais avançado em tecnologia, o complexo possui uma Laminação capaz de produzir 600 mil toneladas de tubos de aço sem costura ao ano. Os tubos produzidos pela empresa possuem alto valor agregado, atendendo à demanda do setor petrolífero mundial.

No fluxo de produção dos tubos, os blocos provenientes do lingotamento contínuo são armazenados no pátio de matérias primas da laminação, e para que eles entrem em processamento, os mesmos devem ser primeiro cortados nos comprimentos corretos e depois inseridos no forno de aquecimento. Para isso, uma ponte rolante faz o transporte dos blocos com comprimento médio de 12 metros e peso de 12,7 toneladas do pátio para uma mesa de abastecimento, que possui um dosador de blocos que libera os blocos um a um para o sistema de transporte que leva as serras, e depois ao forno de aquecimento.

A mesa de abastecimento BG 200 é a entrada da linha de laminação de tubos, portanto as falhas que ocorrem neste equipamento interrompem a alimentação de blocos da linha de laminação, acarretando custos e parada de produção da linha. A Tabela 1.1 mostra os custos provenientes de paradas por falha na mesa de abastecimento BG 200 considerando capacidade nominal de produção.

Tabela 1.1: Custo das falhas do dosador de blocos.

Paradas da mesa de abastecimento BG 200				
Ano	2013	2014	2015	2016
Tempo de parada (h)	66,56	69,33	119,68	73,66
Custo R\$ 168.750,00/h	R\$ 11.323.000,00	R\$ 11.699.438,00	R\$ 20.196.000,00	R\$ 12.430.125,00

Para se evitar paradas por falha no dosador de blocos, existem planos de inspeção e manutenção preventiva que se realizados de maneira correta e otimizada, reduzem fortemente as paradas de produção indesejadas por falhas

mecânicas e elétricas. Mas às vezes, apenas a execução desses planos não é suficiente para se evitar as falhas do equipamento. Foi observado que mesmo com a execução dos planos o eixo do dosador falhava por fadiga na solda da luva de união do eixo, nas soldas da chapa base da coluna de sustentação dos mancais e nas soldas de união da base dos mancais com a estrutura fixa da mesa BG 200, o que será mostrado mais adiante.

A equipe de manutenção da laminação, tendo em vista este problema, solicitou à equipe de engenharia de projetos que projetasse um dosador de blocos de forma que as falhas pudessem ser evitadas. Até que a modificação fosse implantada, foi alterado o plano de preventiva do dosador de blocos, incluindo a troca do eixo com periodicidade de 3 meses e reparos mensais nas soldas da base, o que aumentava muito o custo de manutenção desse equipamento.

A partir do projeto realizado pela engenharia de projetos, foi então realizada a preparação para a execução da atividade, que consistiu em elaborar cronogramas, mapas de mão de obra, roteiros de trabalho, especificações, lista de ferramentas e materiais, serviços preliminares de preparação e retirada de interferência.

Este trabalho tem como objetivo revisar o projeto das soldas do dosador de blocos e calcular as soldas de fixação das bases dos mancais e base de fixação dos cilindros de acionamento, bem como fornecer a EPS para fabricação das mesmas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Situação da mesa BG 200

Observando-se a Figura 2.1, pode-se entender o funcionamento da mesa de abastecimento e do dosador de blocos. Uma ponte rolante abastece os blocos na mesa de abastecimento que através do mecanismo de viga caminhante, onde o cilindro hidráulico de 180 mm de diâmetro eleva e o cilindro hidráulico de 125 mm de diâmetro e 450 mm de curso desloca a mesa móvel, abastece o dosador de blocos. O dosador parte da posição de espera com o cilindro hidráulico de diâmetro de 125 mm e curso de 550 mm avançado, e com o recuo do cilindro, deposita o bloco no prisma de saída. Após essa operação o dosador aguarda o carro de transporte retirar o bloco do prisma para retornar à posição de espera, reiniciando o ciclo, que dura 38 segundos, ou seja, 95 ciclos por hora.

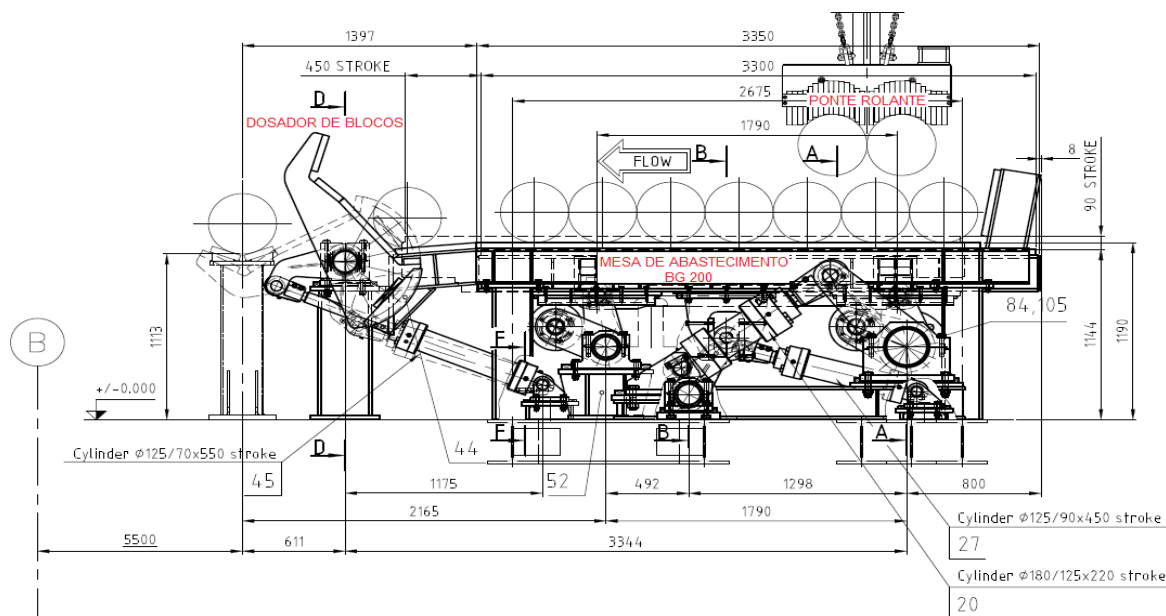


Figura 2.1: Mesa de abastecimento BG 200 e dosador de blocos.

Foi observado que o eixo do dosador, que possui 6 (seis) braços de dosagem e é instalado em 6 (seis) mancais fixos em bases individuais soldadas em inseridos metálicos no piso, falhava por fadiga na solda da luva de união do eixo, conforme mostrado na Figura 2.2, nas soldas da chapa base da coluna de sustentação dos mancais e nas soldas de união da base dos mancais com a estrutura fixa da mesa BG 200.

A localização das falhas pode ser vista nas Figuras 2.2, e a Figura 2.3 mostra as falhas em cada base individualmente. Observe que a Figura 2.2 é a vista D-D indicada na Figura 2.1.

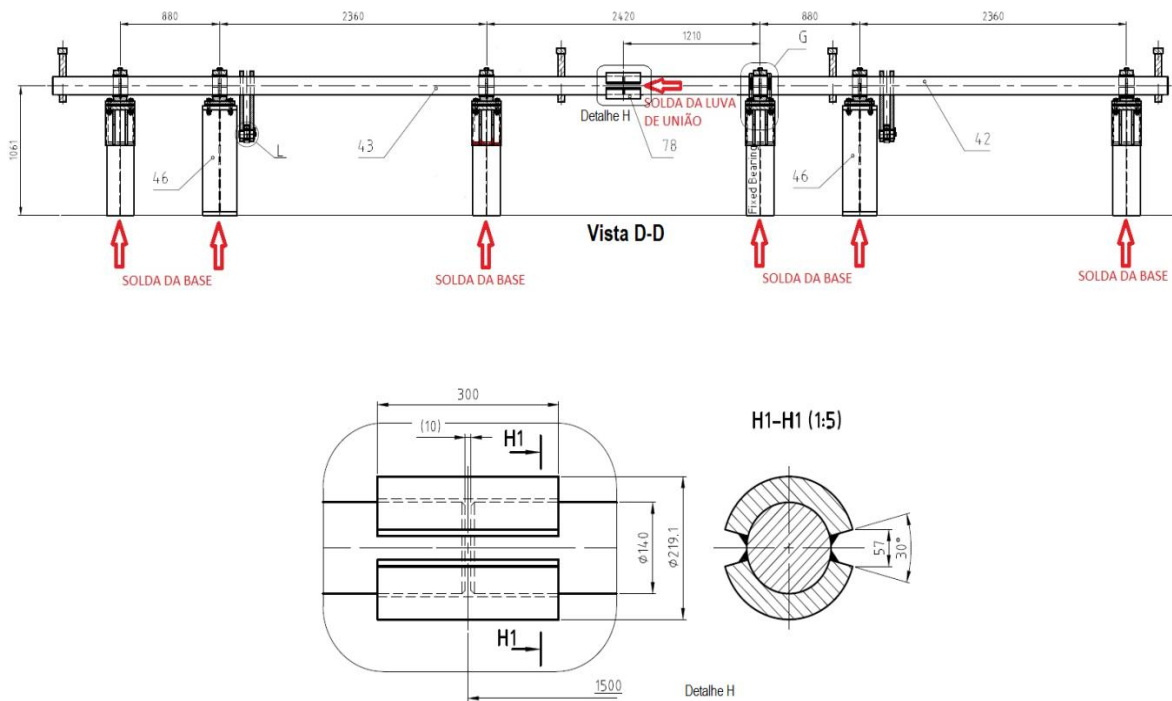


Figura 2.2: Dosador de blocos (vista D-D).

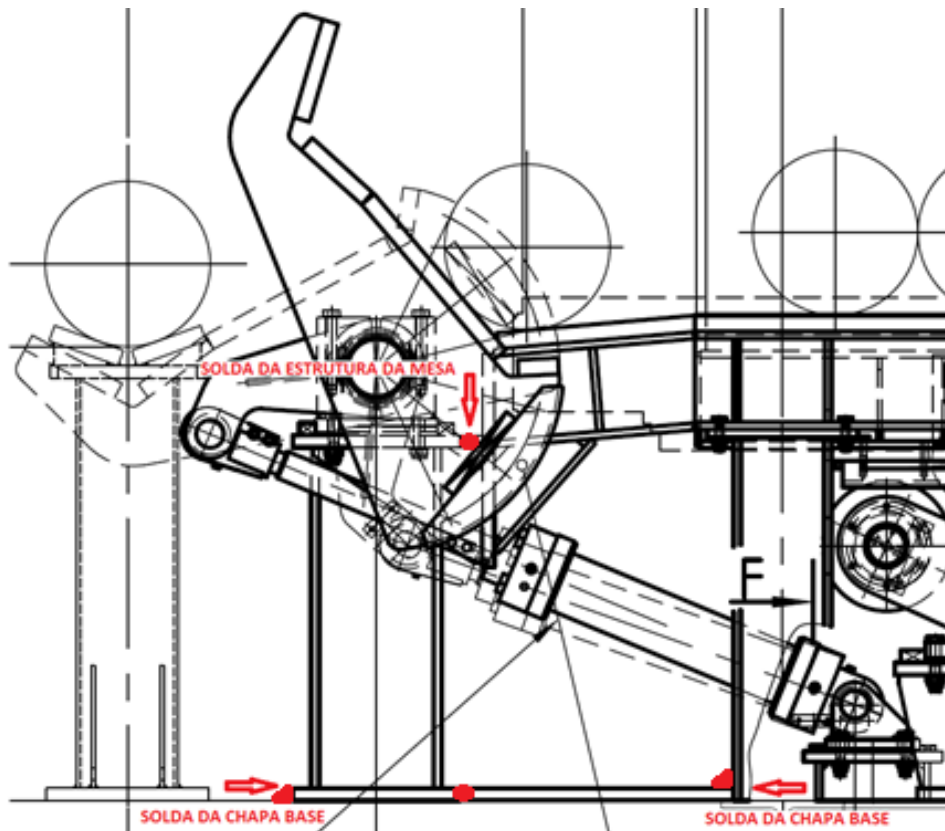


Figura 2.3: Soldas de fixação das bases dos mancais do dosador de blocos.

2.2. Novo Projeto

O novo projeto apresentado pela Engenharia de Projetos da empresa levou em conta que o equipamento trabalharia 24 horas por dia em condições severas, assim como carregamento alternado (carga variável), 95 ciclos por hora, um grau de confiabilidade alto devido ao risco de parada de produção caso o dosador falhe e que o mesmo remove barras (1 por vez) de 406 mm de diâmetro por 12,5 metros de comprimento, pesando 12,7 toneladas.

O material utilizado no eixo do dosador foi o SAE 1020, que é soldável facilmente em caso de recuperação na área. Nas bases dos mancais foi utilizado o ASTM A-36, que também é facilmente soldável em caso de manutenção. Foi alterado o diâmetro do eixo dosador, passando de 140mm para 240mm, o que acarretou na mudança dos mancais utilizados no dosador. O número de braços de dosagem também passou de 4 (quatro) para 6 (seis), e as bases foram redimensionadas a fim de garantir maior durabilidade. A nova configuração do dosador pode ser vista na Figura 2.4 e a nova base na Figura 2.5.

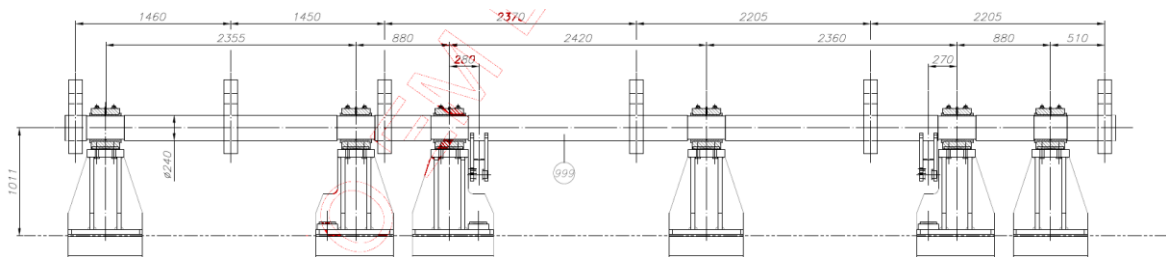


Figura 2.4: Nova configuração do dosador.

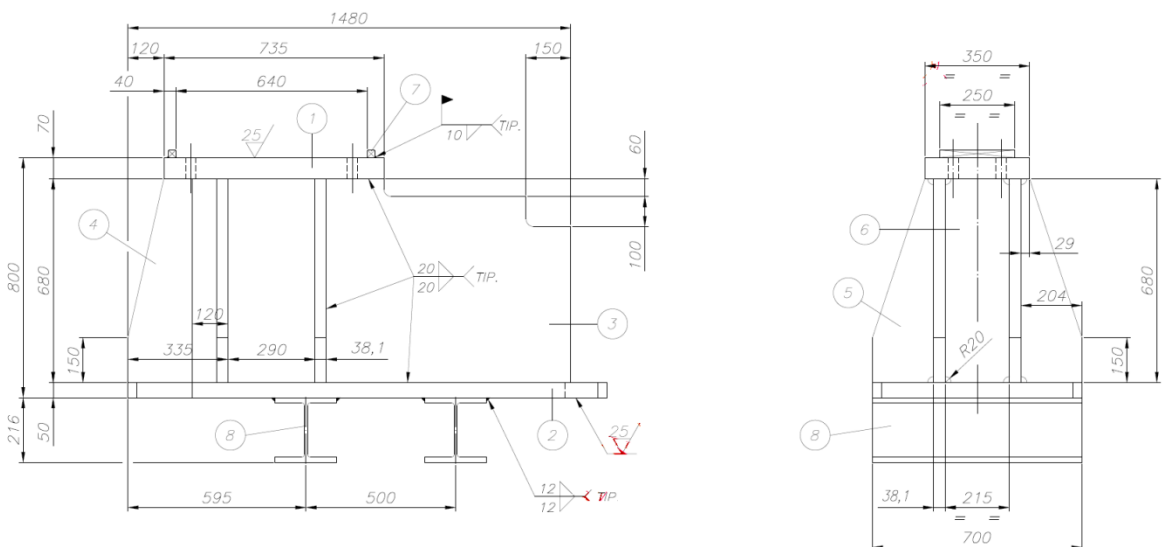


Figura 2.5: Nova configuração das bases dos mancais.

As Soldas dos braços, que fixam os braços de dosagem no eixo, e as soldas dos braços de acionamento, que fixam os braços de acionamento no eixo, estão especificadas no projeto e podem ser vistas nas Figuras 2.6 e 2.7 respectivamente, sendo necessária apenas verificação.

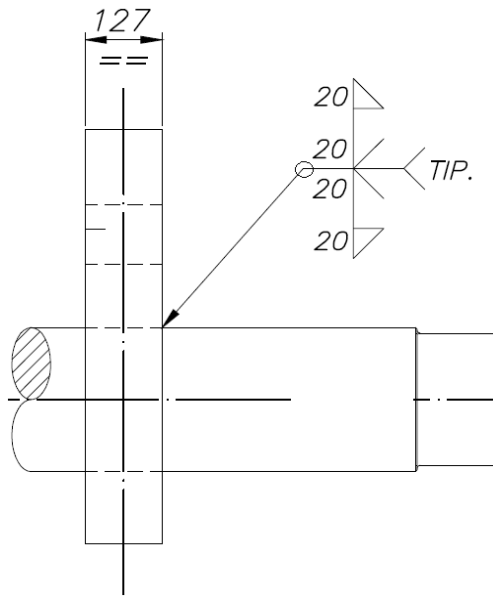


Figura 2.6: Soldas de fixação dos braços removedores.

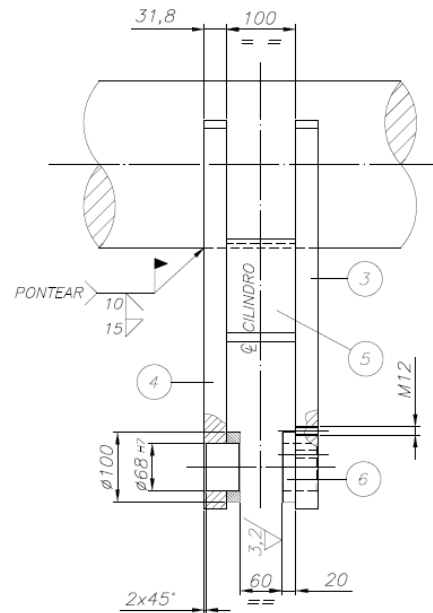


Figura 2.7: Soldas de fixação dos braços de acionamento.

Já as soldas da base do cilindro hidráulico e da base da estrutura, mostradas na Figura 2.8, que deverão ser realizadas durante a montagem, foram apenas indicadas, e não especificadas, devendo essas ser calculadas.

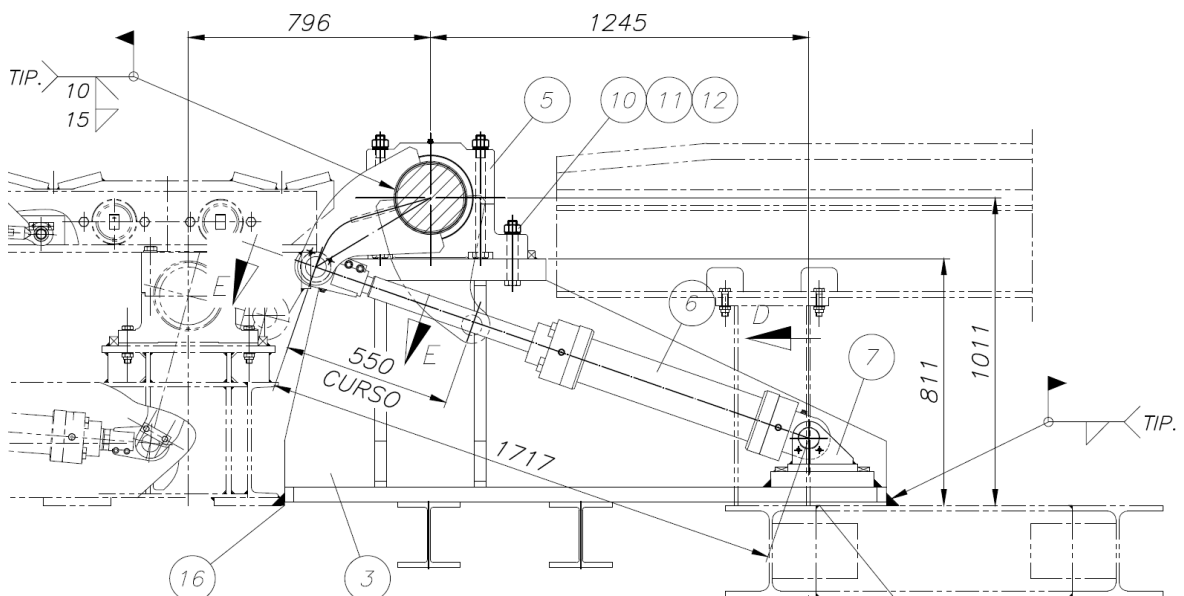


Figura 2.8: Soldas da base e base do cilindro hidráulico de acionamento.

2.3. Métodos adotados no projeto de estruturas

Segundo o *American Institute of Steel Construction* (AISC) existem dois métodos principais adotados no projeto de estruturas, o método das tensões admissíveis (*Allowable Stress Design*, ASD), no qual se aplica um só coeficiente de segurança sobre as resistências e se trabalha tanto nas resistências quanto nas ações com valores médios, e o método dos estados limites (*Load and Resistance Factors Design*, LRFD), no qual se aplicam coeficientes parciais de segurança sobre as ações e as resistências, sendo que os valores nominais não são valores médios, e sim valores característicos obtidos da curva de densidade de probabilidades.

2.3.1. Método das tensões admissíveis

O dimensionamento utilizando tensões admissíveis se originou dos desenvolvimentos da resistência dos materiais em regime elástico. É um método de base determinística em que é usado apenas um coeficiente de segurança para minoração da tensão resistida pelo material. A tensão máxima que atua numa estrutura é comparada com uma tensão admissível, que é definida em função das propriedades mecânicas do material e de um coeficiente de segurança.

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq \frac{f(\text{propriedades mec\^anicas})}{S_g} \text{ sendo } S_g > 1 \quad (2.1)$$

Em que S_g é o coeficiente de segurança.

2.3.2. Método dos estados limites

No método dos estados limites, as cargas aplicadas na estrutura, melhoradas por fatores de carga apropriados são comparadas com cargas características do estado limite da estrutura.

$$\phi R_n > \sum Y_k Q_{km} \quad (2.2)$$

Onde:

R_n é a resistência nominal;

ϕ é um fator de resistência, que leva em conta as incertezas na definição de R_n ;

Q_{km} é o efeito da carga aplicada;

Y_k é um fator de majoração das cargas.

Neste método, a resistência mecânica e as cargas são consideradas variáveis aleatórias, logo se as correspondentes densidades de probabilidade são conhecidas, Figura 2.9, pode-se definir que o componente não falha quando:

$$p(R) > p(Q) \quad (2.3)$$

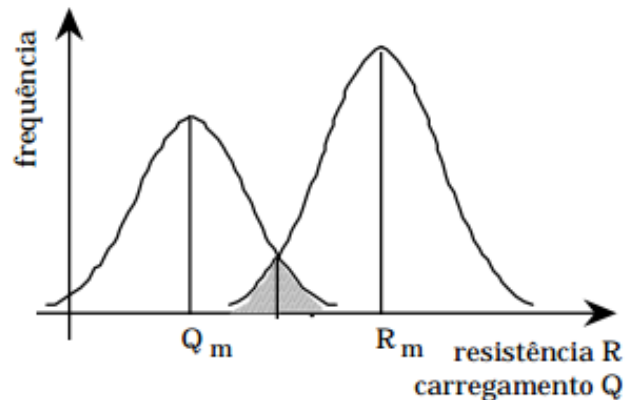


Figura 2.9: Curva de densidade de probabilidades. (Fonte: Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Neste método existem dois tipos de estados limites: estados limites últimos e estados limites de utilização.

Os estados limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura e são sempre associados ao colapso parcial ou total do sistema estrutural (Escoamento da seção, Flambagem, Fadiga, Fratura, tombamento, etc).

Os estados limites de utilização têm a ver com o desempenho da estrutura e com o bem estar físico e psíquico dos usuários. A ocorrência de um estado limite de utilização pode afetar o desempenho da estrutura. Os estados de utilização mais comuns são deformações permanentes, deformações elásticas, vibrações inaceitáveis, etc.

2.4. Fadiga

Desde de 1838, sabe-se que um material sujeito a esforços cíclicos irá falhar a uma tensão mais baixa do que um material sujeito a cargas aplicadas uniaxialmente. Estas falhas recebem o nome de falhas de fadiga. Segundo Segundo HERTZBERG R. W., o mecanismo de formação de falha de fadiga em metais inicia-se com a formação de bandas de escorregamento persistentes, causadas pela movimentação das discordâncias no reticulado. Estas

movimentações levam a formação de intrusões, extrusões e protrusões ou locais para nucleação de trincas. Estas regiões, por terem grande deformação plástica, geram trincas que se propagam em cada ciclo de tensão, até a instabilidade determinada pela mecânica da fratura. As trincas aparecem de forma heterogênea no material, e a trinca que estiver perpendicular ao carregamento tornar-se-á dominante. Segundo DOWLING R.W., a falha de fadiga é um processo de deformação altamente localizada. No processo de falha por fadiga como movimentação de discordâncias e propagação de trinca, pode-se notar que quanto maior for a tensão máxima no ciclo ($\sigma_{\text{máx}}$), mais fácil é a nucleação da trinca e por conseqüência sua propagação.

Segundo NORTON, Robert L., qualquer tensão que varie no tempo pode potencialmente provocar falha por fadiga. De modo geral, as tensões variáveis no tempo são divididas em dois grupos, as tensões de amplitude constante e as tensões de amplitude variável.

Os regimes de fadiga são identificados com base no número de ciclos de tensão que são aplicados numa peça durante o seu tempo de serviço, conforme mostrado na Figura 2.10. A fadiga de alto ciclo está relacionada a tensões baixas, deformações elásticas e grande número de ciclos até a falha da peça. Já a fadiga de baixo ciclo está relacionada a tensões altas, deformação plástica significativa em cada ciclo e pequeno número de ciclos até a falha da peça.

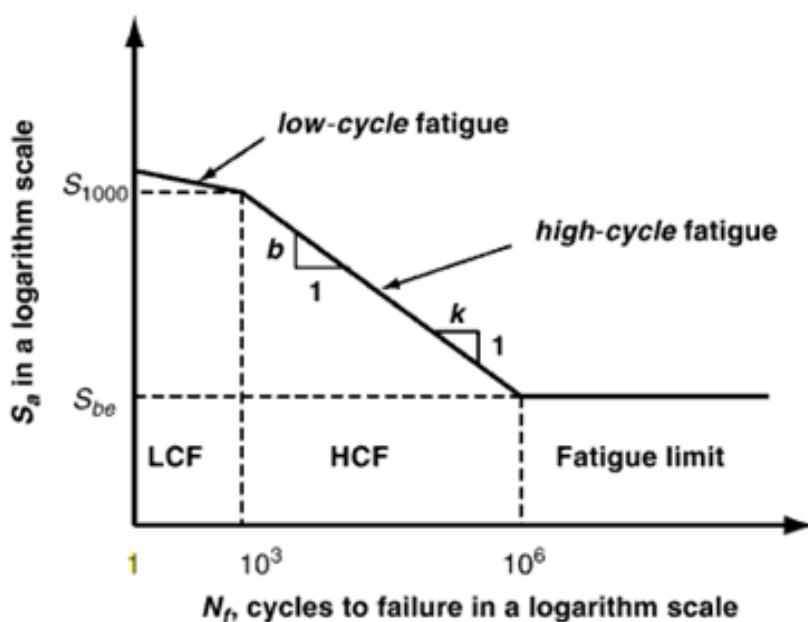


Figura 2.10: Curva S-N. (Fonte: Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Normas de projeto de estruturas soldadas costumam trabalhar, segundo ARIAS, Ariel Rodriguez, com curvas $\Delta\sigma$ -N particularizadas para diversos tipos de detalhes. Essas normas empregam a faixa de tensões $\Delta\sigma$ ao invés da tensão alternante σ_a . Normalmente o efeito das tensões médias não é considerado.

As regras de cálculo da maioria dos códigos atuais são baseadas na resistência a fadiga expressa pelo diagrama S-N. Considera-se que a resistência à fadiga de juntas soldadas independe da resistência estática do material. Considera-se que a resistência à fadiga global da estrutura é condicionada pela resistência à fadiga das juntas soldadas que a compõem.

O código AWS D 1.1 contém as exigências para fabricação e montagem de estruturas metálicas soldadas tubulares e não tubulares, com carregamento estático ou cíclico. O código apresenta algumas limitações, não sendo aplicável a aços com resistência ao escoamento mínima especificada maior que 690 Mpa, aços com espessuras menores que 3 mm, reservatórios ou tubulações sob pressão e metal base à exceção dos aços carbono ou dos aços de baixa liga. Para as estruturas de aços inoxidáveis deve ser aplicada a especificação AWS D1.6, Structural Welding Code – Stainless Steel.

Esta norma pode ser usada em conjunto com os procedimentos estabelecidos pelo Método das Tensões Admissíveis (Allowable Stress Design - ASD) ou as estabelecidas pelo Método dos Estados Limites (Load and Resistance Factors Design – LRFD) da norma ANSI/AISC 360-05: 2005.

O critério de ruptura da estrutura adotado pelo código AWS D 1.1 é a tensão máxima não exceder a tensão admissível dada pela tabela 2.3 do código AWS D1.1 de 2010, tampouco a amplitude de tensão admissível de fadiga dada pelas curvas 'S-N' da Figura 2.11.

Segundo o código AWS D 1.1, para categoria F de tensão, a faixa de tensão não deve exceder F_{SR} como determinado pela Fórmula 2.4:

$$F_{SR} = \left(\frac{C_f \cdot 11 \cdot 10^4}{N} \right)^{0,167} \geq F_{TH} [MPa] \quad (2.4)$$

Na qual:

F_{SR} = Faixa de tensão permissível, ksi [MPa];

C_f = Constante da Tabela 2.5 da norma AWS D 1.1 para categoria F;

N = Número de ciclos de faixa de tensão vida de projeto.

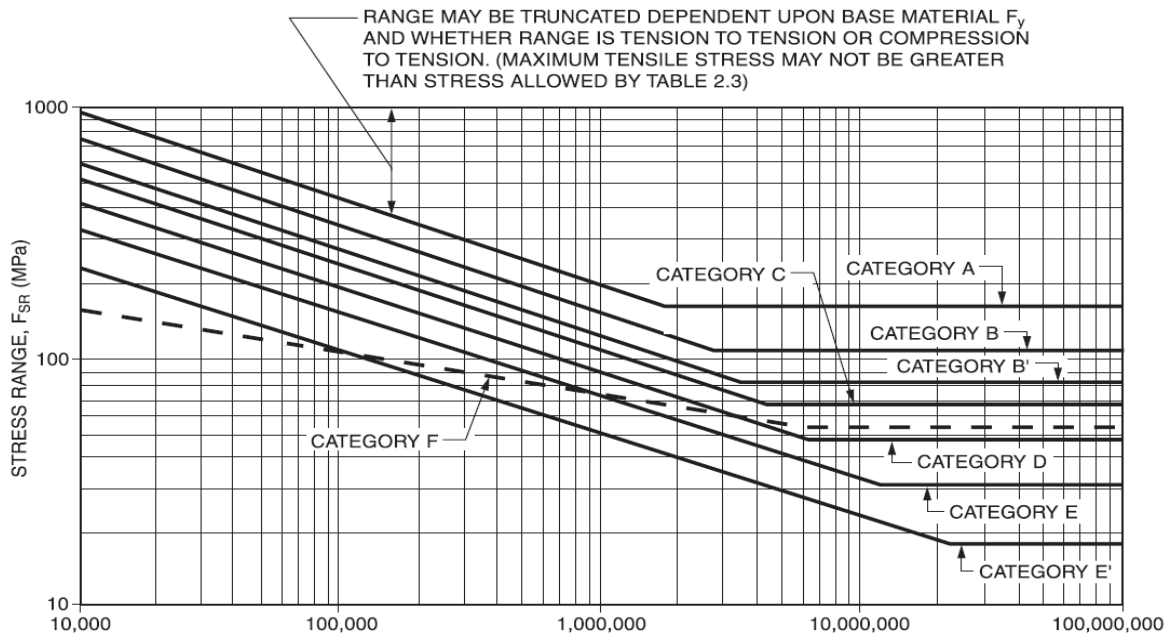


Figura 2.11: Faixa de Tensão Permissível para Carga Aplicada Ciclicamente (Fadiga) em Conexões Não-tubulares (Fonte: AWS D 1.1)

2.5. Tensões em juntas de filete soldadas

A fim de tornar possível uma metodologia para o dimensionamento do cordão de solda são necessárias diversas simplificações quanto ao estado de tensões a ser considerado. A maioria dos métodos correntes considera que, a partir de cargas externas conhecidas, as tensões são uniformemente distribuídas ao longo da seção da garganta do cordão.

Conhecendo-se a garganta, pode-se definir a área efetiva de solda, ou seja, a área da garganta, conforme mostrado na Figura 2.12:

$$A = tl \quad (2.5)$$

Onde:

A é a área da garganta;

t é a garganta da solda, e;

L é o comprimento da solda.

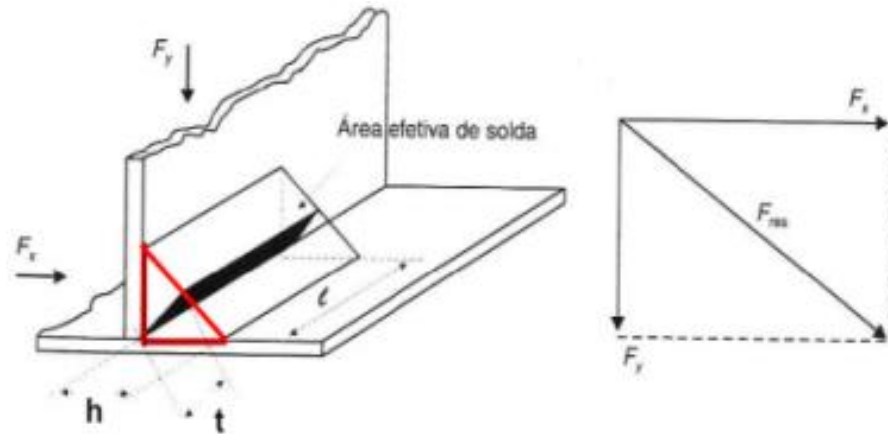


Figura 2.12: Área da garganta. (Fonte: Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Partindo da junta sobreposta tem-se a Figura 2.13:

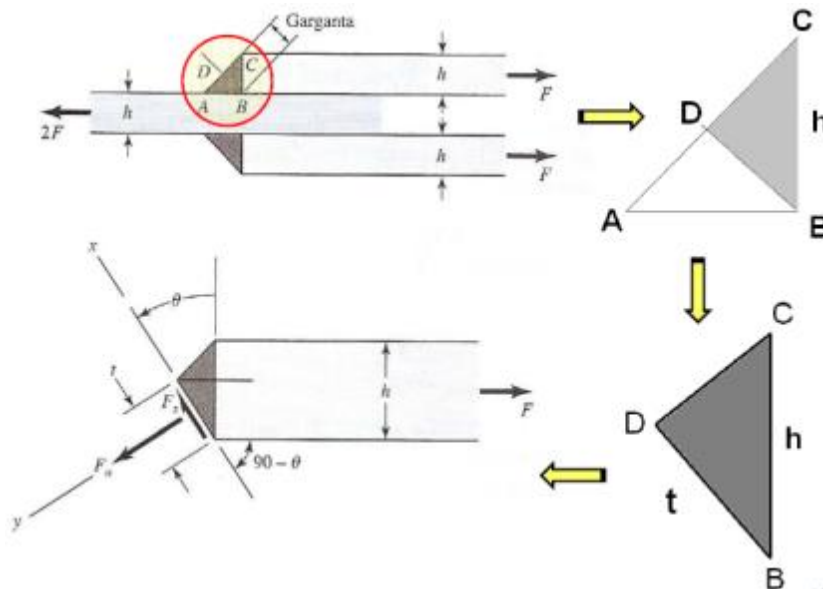


Figura 2.13: Decomposição das forças na solda de filete. (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

$$F_S = F \sin \theta \quad (2.6)$$

$$F_N = F \cos \theta \quad (2.7)$$

$$\frac{t}{\sin 45} = \frac{h}{\sin(180-45-\theta)} = \frac{h}{\cos \theta + \sin \theta} \quad (2.8)$$

$$\tau = \frac{F_S}{A} = \frac{F \sin \theta (\cos \theta + \sin \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\sin \theta \cos \theta + \cos^2 \theta) \quad (2.9)$$

$$\sigma = \frac{F_N}{A} = \frac{F \cos \theta (\cos \theta + \sin \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\cos^2 \theta + \sin \theta \cos \theta) \quad (2.10)$$

Para soldas carregadas em torção e flexão, algumas considerações devem ser feitas:

- Para tensão Cisalhante primária devido à Força Cortante, as tensões uniformemente distribuídas;
- Para tensão Cisalhante devido à Torção, a força atua no PLANO da solda;
- Para tensão normal devido ao Momento Fletor a força atua fora do PLANO da solda.

Assim tem-se para torção:

$$\tau' = \frac{M_t}{J} \cdot r \quad (2.11)$$

$$\tau'' = \frac{V}{A} \quad (2.12)$$

Onde:

M_t é o momento torçor, calculado como a força aplicada multiplicada pelo raio de aplicação da mesma;

J é o momento polar de inércia;

r é o raio de aplicação da carga;

V é a tensão cisalhante, e;

A é a área da garganta da solda de filete.

E analogamente para flexão tem-se:

$$\sigma_x = \frac{M_f}{I} \cdot C \quad (2.13)$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.14)$$

Onde:

M_f é o momento fletor, calculada como a força multiplicada pela distância de aplicação da mesma;

I é o momento de inércia;

c é o raio de aplicação da carga;

V é a tensão cisalhante, e;

A é a área da garganta da solda de filete.

É muito usual no cálculo de tensões utilizar a garganta do cordão de solda igual a 1, o que torna cada filete de solda uma linha, e possibilita o cálculo do momento de inércia unitário, I_u , e do momento polar de inércia unitário, J_u .

$$J = J_u t \quad (2.15)$$

$$I = I_u t \quad (2.16)$$

Algumas propriedades de juntas soldadas exigidas em torção e em flexão estão mostradas na Figura 2.14.

TORÇÃO				FLEXÃO			
Solda	Área da garganta	Localização de G	Segundo momento polar de área unitária	Solda	Área da garganta	Localização de G	Segundo momento de área unitária
	$A = 0,707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$		$A = 0,707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1,414bd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d[3b^2 + d^2]}{6}$		$A = 1,414bd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 0,707h[2b + d]$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{[b+d]^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$		$A = 0,707h(2b+d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$I_u = \frac{d^3}{12}(6b+d)$
	$A = 0,707h[2b + d]$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$		$A = 0,707h(2b+d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$
	$A = 1,414h(b+d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$		$A = 0,707h(b+2d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}(6b+d)$
	$A = 1,414\pi r$		$J_u = 2\pi r^3$		$A = 1,414h(b+2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$
					$A = 1,414h(b+d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}(3b+d)$
					$A = 1,414\pi r$		$I_u = \pi r^3$

Figura 2.14: Propriedades geométricas de juntas soldadas. (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Pode-se calcular assim a dimensão do cordão encontrando o valor de t (garganta) que satisfaça o carregamento imposto, tornando as tensões atuantes menores que as tensões de resistência do material da solda.

2.6. Ciclo de trabalho

O ciclo de trabalho (C_t) é definido como a relação entre o tempo de operação (t_{ARCO}) permitido durante um intervalo de teste especificado (t_{TESTE}), em geral, 10 minutos, isto é:

$$C_t = \frac{t_{ARCO}}{t_{TESTE}} * 100\% \quad (2.17)$$

Sendo assim, uma fonte de soldagem com $C_t = 60\%$ pode operar por até 6 (seis) minutos em cada intervalo de 10 (dez) minutos.

Uma fonte de soldagem, em geral, vem com seu ciclo de trabalho especificado para um certo patamar de corrente. Assim, para estimar o fator de trabalho dessa fonte para níveis de corrente de soldagem diferentes, pode-se utilizar a equação 2.18.

$$C_{t_1} * I_1^2 = C_{t_2} * I_2^2 \quad (2.18)$$

2.7. Terminologia e simbologia de soldagem

Tendo em vista a soldagem como um todo, pode-se observar que são muitos os termos utilizados pelos profissionais da área e cada um destes possui um significado particular. Sendo assim para que possa haver uma comunicação eficiente e sem equívocos, uma terminologia se faz necessária, assim como uma simbologia particular. A Figura 2.15 apresenta esquematicamente a terminologia geral para um procedimento de soldagem cujos termos a serem considerados são:

- Soldagem: O **processo** de união de materiais;
- Solda: O **resultado** desse processo;
- Metal de base: Material da peça que sofre o processo de soldagem;
- Metal de adição: Material adicionado, no estado líquido, durante a soldagem;
- Poça de fusão: Região em fusão, a cada instante, durante uma soldagem;
- Penetração: Distância da superfície original do metal de base ao ponto em que termina a fusão, medida perpendicularmente à mesma;

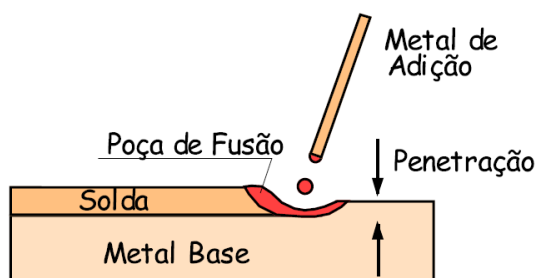


Figura 2.15: Terminologia geral. (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

A Figura 2.16 mostra os tipos de junta e os tipos de chanfros mais utilizados na soldagem, sendo a junta a região entre duas ou mais peças que serão unidas e o chanfro o corte efetuado na junta para possibilitar/facilitar a soldagem em toda a sua espessura.

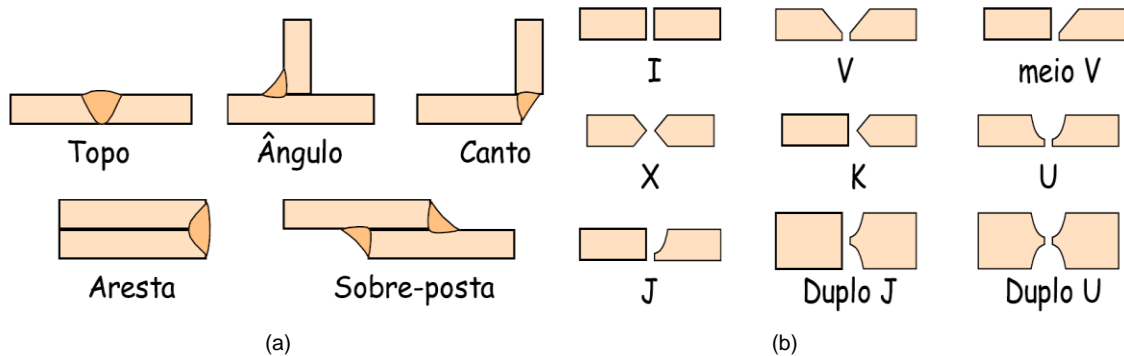


Figura 2.16: (a) Tipos de junta. (b) Tipos de chanfro. (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

Os elementos de um chanfro, mostrados na Figura 2.17, são os seguintes:

- Nariz ou face de um chanfro (s): Parte não chanfrada de um componente da junta;
- Raio do chanfro (r): Raio inferior da parte chanfrada dos elementos (quando utilizado);
- Abertura ou fresta (f): Menor distância entre as peças a soldar;
- Ângulo de bisel (β): Ângulo da parte chanfrada de um dos elementos da junta;
- Ângulo de abertura da junta ou ângulo de chanfro (α): Soma dos ângulos de bisel dos componentes da junta.

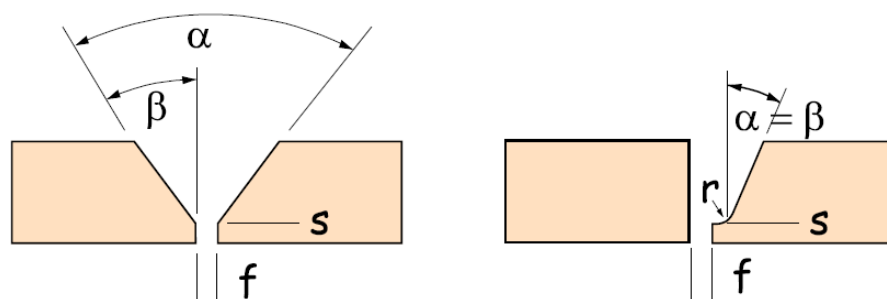


Figura 2.17: Características dimensionais de chanfros usados em soldagem. (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

Os elementos de uma junta soldada, mostrados na Figura 2.18, são os seguintes:

- Raiz: Região mais profunda do cordão de solda;
- Face: Superfície oposta à raiz da solda;
- Passe: Depósito de material obtido pela progressão sucessiva de uma só poça de fusão ;
- Camada: Conjunto de passes localizados em uma mesma altura no chanfro;
- Reforço: Altura máxima alcançada pelo excesso de material de adição, medida a partir da superfície do material de base;
- Margem: Linha de encontro entre a face da solda e a superfície do metal de base.
- Garganta: Distância entre a face da solda de filete e a raiz da mesma, medida sempre a 90° em relação à face da solda;
- Perna: Altura do cordão de solda em relação os seus membros.

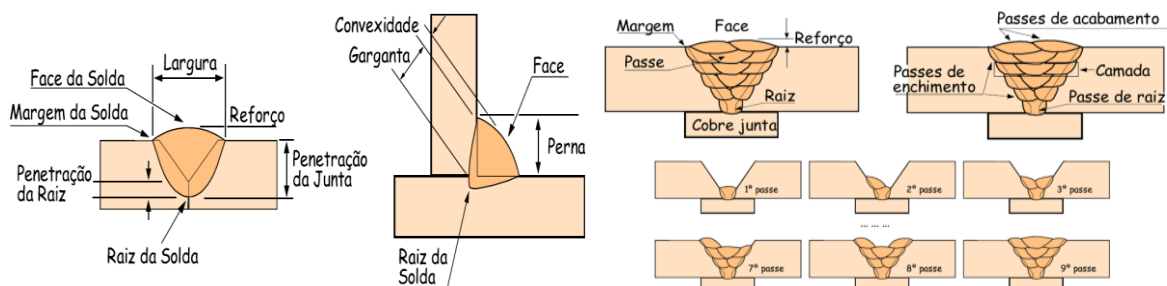


Figura 2.18: Elementos de uma junta soldada. (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

A seção transversal esquemática de uma junta soldada, cujas regiões são explicitadas abaixo, é mostrada na Figura 2.19.

- Metal de base: Regiões do material que foi soldado que não foram afetadas pelo processo de soldagem;
- Zona termicamente afetada (ZTA): Parte do metal de base cujas propriedades e/ou microestrutura foram afetadas pelas variações de temperatura devidas à soldagem;
- Zona Fundida: Região que foi fundida durante a soldagem.

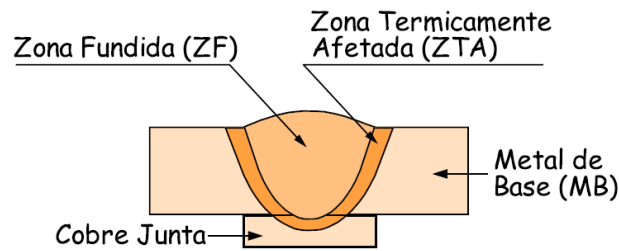


Figura 2.19: Seção transversal esquemática de uma solda de topo por fusão (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

As posições de soldagem (plana, horizontal, vertical e sobrecabeça) são mostradas na Figura 2.20.

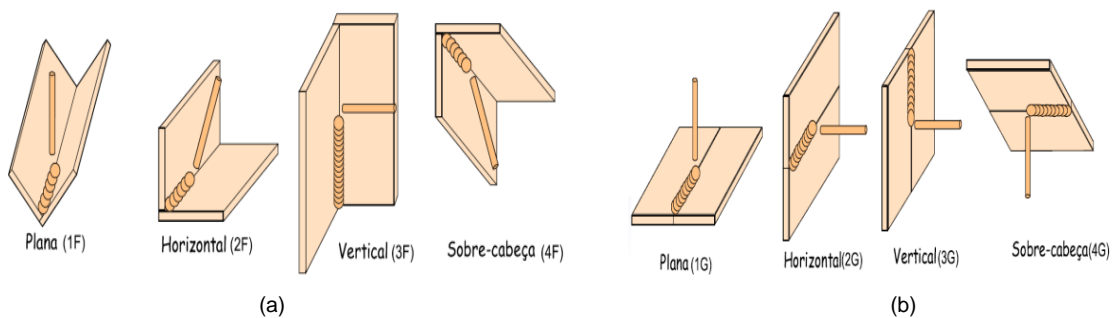


Figura 2.20: Posições de soldagem para soldas de filete (a) e soldas em tubulações (b). (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

O elemento básico, mostrado na Figura 2.21, é a linha de referência colocada sempre na posição horizontal e próxima a junta a que se refere.

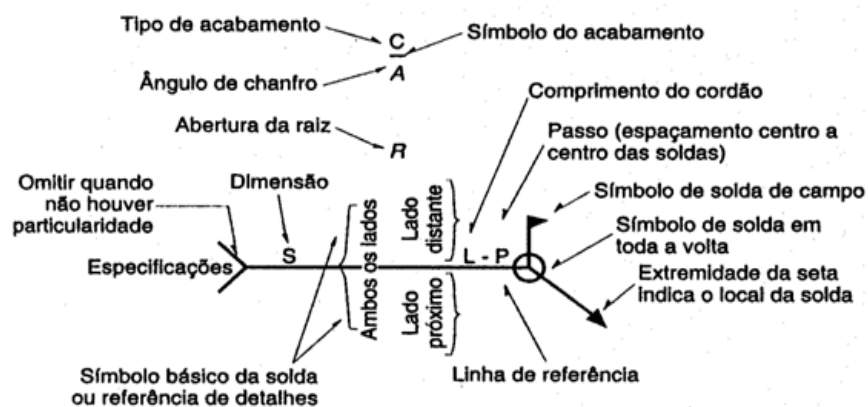


Figura 2.21: Elemento básico.

O símbolo básico indica o tipo de solda a ser realizada. Cada símbolo básico visto na Figura 2.22 é a representação esquemática da seção transversal da solda a que se refere.

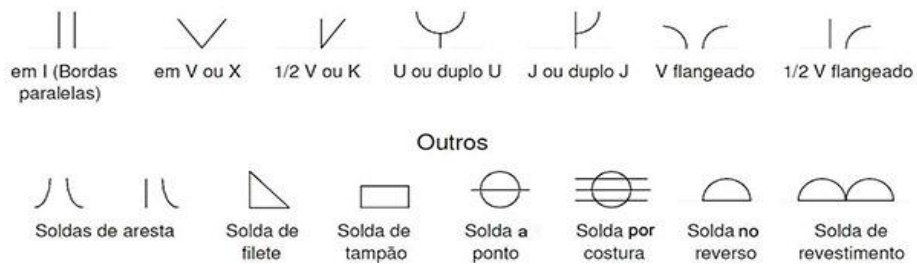


Figura 2.22: Símbolos básicos de soldas. (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

Já os símbolos suplementares, vistos na Figura 2.23, indicam alguma informação suplementar, quando necessário, e são utilizados em posições específicas nos símbolos de soldagem.

Solda em todo o contorno	Solda de campo	Fusão no reverso	Contorno da solda		
			Plano	Convexo	Côncavo

Figura 2.23: Símbolos suplementares. (Fonte: Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009)

2.8. Soldagem com eletrodo revestido

Dos processos de soldagem a arco, o processo com eletrodo revestido (SMAW – Shielded Metal Arc Welding) é o mais simples. A soldagem a arco com eletrodo revestido, é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes, com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e as peças que estão sendo unidas. A Figura 2.24 apresenta esquematicamente uma soldagem com eletrodo revestido.

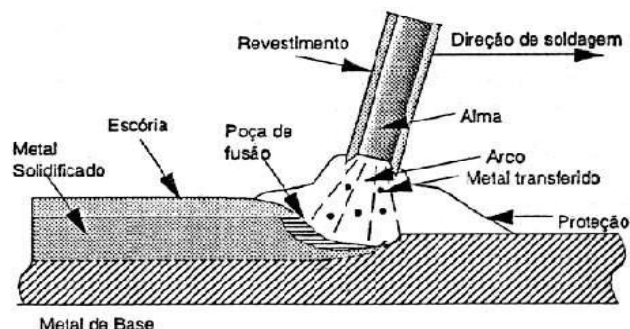


Figura 2.24: Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Em grandes parques industriais, como usinas de aço, onde a manutenção dos ativos é realizada internamente, o processo de soldagem por eletrodo revestido é amplamente usado para reparos de solda devido a vários motivos, principalmente:

- O processo é o mais simples, em termos de necessidades de equipamentos;
- Investimento em equipamentos é relativamente baixo;
- Facilidade de se encontrar eletrodos no mercado;
- Pode ser utilizado em todas as posições de soldagem;
- Pode ser utilizado em praticamente todas as espessuras do metal base;
- O metal de solda e os meios de proteção desta solda são fornecidos pelo eletrodo revestido, não requerendo nenhum equipamento adicional;
- É apropriado para a maioria dos metais e ligas metálicas comumente usadas;
- Adapta-se bem a trabalhos em espaços restritos e acessos limitados.

Mas existem também desvantagens e limitações, como:

- Baixas taxas de deposição quando comparado com o processo GMAW.
- Como o eletrodo pode ser consumido até um comprimento mínimo, quando este comprimento é atingido, o soldador deve trocar a parte não consumida por um outro eletrodo.
- Por ser um processo tipicamente manual, o nível de habilidade do soldador é de fundamental importância para se obter uma solda de qualidade aceitável.

Assim, quando se fala em trabalhos de manutenção, freqüentemente o processo de soldagem utilizado é por eletrodo revestido, exceto quando o volume de solda exigido é muito grande e necessita-se de uma taxa de deposição alta, onde utiliza-se o GMAW, quando disponível.

2.8.1. Eletrodo

O eletrodo revestido, mostrado na Figura 2.25 consiste em uma vareta metálica, chamada “alma”, trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para o enchimento da junta, recoberta por uma camada

formada pela mistura de diferentes materiais, que formam o “revestimento” do eletrodo.

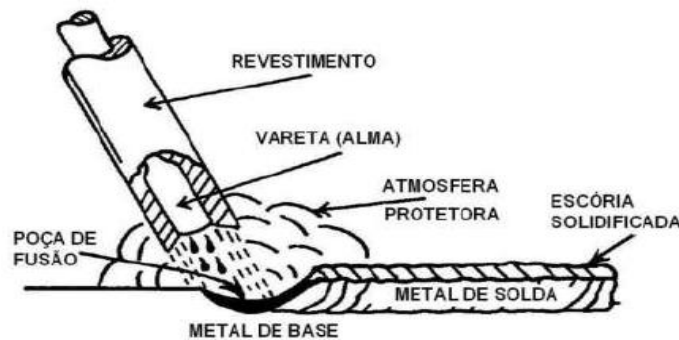


Figura 2.25: Desenho esquemático do eletrodo revestido durante uma solda. (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

O sistema de classificação dos eletrodos de aço carbono de baixa liga da AWS utiliza um conjunto de números e letras que fornecem várias informações a respeito dos eletrodos, como mostrado na Figura 2.26:

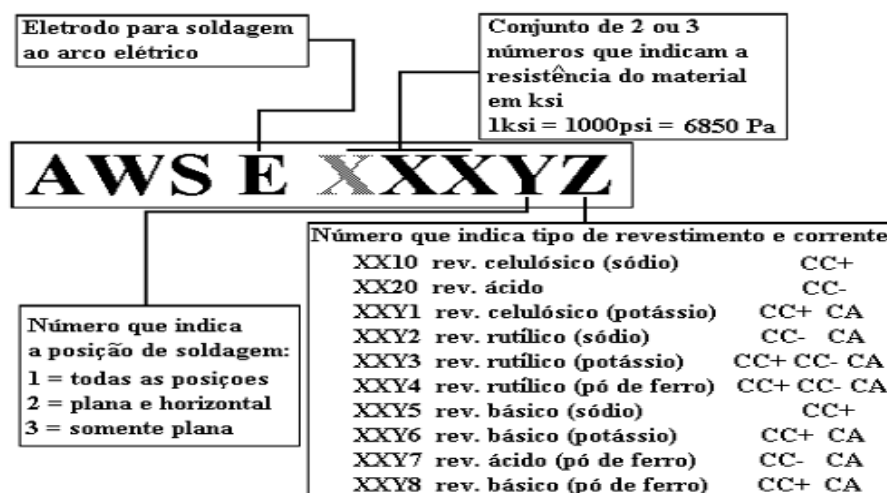


Figura 2.26: Classificação de eletrodos revestidos para soldagem de aços baixa liga. (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Os Eletrodos devem ser estocados em embalagens fechadas na posição vertical e apoiados em estrados de madeira em uma temperatura ambiente mínima de 18°C e umidade relativa máxima de 50%. Alguns tipos de eletrodos revestidos tais como rutilicos e celulósicos não necessitam de cuidados especiais, no entanto é aconselhável seu armazenamento em temperaturas recomendável pelo fabricante. Cuidados especiais devem ser tomados com os eletrodos básicos de baixo teor de hidrogênio como os do tipo E 7018 que apresenta uma grande tendência para absorver umidade no meio ambiente.

Estufas foram desenvolvidas para manter a temperatura média de 50 a 70 °C para eletrodo do tipo Rutilico e Celulósico e de 100 a 150 °C para os tipos de revestimentos básicos. Para manter a temperatura ideal de armazenagem próximo ao local de trabalho são utilizáveis estufas portáteis chamada de “cochichos” que podem ser ligados diretamente nos terminais de saída do equipamento de solda.

2.8.2. Revestimento

A composição do revestimento determina as características operacionais dos eletrodos e pode influenciar a composição química e as propriedades mecânicas da solda efetuada. Existem diversos tipos de revestimento, conforme mostrado na Figura 2.27, e eles são responsável por:

- Realizar ou possibilitar reações de refino metalúrgico;
- Formar uma camada de escória protetora;
- Facilitar a remoção da escória e controlar suas propriedades;
- Facilitar a soldagem nas diversas posições;
- Dissolver óxidos e contaminações na superfície da junta;
- Reduzir o nível de respingos e fumos;
- Diminuir a velocidade de resfriamento da solda;
- Possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade;
- Aumentar a taxa de deposição.
- Proteger as gotas durante a transferência pelo arco;



Figura 2.27: Diferentes tipos de eletrodo revestido. (Fonte: <https://jbrandaosoldas.wordpress.com/2015/01/28/eletrodos/> consultado em 05/11/2016)

De acordo com sua formulação, os revestimentos dos eletrodos revestidos podem ser classificados em diversos tipos, como por exemplo:

- Revestimento oxidante: Constituído principalmente de óxido de ferro e manganês. Produz escória oxidante, abundante e de fácil remoção. Apresenta baixa penetração, baixo teor de carbono e manganês;
- Revestimento ácido: Constituído principalmente de óxido de ferro, manganês e sílica, produz escória ácida, abundante e porosa, de fácil remoção. A penetração é média e a taxa de fusão é elevada e sua resistência à formação de trincas de solidificação é baixa;
- Revestimento rútilico: Contém uma quantidade significativa de rútilo (TiO_2), produz uma escória abundante, densa e de fácil remoção. A penetração é de média a baixa, a resistência à fissuração à quente é relativamente baixa. São eletrodos de grande versatilidade e uso geral;
- Revestimento básico: Contém uma quantidade significativa de carbonato de cálcio e fluorita, capaz de gerar uma escória básica que, juntamente com o dióxido de carbono gerado pela decomposição do carbonato, protege a solda do contato com a atmosfera. Essa escória exerce uma função metalúrgica benéfica sobre a solda, dessulfurando-a e reduzindo o risco de formação de trincas de solidificação. Produz soldas com baixo teor de hidrogênio, o que diminui o risco de fissuração e de fragilização devida a esse elemento, média penetração e boas propriedades mecânicas, particularmente no que diz respeito à tenacidade. Revestimentos básicos são altamente higroscópicos, devendo ser armazenados e secados com cuidados especiais.
- Revestimento celulósico: Possui uma grande quantidade de material orgânico que, na decomposição geram grande quantidade de gases que protegem a poça de fusão. Produz soldas de alta penetração, grande quantidade de respingos e boas propriedades mecânicas. Ideal para soldagem fora de posição e passe de raiz.

A Figura 2.28 exibe a diferença entre os eletrodos com revestimento rútilico e revestimento básico.



(a)

(b)

Figura 2.28: (a) Eletrodo com revestimento rutilico; (b) Eletrodo com revestimento básico (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

Revestimentos de diferentes tipos podem conter adições de pó de ferro, e durante a soldagem este é fundido e incorporado à poça de fusão, causando um melhor aproveitamento da energia do arco e uma maior estabilização deste.

2.8.3. Escória

O tipo de escória produzida pelos eletrodos revestidos tem um efeito determinante na qualidade do metal de solda. A formação da escória ocorre pela formação de um filme líquido que se forma na parte superior do banho de solda devido a elementos escorificantes. As funções da escória são:

- Fornecer proteção adicional contra contaminantes atmosféricos;
- Agir como purificadora e absorver impurezas que são levadas à superfície e ficam aprisionadas pela escória;
- Reduzir a velocidade de resfriamento do metal fundido para permitir o escape de gases;
- Realizar reações de refino metalúrgico, tais como desoxidação, dessulfuração, etc.;
- Controlar a soldagem nas diversas posições;
- Moldar o cordão de solda;

A destacabilidade da escória pode ser um parâmetro determinante na escolha de um eletrodo para certa aplicação. O grau de dificuldade de remoção da escória depende do tipo de revestimento do eletrodo usado, da geometria do cordão de solda, da movimentação executada e das dimensões do chanfro, se este for

usado. A Figura 2.29 mostra a escória destacada de um cordão de solda sobre chapa.



Figura 2.29: Cordão de solda com escória destacada. (Fonte Curso de Especialização em Soldagem, UFMG, 2015)

2.9. Normas

O uso bem sucedido de normas é de grande valor para o homem, e principalmente para a indústria, pois resulta em um método de fabricação mais sistemático, uma produção mais uniforme e com menor chance de defeitos, além de melhor controle de qualidade e rastreamento. A não observância de normas pode acarretar grandes problemas com sérias consequências para os fabricantes, usuários e a sociedade.

A norma utilizada comumente para soldagem de estruturas de aço é a AWS D1.1, que visa estabelecer requisitos de soldagem para qualquer tipo de estrutura soldada feita com aços construtivos de carbono e baixa liga. Esta norma é dividida em 8 seções, 12 anexos normativos e 14 anexos informativos, conforme abaixo:

- Seção 1: Requisitos Gerais: Contém informações básicas sobre o âmbito e limitações do código, definições chave e principais responsabilidades das partes envolvidas com fabricação de aço;
- Seção 2: Projetos de União Soldada: Contém requisitos para projeto de conexões soldadas compostas de produtos/membros de forma tubular e não tubular;

- Seção 3: EPS's Pré-Qualificadas: Contém os requisitos para isentar uma EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) dos requisitos de qualificação de EPS do código;
- Seção 4: Qualificação de EPS e Soldadores: contém os requisitos para qualificação EPS e os testes de qualificação requeridos que devem ser passados a toda a equipe de soldagem (soldadores, operadores de soldagem e soldadores de solda provisória) para realizar soldagens de acordo com o código.
- Seção 5: Fabricação: Contém requisitos gerais de fabricação e ereção aplicáveis a estruturas de aço soldadas governadas pelo código, inclusive os requisitos para metais base, consumíveis de soldagem, técnica de soldagem, detalhes de solda, preparação e montagem de material, mão-de-obra, reparo de solda, e outros requisitos.
- Seção 6: Inspeção: Contém critérios para a qualificação e responsabilidades de inspetores, critérios de aceitação para soldas de produção, e procedimentos padrão para realizar inspeção visual e END (ensaio não-destrutivo).
- Seção 7: Soldagem de Pinos: Contém os requisitos para a soldagem de pinos em aço estrutural.
- Seção 8: Reparos em Estruturas Existentes: Contém informações básicas pertinentes à modificação de solda ou reparo de estruturas de aço existentes.
- Anexos Normativos (A a J);
- Anexos Informativos (K a V).

Para a realização de um trabalho através de normas, é necessário familiarização com os termos usados pelas mesmas, principalmente os listados abaixo:

- Variável essencial: São variáveis que afetam significativamente as propriedades mecânicas da junta soldada. Estas variáveis não devem ser alteradas e quando possuírem faixas de qualificação, estas não devem ser ultrapassadas;

- Variável não essencial: São variáveis que não afetam significativamente as propriedades mecânicas da junta soldada. Estas variáveis podem ser alteradas sem necessitarem de uma nova qualificação de EPS;
- Variável suplementar: São requeridas para aplicações em metais onde é exigido teste de impacto e são usadas em adição às variáveis essenciais para cada processo de soldagem.
- Especificação do procedimento de soldagem (EPS): É um documento preparado para fornecer aos soldadores e operadores de soldagem as diretrizes para a produção de soldas. Contendo detalhadamente todos os parâmetros e condições da operação de soldagem;
- Registro da qualificação do procedimento de soldagem (RQPS): A qualificação do procedimento de soldagem é feita observando todos os parâmetros e condições estabelecidas na EPS, seguida de ensaios e exame da chapa ou tubo de teste. Os parâmetros principais da operação de soldagem e os resultados dos ensaios e exames são registrados em um documento, que é o RQPS;
- Qualificação de soldadores: Uma vez que o processo de soldagem é aprovado, necessita-se demonstrar que todos os soldadores têm o conhecimento necessário e habilidade para depositar uma solda com qualidade. Caso o soldador tenha completado satisfatoriamente o teste do procedimento, então ele é automaticamente aprovado, cada soldador adicional deve ser aprovado em ensaios de acordo com regras do código/norma utilizado;
- Soldabilidade: Facilidade de realizar a operação de soldagem utilizando-se parâmetros normais de regulagem da máquina, de material de adição e de rendimento, ou à capacidade de o material ser soldado sem que haja a formação de microestruturas prejudiciais às suas características e propriedades mecânicas. Um material com boa soldabilidade deve se apresentar, após a soldagem, sem concentração excessiva de tensões internas e com boas propriedades mecânicas de tenacidade e ductilidade.

$$A = 1,414\pi hr = 1,414 \cdot \pi \cdot \frac{t}{0,707} \cdot 0,120 = 0,754t \text{ m} \quad (3.3)$$

$$V = \frac{127036+5620}{2} = 66328N \quad (3.4)$$

$$J = J_u t = 2\pi r^3 t = 2 \cdot \pi \cdot (0,120)^3 \cdot t = 0,01086t \text{ m}^4 \quad (3.5)$$

$$\tau' = \frac{28252,5}{0,01086t} \cdot 0,120 = \frac{312182,3}{t} \quad (3.6)$$

$$\tau'' = \frac{66328}{0,754t} = \frac{84243,44}{t} \quad (3.7)$$

Realizando-se a soma vetorial das tensões encontradas, tem-se:

$$\sqrt{\left(\frac{312182,3}{t}\right)^2 + \left(\frac{84243,44}{t}\right)^2} = \frac{324339,62}{t} \text{ Pa} \quad (3.8)$$

Com a tensão resultante conhecida, calcula-se a garganta do cordão para que a tensão do metal de solda seja suficiente. Será utilizada a tensão de escoamento e de resistência do metal de solda depositado por um eletrodo AWS E 7018 sendo de 399 e 482 MPa respectivamente.

Da norma AWS D 1.1 tem-se que a tensão permissível não deve exceder 30% da tensão de resistência do metal depositado, e que a amplitude de tensão admissível de fadiga dada pelas curvas 'S-N' da Figura 2.11 da norma AWS D 1.1 de 2010 também não pode ser ultrapassada. Assim tem-se:

$$0,3 \cdot 482 = 144,6 \text{ MPa} \quad (3.9)$$

que é a tensão permissível do metal de solda.

A amplitude de tensão permissível para a junta é obtida através da identificação da categoria de esforço aplicado, mostrada na Tabela 2.5 da norma AWS D 1.1 de 2010. Na categoria F é onde ocorre cisalhamento na garganta de soldas de filete. Assim, na Figura 2.11 da norma, chega-se à amplitude de 55 Mpa para uma vida de 7 milhões de ciclos, o que corresponde a 10 anos de funcionamento do dosador, portanto, com um fator de segurança de 2 tem-se:

$$\frac{324339,62}{t} = \frac{55000000}{2} = 0,01179 \text{ m} \cong 12 \text{ mm} \quad (3.10)$$

Como o desenho do eixo dosador pede que a solda seja realizada em um chanfro de 20 mm com o reforço de um filete de 20 mm de perna, a solda é satisfatória para a condição proposta.

3.1.2. Cálculo das soldas dos braços de acionamento

Para o cálculo das soldas do braço de acionamento, deve-se levar em conta o novo formato, que é mostrado na Figura 3.2. Assim, o cálculo é realizado da seguinte forma, levando-se em conta que o peso do bloco é de 127036 N, sua distância até o centro do eixo é de 444 mm e o peso de todos os 6 (seis) braços de dosagem é de 68000 N, posicionado a 18 mm do centro do eixo:

$$M_t = (127036 \cdot 0,444) + (68000 \cdot 0,018) = 57628 \text{ Nm} \quad (3.11)$$

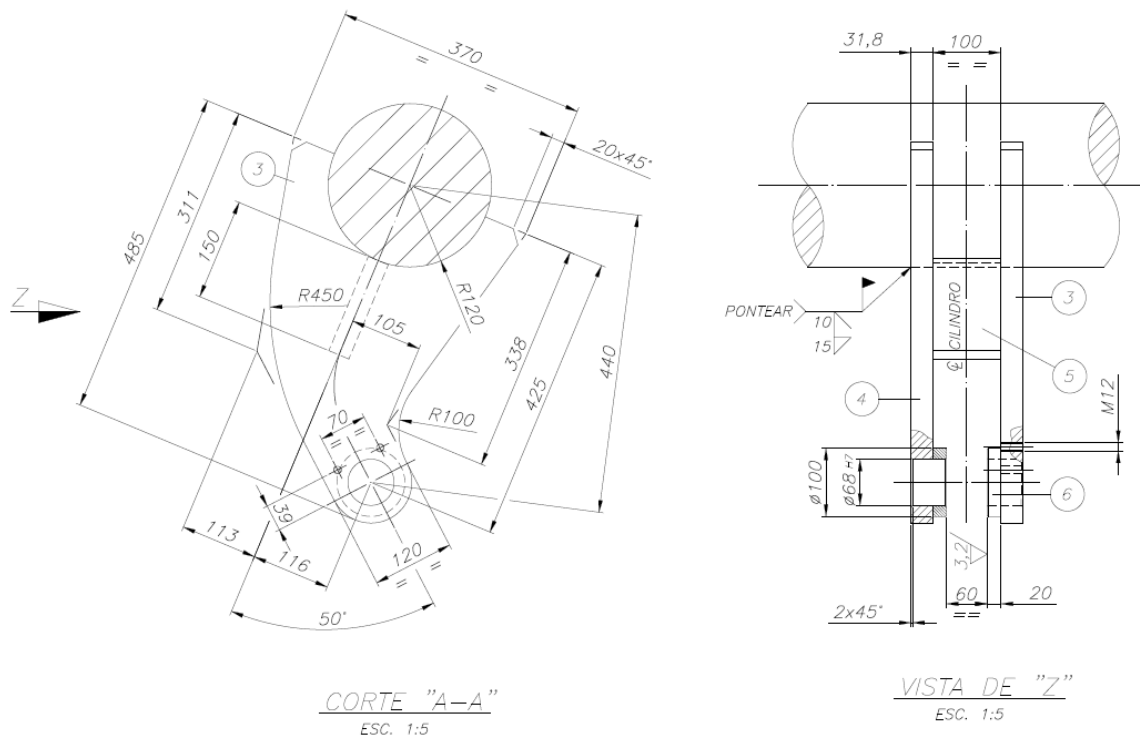


Figura 3.2: Braço do acionamento hidráulico.

Como são dois semi-círculos soldados por braço e dois cilindros de acionamento, cada solda suportará:

$$M = \frac{M_t}{4} = \frac{57628}{4} = 14407 \text{ Nm} \quad (3.12)$$

A partir da teoria de dimensionamento de cordão solicitado em torção, tem-se:

$$A = \frac{1,414\pi hr}{2} = \frac{1,414.\pi.t.0,120}{2.0,707} = 0,377t \text{ m} \quad (3.13)$$

$$V = \frac{127036+68000}{4} = 48759N \quad (3.14)$$

$$J = J_u t = \pi r^3 t = \pi . 0,120^3 . t = 0,0054t \text{ m}^4 \quad (3.15)$$

$$\tau' = \frac{14407}{0,0054t} . 0,120 = \frac{320155,5}{t} \quad (3.16)$$

$$\tau'' = \frac{48759}{0,377t} = \frac{129334,2}{t} \quad (3.17)$$

Realizando-se a soma vetorial das tensões encontradas, tem-se:

$$\sqrt{\left(\frac{320155,5}{t}\right)^2 + \left(\frac{129334,2}{t}\right)^2} = \frac{345292,5}{t} \quad (3.18)$$

Assim tem-se:

$$\frac{345292,5}{t} = \frac{5500000}{2} = 0,013 \text{ m} \quad (3.19)$$

Como a dimensão da garganta necessária para suportar o esforço é de 13 mm e a garganta do cordão especificada no projeto é 17,7, a solda é satisfatória para a condição proposta. Observa-se, porém, que a simbologia utilizada está errada, pois a solda deve ser realizada dos dois lados externos do braço de acionamento, e não apenas em um lado, conforme é mostrado na Figura 3.3.

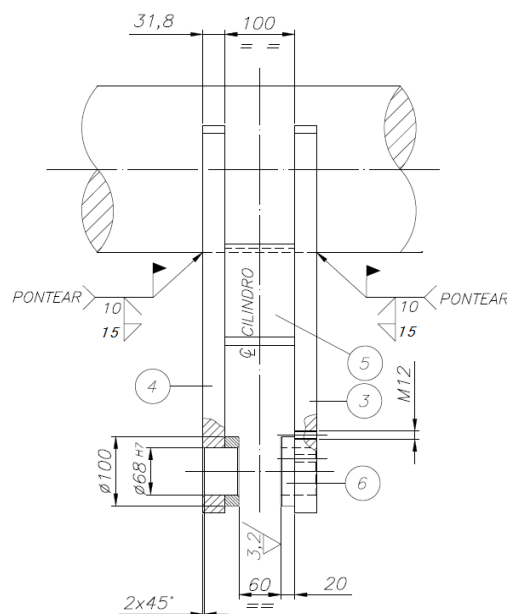


Figura 3.3: Braço do acionamento hidráulico revisado.

3.1.3. Cálculo das dimensões das soldas de fixação da base

Para a determinação das dimensões dos cordões de fixação da base, são necessárias algumas considerações, como:

- Tensões uniformemente distribuídas;
- Para tensão normal devido ao momento fletor, a força atua fora do plano da solda;
- Tensão resultante é a soma vetorial das tensões individuais.

Observando a Figura 3.4, pode-se também realizar algumas simplificações:

- Todos os centros de massa posicionam-se dentro da área dos apoios, tornando os momentos gerados pelas forças verticais desprezíveis;
- A ancoragem do cilindro hidráulico se dá na própria peça, o que torna a reação do mesmo um esforço interno;
- A posição de espera do dosador gera menor esforço ao receber o bloco que a posição de entrega do bloco;
- A condição mais severa de esforços é a posição de entrega, pois nessa posição o bloco rola na mesa do dosador e se choca com a espera de fim de curso, gerando um alto impacto. A componente vertical do impacto se posiciona dentro da área de apoio, gerando momento desprezível, já a componente horizontal é o único esforço solicitante gerador de tensões significativas.

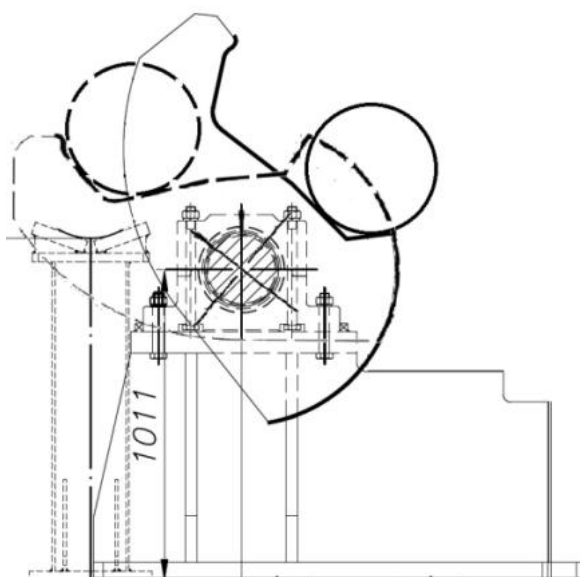


Figura 3.4: Dosador de blocos (vista lateral).

Com essas simplificações tem-se a Figura 3.5:

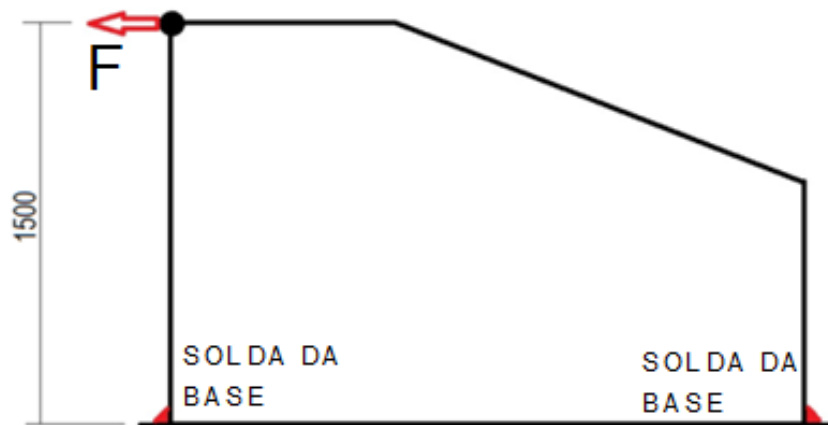


Figura 3.5: Simplificação da base do dosador com esforço atuante.

A carga considerada para o cálculo das dimensões dos cordões leva em conta que o bloco rola e atinge apenas um braço do dosador, transferindo essa carga para o eixo, que por sua vez transfere a apenas um mancal e sua base. Com isso a carga F mostrada na Figura 3.5 é de 127kN.

Considerando os inseridos metálicos chumbados no piso que são mostrados na Figura 3.6, as soldas devem ser realizadas apenas nos cantos da base, conforme mostra a Figura 3.7. Suas dimensões serão 150 x 100 mm nos quatro cantos:

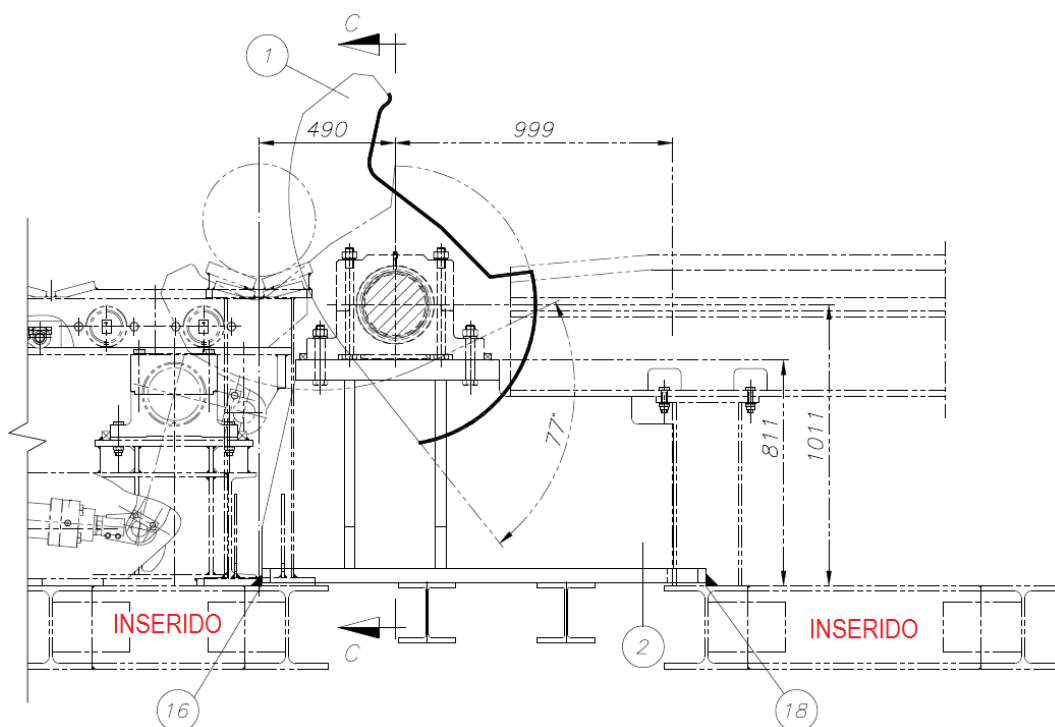


Figura 3.6: Vista lateral do dosador exibindo os inseridos metálicos existentes no piso.

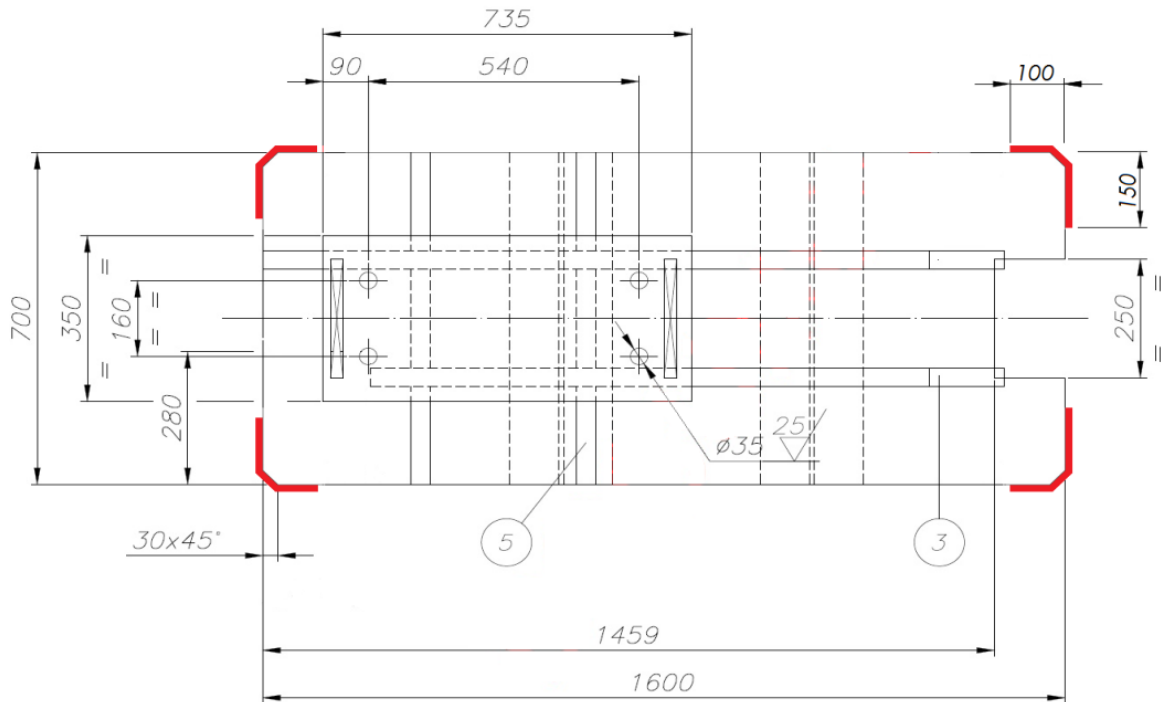


Figura 3.7: Região de realização das soldas.

Observando-se o lado direito da Figura 3.7, o momento de inércia das soldas na vertical é:

$$I_{VERT} = \frac{2.150.t^3}{12} \cong 0 \quad (3.20)$$

Já na parte inferior da figura, tem-se as duas soldas de 100 mm, que geram um momento de inércia:

$$I_{HORIZ} = \frac{t.(2.100)^3}{12} = 666666,67t \text{ mm}^4 \quad (3.21)$$

Com isso, tem-se condição de calcular o momento de inércia da figura formada pelos cordões de solda, sendo:

$$I_{Y_{CG}} = 2[(I_{HORIZ} + A.r^2) + (I_{VERT} + A.r^2)] \quad (3.22)$$

$$I_{Y_{CG}} = 2[(666666,67t + A.0^2) + (0 + (2.150.t).800^2)] = 385333333,3t \text{ mm}^4 \quad (3.23)$$

Com isso pode-se calcular σ_y e τ no cordão de solda:

$$\sigma_y = \frac{M}{I} c = \frac{127036.1500}{385333333,3t} 1600 = \frac{791,2}{t} \text{ MPa} \quad (3.24)$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{127036}{1000t} = \frac{127}{t} \text{ MPa} \quad (3.25)$$

Realizando-se a soma vetorial das tensões encontradas, tem-se:

$$\sqrt{\left(\frac{791,2}{t}\right)^2 + \left(\frac{127}{t}\right)^2} = \frac{1}{t}\sqrt{625997,4 + 16129} = \frac{801,3}{t} \approx \frac{801}{t} \text{ MPa} \quad (3.26)$$

Com a tensão resultante conhecida, calcula-se a garganta do cordão para que a tensão do metal de solda seja suficiente. Será utilizado um coeficiente de segurança de 2, a tensão de escoamento e de resistência do metal de solda depositado por um eletrodo AWS E 7018 é de 399 e 482 MPa respectivamente.

Como o carregamento mostrado acima é o pior caso, e é cíclico saindo de um carregamento nulo chegando até ele e retornando a nulidade novamente, tem-se a variação do carregamento aplicado no equipamento. Assim, segundo a norma AWS D 1.1 tem-se que a tensão permissível não deve exceder 30% da tensão de resistência do metal depositado, e que a amplitude de tensão admissível de fadiga dada pelas curvas 'S-N' da Figura 2.11 da norma também não pode ser ultrapassada. Assim tem-se:

$$0,3 \cdot 482 = 144,6 \text{ MPa} \quad (3.27)$$

que é a tensão permissível do metal de solda.

A amplitude de tensão permissível para a junta é obtida através da identificação da categoria de esforço aplicado, mostrada na Tabela 2.5 da norma AWS D 1.1 de 2010, que é categoria F, onde ocorre cisalhamento na garganta de soldas de filete. Assim, na tabela 2.11 da norma, chega-se à amplitude de 55 Mpa para uma vida de 7 milhões de ciclos, o que corresponde a 10 anos de funcionamento do dosador, portanto:

$$\frac{801}{t} = \frac{55}{2} = 29,2 \text{ mm} \quad (3.28)$$

Aplicando-se a relação entre a garganta e a perna, tem-se a dimensão da perna do cordão:

$$h = \frac{29}{0,707} = 41,2 \text{ mm} \quad (3.29)$$

3.1.4. Cálculo da solda da base do cilindro hidráulico

Conforme pode ser visto na Figura 3.8, o ângulo entre o cilindro hidráulico de acionamento e a horizontal é de $22,25^\circ$. Assim, uma força no cilindro de $135595,3$ N é decomposta em suas componentes vertical e horizontal resultando em $49592,6$ N e $121220,6$ N, respectivamente.

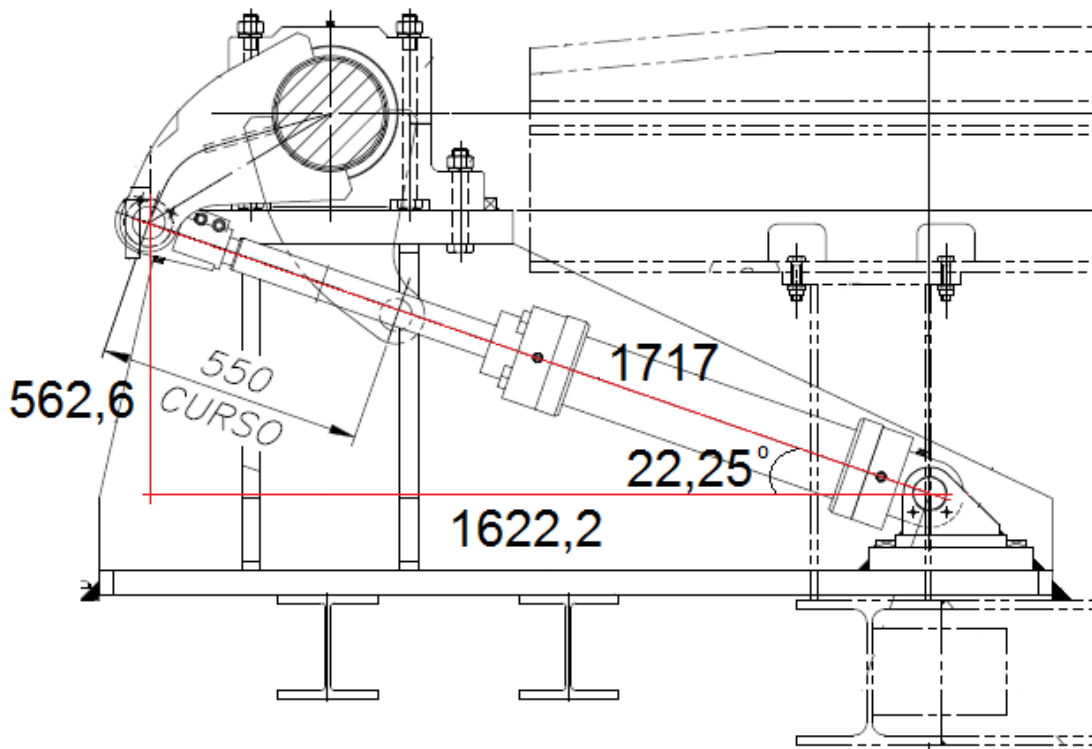


Figura 3.8: Posicionamento do cilindro de acionamento.

Como a força vertical é de compressão, a solda será dimensionada para a carga horizontal na base do cilindro de acionamento. Pode-se observar na Figura 3.9 que a distância da carga à solda é de 110 mm.

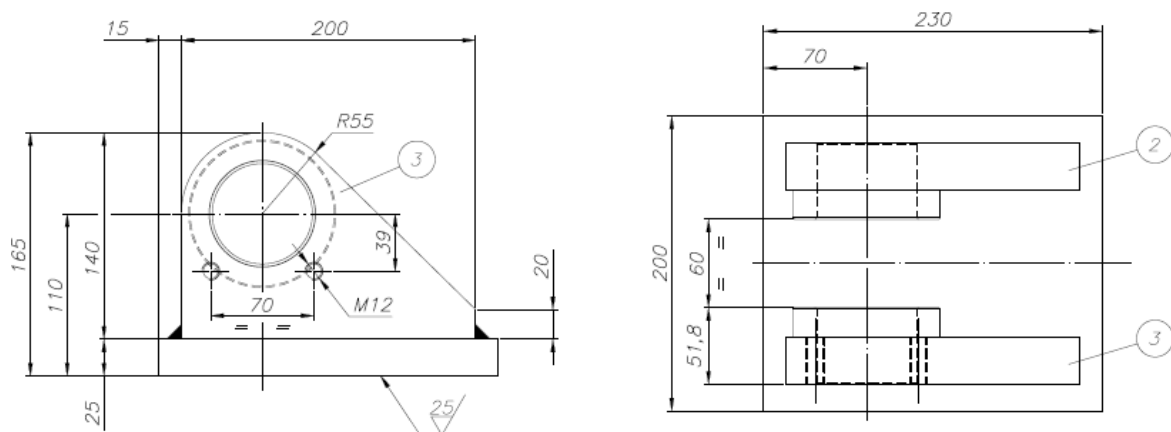


Figura 3.9: Base do cilindro hidráulico de acionamento do dosador de blocos.

$$M_t = (121220,6 \cdot 110) = 13334266 \text{ Nm} \quad (3.30)$$

$$I_{VERT} = \frac{200 \cdot t^3}{12} \cong 0 \quad (3.31)$$

$$I_{HORIZ} = \frac{t \cdot (230)^3}{12} = 1013916,7t \text{ mm}^4 \quad (3.32)$$

$$I_{YCG} = 2[(1013916,7t + A \cdot 0^2) + (0 + 2645000t)] = 7317833,4t \text{ mm}^4 \quad (3.33)$$

Com isso pode-se calcular σ_y e τ no cordão de solda:

$$\sigma_y = \frac{M}{I} c = \frac{13334266}{7317833,4t} 160 = \frac{291,5}{t} \text{ MPa} \quad (3.34)$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{121220,6}{2 \cdot t \cdot (200+230)} = \frac{140,9}{t} \text{ MPa} \quad (3.35)$$

Realizando-se a soma vetorial das tensões encontradas, tem-se:

$$\sqrt{\left(\frac{291,5}{t}\right)^2 + \left(\frac{140,9}{t}\right)^2} = \frac{1}{t} \sqrt{84972,3 + 19852,8} = \frac{323,77}{t} \approx \frac{324}{t} \text{ MPa} \quad (3.36)$$

Segundo a norma AWS D 1.1 tem-se que a tensão permissível não deve exceder 30% da tensão de resistência do metal depositado, e que a amplitude de tensão admissível de fadiga dada pelas curvas 'S-N' da figura 2.11 da norma também não pode ser ultrapassada. Assim tem-se:

$$0,3 \cdot 482 = 144,6 \text{ MPa} \quad (3.37)$$

que é a tensão permissível do metal de solda.

A amplitude de tensão permissível para a junta é obtida através da identificação da categoria de esforço aplicado, mostrada na tabela 2.5 da norma AWS D 1.1 de 2010, que é categoria F, onde ocorre cisalhamento na garganta de soldas de filete. Assim, na tabela 2.11 da norma, chega-se à amplitude de 55 Mpa para uma vida de 7 milhões de ciclos, o que corresponde a 10 anos de funcionamento do dosador, portanto:

$$\frac{324}{t} = \frac{55}{2} = 11,8 \text{ mm} \quad (3.38)$$

3.2. Confeção da EPS

Esta etapa consiste em descrever como foram realizadas as EPS para as soldas realizadas na montagem da nova estrutura. Portanto, a partir dos desenhos do projeto e disponibilidade de recursos na VSB, tem-se os dados da Tabela 3.1:

Tabela 3.1: Dados das soldas a serem realizadas.

Soldas a serem realizadas					
Solda	Tipo de junta	Metal de base	Espessuras	Posição de soldagem	Processo de soldagem
Base	Sobreposta	Chapa de aço ASTM A 36;	50 mm	2F	SMAW
		Perfil de aço ASTM A 572 Gr 50	19 mm		
Braço de acionamento	Ângulo (90°)	Chapa de aço ASTM A 36;	32 mm	2F e 5F	
		Barra redonda SAE 1020	Ø 240 mm		
Base do cilindro	Sobreposta	Chapa de aço ASTM A 36;	50 mm	2F	
		Chapa de aço ASTM A 36;	25 mm		

Com estes dados iniciais iniciou-se a pesquisa na norma AWS D1.1 para determinar as variáveis essenciais e as condições de aplicação do processo. Inicialmente verificou-se a composição química, as propriedades mecânicas dos aços ASTM A 36 e ASTM A 572 Gr 50 e se os mesmos podem ser soldados.

Como mostrado na Tabela 4.8 da norma AWS D 1.1, qualquer aço do grupo II pode ser soldado com qualquer aço do grupo II, portanto o aço ASTM A 36, pertencente ao grupo II, pode ser soldado com o aço ASTM A 572 Gr 50, também pertencente ao grupo II. Os grupos de aços são mostrados na Tabela 3.1 da norma.

Para a utilização do processo SMAW, é preciso verificar se o mesmo é contemplado pela norma e se esse processo pode ser utilizado para soldar os aços do grupo II, onde se encontram o ASTM A 36 e o ASTM A 572 Gr 50. Esta verificação é feita na Tabela 3.1 da norma.

Podendo o processo ser utilizado como visto na Tabela 3.1 da norma, parte-se para a escolha do consumível, que também é indicado pela norma na Tabela 3.1.

Foi escolhido o Eletrodo revestido AWS E 7018 de 4,0 mm de diâmetro por três motivos:

- Ser indicado como pré-qualificado para a soldagem dos aços em questão;
- Por ser, segundo a ESAB, “a versão mais moderna do eletrodo de baixo hidrogênio” (Apostila de eletrodos revestidos / Cleber Fortes, ESAB/BR, 2005), pois como as espessuras são altas, o resfriamento é mais acelerado, aumentando as chances de trincas de hidrogênio.
- Por questões econômicas, pois esse eletrodo já é comprado pela VSB e fornecido para trabalhos de solda, não necessitando assim a compra de outro tipo de eletrodo.

As propriedades químicas e mecânicas do eletrodo AWS E 7018, assim como suas características de processo, estão mostradas na norma AWS 5.1:

Observando a Tabela 1 da norma AWS 5.1, conclui-se que o eletrodo permite soldagem em todas as posições, e que a corrente de soldagem pode ser alternada ou contínua com o eletrodo ligado ao pólo positivo.

Como o contrato de mão de obra da VSB contempla fontes transformadoras retificadoras de característica estática “corrente constante”, para a soldagem com eletrodo revestido, a corrente de soldagem utilizada será contínua. Assim, observando o catálogo de consumíveis da ESAB, tem-se a faixa de corrente indicada pelo fabricante do eletrodo, que é de 140 a 195 Ampéres.

Observando-se a Tabela A3 da norma AWS 5.1, tem-se também a faixa de corrente indicada para eletrodos AWS E 7018, que é de 150 a 220 Ampéres.

Escolheu-se utilizar uma corrente mais alta para que o resfriamento pudesse ser retardado, diminuindo assim, a taxa de resfriamento da solda, pois as peças a serem soldadas possuem uma grande espessura, o que acelera o resfriamento. Então com as faixas de correntes propostas pela ESAB e pela AWS 5.1, utilizou-se a corrente na faixa de 180 a 195 Amperes. A tensão, deve se manter dentro da faixa indicada pelo fabricante, que é de 20 a 30 Volts. A velocidade de soldagem deve se manter entre 15 e 25 cm/min.

Com esses dados pode-se calcular o fator de trabalho para as máquinas de solda a serem utilizadas, já que as mesmas possuem as características abaixo:

- Fabricante: Bambozzi;
- Tensão de alimentação: 440 Volts;
- Faixa de corrente: 8 a 430 Amperes;
- Fator de trabalho / corrente: 60% / 300 A.

$$0,6 * 300^2 = C_{t_2} * 195^2 \therefore C_{t_2} = 1,42 \quad (3.39)$$

Ou seja, a máquina de solda utilizada pode realizar soldas continuamente sem dano algum à mesma.

Após estas definições, segue-se para a definição da temperatura mínima de pré-aquecimento e interpasse, que deve ser definida com base nos metais de base e processo de soldagem utilizado.

A Tabela 3.2 da norma AWS D 1.1 mostra que para os aços ASTM A 36 e ASTM A 572 Gr 50, com espessura do membro mais grosso entre 38 e 65 mm, soldados pelo processo SMAW com eletrodo de baixo hidrogênio, a temperatura mínima de pré-aquecimento e interpasse é de 65° C.

Para a espessura qualificada, toma-se a tabela abaixo e verifica-se qual o tamanho do filete a ser soldado, se é em chapa ou tubo e qual a espessura mínima para a qualificação. Temos uma solda de filete de múltiplos passes, tamanho mínimo de 30 mm (espessura da chapa mais fina), na posição horizontal que deve ser testada em uma junta com chapas de espessuras iguais às que serão soldadas na prática, observando que a espessura mínima deve ser superior a 3,2 mm, conforme mostra a nota “a” da Tabela 4.4 da norma AWS D 1.1.

Como tem-se apenas duas posições de soldagem, que são a horizontal e a vertical, precisa-se apenas de duas soldas para a EPS, na qual deverão ser feitas macrografias em 3 (2F) e 4 (5F) faces. Com isso, tem-se qualificadas quaisquer espessuras acima de 3,2 mm e passes de no mínimo 15 mm de perna, conforme testado.

Para que se completem os dados para o preenchimento da EPS, basta apenas especificar a qualificação para posição de soldagem, que para as soldas a serem realizadas, de filete nas posições horizontal e vertical, a classificação deverá ser 2F e 5F, conforme mostra a Tabela 4.1 da norma AWS D 1.1.

Agora tem-se todas as variáveis essenciais especificadas, então à partir do momento em que os testes comprovem a boa aplicabilidade da EPS e esta for qualificada, não poderão haver variações diferentes do que as permitidas pela norma, sob pena de requalificação. A Tabela 4.5 da norma AWS D 1.1 mostra quais são as alterações nas variáveis essenciais que requerem requalificação.

3.3. Fabricação

Ao verificar as peças que seriam montadas durante a parada de manutenção, foi observado que havia uma interferência na altura das mesmas, não sendo possível a montagem de quatro delas. Assim foi repassado à engenharia de projeto uma proposta de solução para que pudesse ser avaliada. A proposta era cortar com maçarico na altura das peças realizando os recortes necessários para o encaixe das peças. A engenharia de projetos questionou se não era possível realizar o corte na estrutura fixa da mesa BG 200, devido ao fato de a espessura das peças ser muito menor que a espessura das bases. Foi então acordado, após discussão, que apesar das espessuras serem maiores, o processo de corte com o maçarico poderia ser realizado sem problemas e com qualidade nas peças das bases. Essa escolha se deu principalmente devido às peças da estrutura fixa da mesa de abastecimento BG200 oferecerem posições muito ruins para o corte, com muita interferência de outras peças e indisponibilidade de movimentação.

Na semana anterior à parada de manutenção da laminação, foram realizados os cortes das peças das bases conforme Figura 3.10:

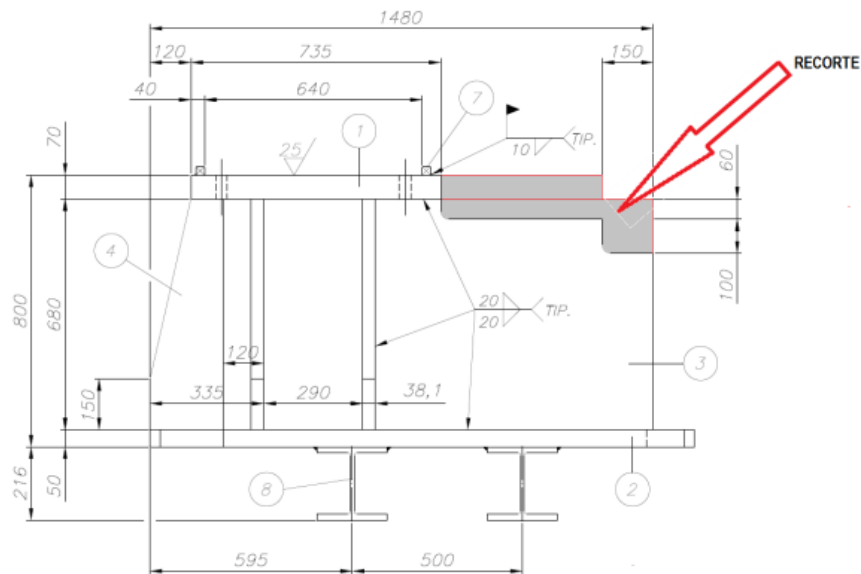


Figura 3.10: Recorte realizado nas bases para viabilizar encaixe.

Os maçaricos utilizados foram montados com bicos número 8 devido as espessura das chapas a serem cortadas apresentarem 70, 50 e 30 mm de espessura. As vazões dos gases foram reguladas conforme a espessura mais grossa, mantendo nos manômetros as pressões de $0,55 \text{ kgf/cm}^2$ para o acetileno e $3,5 \text{ kgf/cm}^2$ para o oxigênio.

A montagem da nova estrutura do dosador da entrada da preparação de blocos da laminação ocorreu dentro do planejado e sem grandes problemas. As peças da estrutura foram posicionadas, niveladas e após o nivelamento o eixo do dosador foi montado sobre a nova estrutura e alinhado. A Figura 3.11 mostra a mesa BG 200 durante a execução da atividade.



Figura 3.11: Foto do equipamento durante a atividade.

Após o alinhamento, foram chamados os soldadores que realizariam o serviço de soldagem e passada a EPS a todos. Nesse momento foram repassadas todas as EPS's com os trabalhadores e ressaltada a importância do cumprimento das mesmas. A regulagem das máquinas foi realizada com supervisão do engenheiro de soldagem responsável e a distribuição dos soldadores nas peças assim como a seqüência de soldagem foram passadas aos soldadores, que cumpriram sem problemas as instruções.

A seqüência de soldagem da base é mostrada na Figura 3.12:

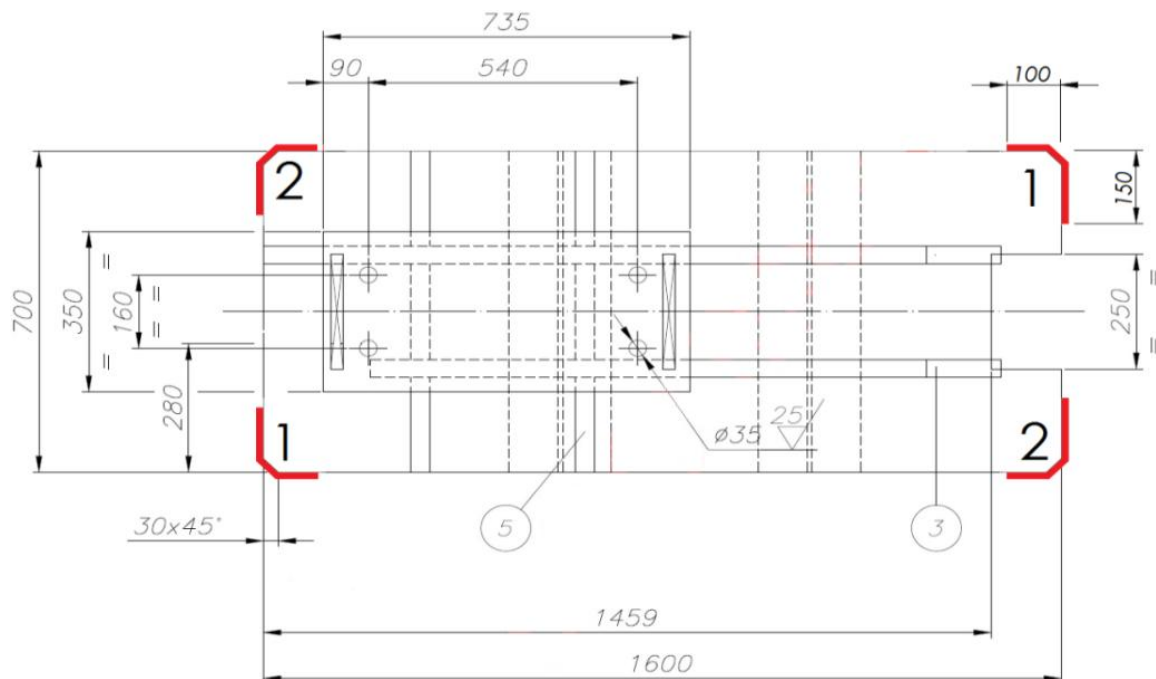


Figura 3.12: Seqüência de soldagem das bases.

Para a soldagem das peças foram alocados dois soldadores em cada base, distribuídos diagonalmente em relação à mesma e instruídos a sempre permanecerem em posições opostas uns aos outros, pois assim seria reduzido o risco de empeno das bases. Durante a soldagem, como o cordão de solda é muito largo, seriam realizadas trocas de lado de soldagem assim que os soldadores atingissem 10, 20 e 30 mm de perna do cordão, ou seja, quando estavam realizando as soldas da posição 1 da seqüência e atingissem 10 mm de perna de solda, os soldadores passariam a soldar a posição 2 da seqüência. Atingindo 10 mm na posição 2, voltariam para a posição 1 e continuariam até 20 mm de perna, e assim por diante.

Foram então travadas as peças na posição indicada pela topografia com pontos de solda e iniciado o passe de raiz.

Durante a execução do passe de raiz foi observado que um dos soldadores da quinta base estava utilizando corrente de soldagem com valor de aproximadamente 150 Amperes, quando o valor especificado pela EPS era de 190 Amperes. Foi então parada a atividade de todos os soldadores e explicada novamente a razão pela qual a corrente utilizada deveria ser mais alta. Foi argumentado pelo soldador que utilizando-se a corrente mais alta, estavam ocorrendo alguns respingos e que a limpeza posterior à soldagem seria mais morosa, mas como os outros soldadores conseguiram uma regulagem dentro dos parâmetros da EPS e sem a ocorrência demasiada de respingos, foi realizada novamente a regulagem desta máquina e testado o processo em uma chapa de sacrifício, conseguindo uma condição satisfatória num nível de corrente dentro do especificado, porém bem próximo ao limite inferior. Após a regulagem, foi solicitado que o soldador removesse o cordão depositado com corrente baixa, e então a junta de ambos os soldadores da base cinco foi aquecida com maçarico para atingir no mínimo 65°C e assim continuar a soldagem.

Por amostragem, foi selecionada uma junta para que se realizasse o ensaio de líquido penetrante no passe de raiz. Terminado o passe de raiz de uma região da base três, foi solicitado aos soldadores que interrompessem os trabalhos e um deles realizasse a limpeza para a execução do ensaio, que foi realizada com escova de aço e esmerilhadeira. Após a limpeza foi deixado que a junta abaixasse sua temperatura até a temperatura ambiente para que o ensaio fosse realizado. O ensaio foi realizado por uma empresa terceirizada que não apontou nenhuma descontinuidade na solda, sendo essa liberada imediatamente para a continuação dos trabalhos de soldagem.

A partir desse momento o serviço de soldagem foi executado durante todos os próximos 2 (dias) dias, com acompanhamento de perto da supervisão e engenharia da VSB, tendo um maior cuidado de se manter a temperatura interpasse dentro do especificado principalmente nos turnos da noite, já que o ambiente de realização das soldas era aberto e a temperatura ambiente caía muito, atingindo temperaturas em torno de 12°C. Em todo momento era

acompanhada a limpeza interpasse das soldas, para garantir uma ótima execução da mesma, reduzindo-se assim a probabilidade de ocorrência de inclusões de escória.

Após a realização das soldas das bases, foram realizadas as soldas de fixação dos braços de acionamento. Para a realização dessas soldas o eixo dosador foi girado para que a junta a ser soldada ficasse voltada para cima, conforme prevê a EPS. A sequência de soldagem dos braços é mostrada na Figura 3.13, que mostra as vistas laterais dos braços de acionamento. Portanto, realiza-se primeiro as raízes das soldas na sequência indicada pela numeração dos cordões. Após as raízes estarem prontas, realiza-se o enchimento e o acabamento também na sequência indicada pela numeração, evitando-se assim distorções no conjunto soldado.

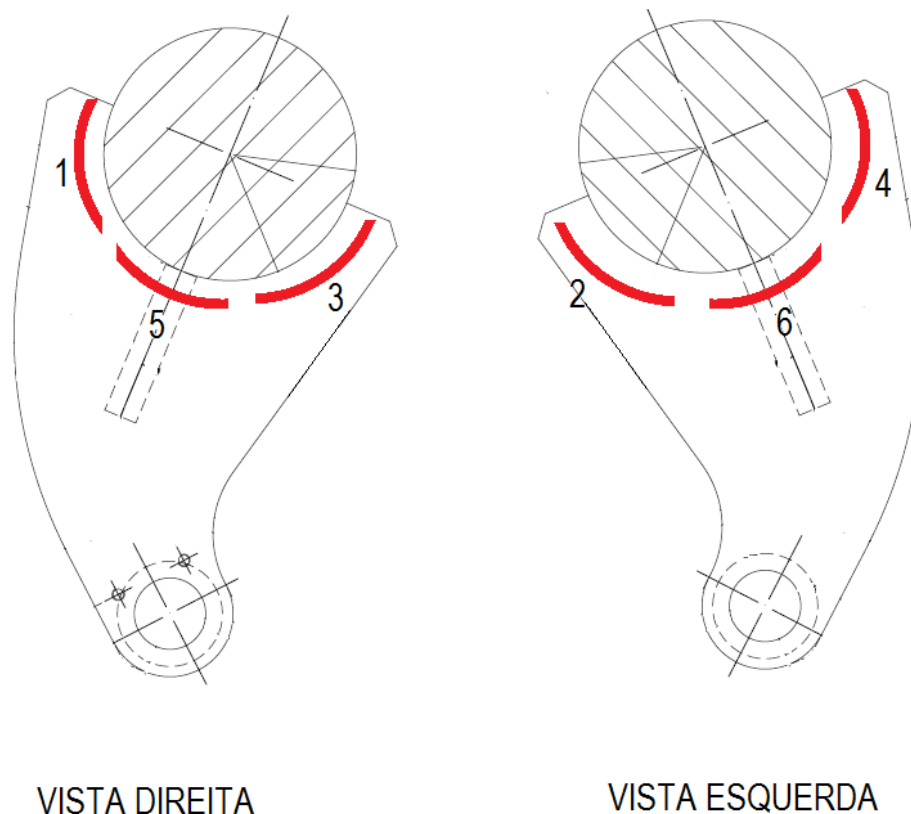


Figura 3.13: Seqüência de soldagem dos braços de acionamento.

As soldas das posições 1, 2, 3 e 4, são realizadas na posição vertical ascendente e seu comprimento é de aproximadamente 125 mm, já as soldas 5 e 6, são realizadas na posição horizontal e fecham o semi-círculo de solda. Assim como nas soldas da base, se faz necessário a troca de lados dentro da seqüência

para que a solda pudesse ser realizada sem grandes distorções das peças. Mais uma vez, as temperaturas de pré-aquecimento e interpasses foram mantidas, assim como a limpeza interpasses.

Com as bases e os braços de acionamento soldados, é vez de se montar os pinos nos cabeçotes do cilindro hidráulico e realizar o posicionamento da base do cilindro. Para o posicionamento foi utilizado topografia que conferiu o alinhamento dos braços de acionamento, encontrando uma diferença de 1 mm entre eles na horizontal quando os braços estavam na posição de entrega de blocos. Essa diferença é mínima e desprezível. Então foram posicionadas as bases dos cilindros de acionamento, marcadas as suas posições e ponteadas. Após o ponteamto, os cilindros foram desmontados e a soldagem iniciada.

Nesta solda a seqüência de soldagem foi estipulada conforme a Figura 3.14:

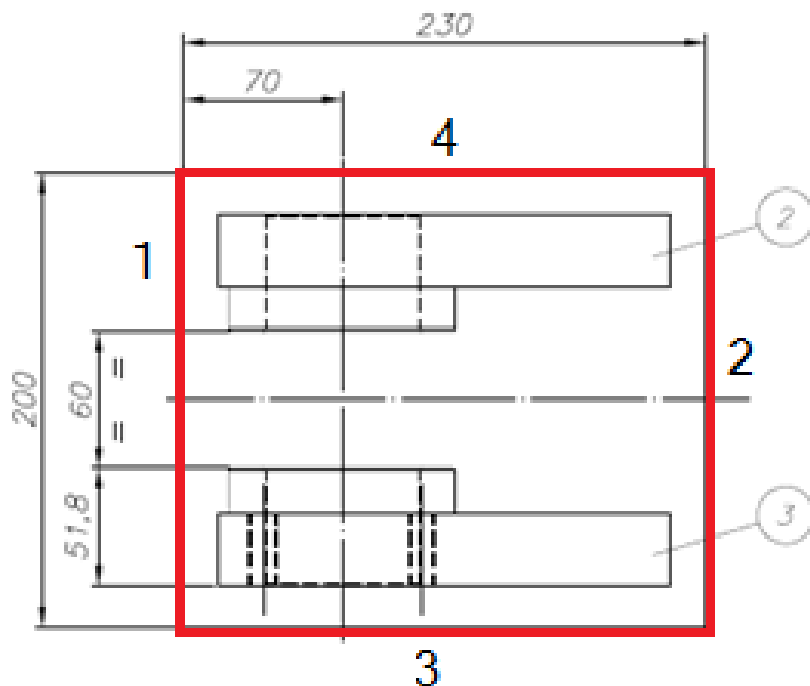


Figura 3.14: Seqüência de soldagem das bases dos cilindros de acionamento.

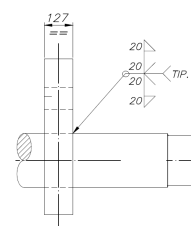
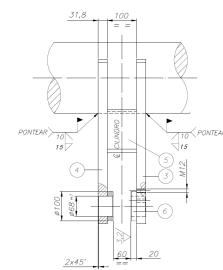
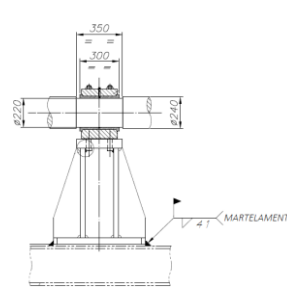
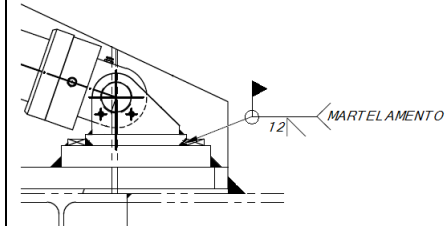
Os passes das soldas foram realizados seguindo a numeração mostrada na Figura 3.14, primeiro as quatro raízes e depois os passes de enchimento e acabamento, sempre seguindo a ordem da numeração.

4. RESULTADOS

4.1. Dimensionamento

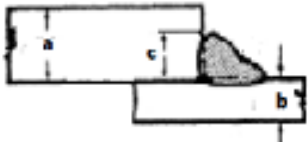
Utilizando a metodologia descrita foram determinadas as dimensões dos cordões de solda, conforme mostrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Dimensões das soldas realizadas.

Soldas realizadas			
Solda	Tipo	Dimensões	Desenho
Braço	Solda em T (90°)	Chanfro 20 x 20 e reforço com filete de 20 mm de perna.	
Braço de acionamento	Solda em T (90°)	Chanfro 10 x 10 e reforço com filete de 15 mm de perna.	
Base	Sobreposta filete	Perna 41 mm	
Base do cilindro	Sobreposta com chanfro	Perna 12 mm	

4.2. EPS's

As EPS's confeccionadas e utilizadas na atividade estão mostradas abaixo:

EPS - ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM		Nº: 001					
		REV.: 00					
		FOLHA: 1/1					
NORMA / ANO: AWS D1.1 / 2010		Nº RQPS / REVISÃO: VSB 001/16/REV.0					
PROCESSO DE SOLDAGEM 1: SMAW		TIPO: Manual					
PROCESSO DE SOLDAGEM 2: NA		TIPO: NA					
METAL DE BASE		DETALHE DA JUNTA 					
DESCRIÇÃO: CHAPA	MATERIAL: AÇO ASTM-A36						
GRUPO: II	GP QUALIFICADO: I x I, I x II, II x II						
ESPESSURA: 50 mm	ESP. QUALIFICADA: 3,17 a ILIMITADO						
DESCRIÇÃO: PERFIL	MATERIAL: AÇO ASTM-A572						
GRUPO: II	GP QUALIFICADO: I x I, I x II, II x II						
ESPESSURA: 19 mm (ABA)	ESP. QUALIFICADA: 3,17 a ILIMITADO						
TRATAMENTO TÉRMICO: NÃO	-	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA				
COBRE JUNTA: NÃO	a	50 mm	+ ou - 1 mm				
TEMPERATURA DE PRÉ AQUECIMENTO: ESP. > 38mm = Min 65°C	b	19 mm	+ ou - 0,8 mm				
TEMPERATURA DE INTERPASSE: < - 250 °C	c	41 mm	+ 5 mm				
CONSUMIVEL							
PASSE	CLASSIFICAÇÃO AWS	ESPECIFICAÇÃO SFA	FNº	ANº	DIÂM. (mm)	FABRICANTE	MARCA COMERCIAL
RAIZ	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
ENCHIMENTO	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
ACABAMENTO	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
MODO DE TRANSFERÊNCIA: GLOBULAR							
POSIÇÃO DE SOLDAGEM				GÁS DE PROTEÇÃO			
POSIÇÃO: 2 F				GÁS: NA		VAZÃO: NA	
PROGRESSÃO: NA				MISTURA: NA			
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
PASSE	CORRENTE/ POLARIDADE	FAIXA DE AMPERAGEM (A)	FAIXA DE TENSÃO (V)		FAIXA VELOCIDADE (cm/min)		
RAIZ	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
ENCHIMENTO	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
ACABAMENTO	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
TÉCNICA							
LIMPEZA INICIAL: ESMERILHAMENTO/ESCOVAMENTO				ALÍVIO DE TENSÕES: REALIZAR MARTELAMENTO EM TODOS OS PASSES			
LIMPEZA INTERPASSE: ESMERILHAMENTO/ESCOVAMENTO							
LIMPEZA FINAL: ELIMINAR AS DESCONTINUIDADES, SE NECESSÁRIO, PERMITIDO O ESMERILHAMENTO, ATENDENDO OS CRITÉRIOS DA NORMA AWS D1.1							
OBSERVAÇÕES:							
1 - CASO A PEÇA ESTEJA ÚMIDA, NECESSÁRIO PRÉ AQUECIMENTO DE NO MÍNIMO 50°C;							
2 - ANTES DA SOLDAGEM ELIMINAR AS CONTAMINAÇÕES TAIS COMO: OXIDAÇÃO, OLEO, GRAXA, TINTA OU OUTROS TIPOS QUE POSSAM INTERFERIR NA QUALIDADE DA SOLDA.							
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:				CLIENTE:			
HELTON MÁRVILO PIMENTA NUNES C.R.E.A. N.º. 99167 / D - MG DATA: 22/08/2016							

EPS - ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM		Nº: 003					
		REV.: 00 FOLHA: 1/1					
NORMA / ANO: AWS D1.1 / 2010		Nº RQPS / REVISÃO: VSB 003/16/REV.0					
PROCESSO DE SOLDAGEM 1: SMAW		TIPO: Manual					
PROCESSO DE SOLDAGEM 2: NA		TIPO: NA					
METAL DE BASE		DEFINIÇÃO DA JUNTA					
DESCRIÇÃO: CHAPA	MATERIAL: AÇO ASTM-A36						
GRUPO: I	GP QUALIFICADOS: I x I, I x II, II x II						
ESPESSURA: 32 mm	ESP. QUALIFICADA: 3,17 a ILIMITADO						
DESCRIÇÃO: BARRA ϕ	MATERIAL: AÇO SAE 1020						
GRUPO: I	GP QUALIFICADOS: I x I, I x II, II x II						
ESPESSURA: ϕ 240 MM	ESP. QUALIFICADA: 3,17 a ILIMITADO						
TRATAMENTO TÉRMICO: NÃO	-	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA				
COBRE JUNTA: NÃO	a	10 mm	+ 5 mm				
TEMPERATURA DE PRÉ AQUECIMENTO: ESP. > 38mm = Min 65°C	b	15 mm	+ ou - 0,8 mm				
TEMPERATURA DE INTERPASSO: < = 250 °C	c	32 mm	+ ou - 1 mm				
CONSUMÍVEL							
PASSE	CLASSIFICAÇÃO AWS	ESPECIFICAÇÃO SFA	F Nº	A Nº	DIÂM. (mm)	FABRICANTE	MARCA COMERCIAL
RAIZ	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
ENCHIMENTO	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
ACABAMENTO	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
MODO DE TRANSFERÊNCIA: GLOBULAR							
POSIÇÃO DE SOLDAGEM		GÁS DE PROTEÇÃO					
POSIÇÃO: 2F e 5F		GÁS: NA		VAZÃO: NA			
PROGRESSÃO: ASCENDENTE		MISTURA: NA					
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
PASSE	CORRENTE/ POLARIDADE	FAIXA DE AMPERAGEM (A)	FAIXA DE TENSÃO (V)		FAIXA VELOCIDADE (cm/min)		
RAIZ	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
ENCHIMENTO	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
ACABAMENTO	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
TÉCNICA							
LIMPEZA INICIAL: ESMERILHAMENTO/ESCOVAMENTO		ALÍVIO DE TENSÕES: REALIZAR MARTELAMENTO EM TODOS OS PASSES					
LIMPEZA INTERPASSO: ESMERILHAMENTO/ESCOVAMENTO							
LIMPEZA FINAL: ELIMINAR AS DESCONTINUIDADES, SE NECESSÁRIO, PERMITIDO O ESMERILHAMENTO ATENDENDO OS CRITÉRIOS DA NORMA AWS D1.1							
OBSERVAÇÕES:							
1 - CASO A PEÇA ESTEJA ÚMIDA, NECESSÁRIO PRÉ AQUECIMENTO DE NO MÍNIMO 50°C;							
2 - ANTES DA SOLDAGEM ELIMINAR AS CONTAMINAÇÕES TAIS COMO: OXIDAÇÃO, OLEO, GRAXA, TINTA OU OUTROS TIPOS QUE POSSAM INTERFERIR NA QUALIDADE DA SOLDA.							
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:				CLIENTE:			
HELTON MÁRMO PIMENTA NUNES C.R.E.A. N.º. 99167 / D - MG DATA: 22/06/2016							

EPS - ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM		Nº: 002					
		REV.: 00	FOLHA: 1/1				
NORMA / ANO: AWS D1.1 / 2010		Nº RQPS / REVISÃO: VSB 002/16/REV.0					
PROCESSO DE SOLDAGEM 1: SMAW		TIPO: Manual					
PROCESSO DE SOLDAGEM 2: NA		TIPO: NA					
METAL DE BASE		DETALHE DA JUNTA					
DESCRIÇÃO: CHAPA	MATERIAL: AÇO ASTM-A36						
GRUPO: II	GP QUALIFICADO\$: I x I, I x II, II x II						
ESPESSURA: 50 mm	ESP. QUALIFICADA: 3,17 a ILIMITADO						
DESCRIÇÃO: CHAPA	MATERIAL: AÇO ASTM-A36						
GRUPO: II	GP QUALIFICADO\$: I x I, I x II, II x II						
ESPESSURA: 25 mm (ABA)	ESP. QUALIFICADA: 3,17 a ILIMITADO						
TRATAMENTO TÉRMICO: NÃO	-	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA				
COBRE JUNTA: NÃO	a	25 mm	+ ou -1 mm				
TEMPERATURA DE PRÉ AQUECIMENTO: ESP. >38mm = Min 65°C	b	50 mm	+ ou -1 mm				
TEMPERATURA DE INTERPASSE: < = 250 °C	c	12 mm	+ 5 mm				
CONSUMIVEL							
PASSE	CLASSIFICAÇÃO AWS	ESPECIFICAÇÃO SFA	F Nº	A Nº	DIÂM. (mm)	FABRICANTE	MARCA COMERCIAL
RAIZ	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
ENCHIMENTO	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
ACABAMENTO	E 7018	AWS A5.1	NA	NA	4,0 mm	ESAB	OK 48.04
MODO DE TRANSFERÊNCIA: GLOBULAR							
POSIÇÃO DE SOLDAGEM				GÁS DE PROTEÇÃO			
POSIÇÃO: 2 F				GÁS: NA		VAZÃO: NA	
PROGRESSÃO: NA				MISTURA: NA			
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
PASSE	CORRENTE/ POLARIDADE	FAIXA DE AMPERAGEM (A)	FAIXA DE TENSÃO (V)		FAIXA VELOCIDADE (cm/min)		
RAIZ	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
ENCHIMENTO	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
ACABAMENTO	CC+	180 a 195	20 a 30		15 a 25		
TÉCNICA							
LIMPEZA INICIAL: ESMERILHAMENTO/ESCOVAMENTO				ALÍMIO DE TENSÕES: REALIZAR MARTELAMENTO EM TODOS OS PASSES			
LIMPEZA INTERPASSE: ESMERILHAMENTO/ESCOVAMENTO							
LIMPEZA FINAL: ELIMINAR AS DESCONTINUIDADES, SE NECESSÁRIO, PERMITIDO O ESMERILHAMENTO ATENDENDO OS CRITÉRIOS DA NORMA AWS D1.1							
OBSERVAÇÕES:							
1 - CASO A PEÇA ESTEJA ÚMIDA, NECESSÁRIO PRÉ AQUECIMENTO DE NO MÍNIMO 50°C;							
2 - ANTES DA SOLDAGEM ELIMINAR AS CONTAMINAÇÕES TAIS COMO: OXIDAÇÃO, OLEO, GRAXA, TINTA OU OUTROS TIPOS QUE POSSAM INTERFERIR NA QUALIDADE DA SOLDA;							
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:				CLIENTE:			
HELTON MÁRVILO PIMENTA NUNES C.R.E.A. N.º. 99167 / D - MG DATA: 22/08/2016							

4.3. Soldas

Ao final da atividade foi realizada uma limpeza geral das soldas e realizada uma inspeção visual final e logo a seguir um ensaio não destrutivo por líquido penetrante em 100% (cem por cento) das soldas realizadas, encontrando algumas descontinuidades superficiais (poros), conforme mostrado na Figura 4.1.

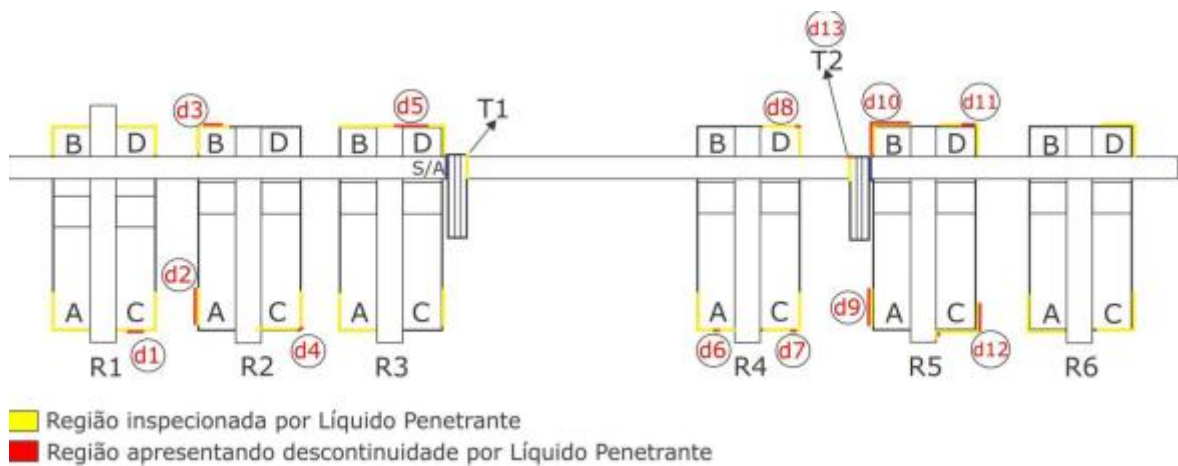


Figura 4.1: Regiões inspecionadas por líquido penetrante

A Tabela 4.2 mostra o tipo das descontinuidades encontradas nas soldas realizadas.

Tabela 4.2: Tipos de descontinuidades encontradas nas soldas.

IDENTIFICAÇÃO		DESCONTINUIDADES				LAUDO
Sodas	REGIÃO	Nº	TIPO	POSIÇÃO (mm)	DIMENSÃO (mm)	
R 01	A	---	---	---	---	AP
	B	---	---	---	---	AP
	C	D1	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	D	---	---	---	---	AP
R 02	A	D2	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	B	D3	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	C	D4	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
R 03	A	---	---	---	---	AP
	B	---	---	---	---	AP
	C	---	---	---	---	AP
	D	D5	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
R 04	A	D6	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	C	D7	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	D	D8	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
R 05	A	D9	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	B	D10	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	C	D11	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
	D	D12	PO	VER FIGURA 4.1	---	RP
R 06	A	---	---	---	---	AP
	C	---	---	---	---	AP
	D	---	---	---	---	AP
REGIÃO T1	T1	---	---	---	---	AP
REGIÃO T2	T2	D13	APO	VER FIGURA 4.1	---	RP

LEGENDA		
AP - Aprovado	FF - Falta de Fusão	VER FIGURA 4.1
RP - Reprovado	TL - Trinca Longitudinal	
NEC - Necessita de Ensaio Complementar	PO - Porosidade	
APR - Aprovado Após Reparo	APO - Agrupamento de poro	
	JSL - Junta soldada longitudinal	
	TT - Trinca Transversal	
	MO - Mordedura	
	OV - Sobreposição	
	FP - Falta de penetração	
	JSC - Junta soldada circunferencial	

A Figura 4.2 mostra uma das soldas da base terminadas.



Figura 4.2: Foto de uma das soldas da base acabada.

Algumas fotos das soldas após o ensaio por líquido penetrante são mostradas nas Figuras 4.3 a 4.12.



Figura 4.3: Descontinuidade R1 – d1.



Figura 4.4: Descontinuidade R2 – d2.



Figura 4.5: Descontinuidade R2 – d3.



Figura 4.6: Descontinuidade R2 – d4



Figura 4.7: Descontinuidade R3 – d5.



Figura 4.8: Descontinuidade R4 – d6



Figura 4.9: Descontinuidade R4 – d7.



Figura 4.10: Descontinuidade R4 – d8



Figura 4.11: Descontinuidade R5 – d11.



Figura 4.12: Região T2 com agrupamento de poros

A norma AWS D1.1 especifica os critérios de aceitação de inspeção visual e líquido penetrante, conforme itens 6.9, 6.10 e 6.14.5.

Após a observação do laudo e a verificação da Tabela 6.1 da norma AWS D 1.1, foram realizadas as correções nas soldas reprovadas pelo ensaio não destrutivo por líquido penetrante, tornando todas as soldas aprovadas sem restrições.

5. CONCLUSÃO

A realização deste trabalho foi uma tarefa relativamente complicada, pois demandou muitas discussões entre a engenharia de manutenção e a engenharia de projeto, visando o alcance do objetivo proposto, que era instalar o novo equipamento no prazo determinado e assim reduzir as paradas por falha mecânica da mesa de abastecimento. As discussões elevaram muito o nível do trabalho e o aprendizado de todos, possibilitando troca de conhecimentos e principalmente experiência.

Foi observada durante a execução da atividade a importância de se revisar o projeto a fim de se conferir todo o memorial de cálculo e principalmente, para que os instaladores possam conhecer o equipamento profundamente a fim de poderem tomar decisões que transformem problemas de montagem e instalação em caminhos mais fáceis e seguros para a execução da montagem.

Observa-se que trabalhos envolvendo soldagem de equipamentos devem ser realizados com consistência e metodologia, para que as normas e padrões de cálculo sejam seguidas e respeitadas sem que haja um gasto excessivo por parte da empresa que custeia a obra e sem que haja risco para os trabalhadores.

6. BIBLIOGRAFIA

NORTON, Robert L.; Projeto de máquinas – Uma abordagem integrada / Tradução Bookman Editora Ltda, 2013;

MISCHKE, Charles R.; Prediction of Stochastic Endurance Strength, Trans. Of ASME, Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, vol. 109, nº1, janeiro de 1987, p. 113-122;

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G..Projeto de Engenharia Mecânica / Tradução João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar – 7ª. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2005;

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 3. ed. atual. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2009;

AMERICAN WELDING SOCIETY. Structural Welding Code Steel, An American National Standard, AWS D1.1, 2010;

AMERICAN WELDING SOCIETY. Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding, AWS A 5.1, 2004;

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05: 2005;

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. LRFD Manual of Steel Construction, 3rd ed., 2001;

THE EUROPEAN UNION PER REGULATION. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue EN 1993-1-9, 2005;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios, ABNT NBR 8800, 1986;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, ABNT NBR 14762, 2001;

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Curso de Especialização em Soldagem, 2014;

LIBERTO Rodrigo Cesar N.; Vida em fadiga de aços carbono com estrutura bifásica ferrita-martensita, 2001;

DE FIGUEIREDO, Kléber Mendes; Apostila de soldagem, 2011;

JUNIOR, Luiz Paulo da Silva Cruz; CABRAL, Tércio dos Santos; Soldagem MIG dupla camada, 2008;

MODENESI, Paulo J.; Normas e Qualificação em Soldagem (Adaptado e atualizado de texto escrito pelo prof. Michael D. Hayes, 2005;

LEITE, Antônio Carlos; Interpretação das normas de qualificação de procedimento de soldagem, para o processo de eletrodo revestido conforme as normas: ASME IX, API 1104 e AWS D1.1 / 2013;

<http://www.infosolda.com.br/noticias/dicas/507-variaveis-de-soldagem-de-acordo-com-asme-ix.html> / consultado em 05/11/2016;

<http://www.cimm.com.br/portal/verbetes> / consultado em 05/11/2016;

<http://pt.slideshare.net/LaisCamargo/soldagem-com-eletrodo-revestido> / consultado em 04/11/2016;