

**UNIRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DE SOLDA

WESCLEI SILVA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Monografia apresentada á Faculdade de Engenharia Mecânica da UNIRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

**UNIRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DE SOLDA

WESCLEI SILVA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Monografia apresentada á Faculdade de Engenharia Mecânica da UNIRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

Oliveira, Wesclei Silva de
Análise de Resistência de Solda. Wesclei Silva de Oliveira –
Rio Verde Goiás: [s.n.], 2014.
50f.: il.

Monografia apresentada à UNIRV – Universidade de Rio Verde como parte dos requisitos exigidos para a conclusão do Curso de Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

1. Ligações soldadas 2. Ensaios mecânicos 3. Estruturas de aço 4. Eletrodo revestido

Análise de Resistência de Solda. Oliveira, Wesclei Silva de Oliveira. (Warley Augusto Pereira)

CDD

**UniRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANÁLISE EM RESISTÊNCIA DE SOLDA

WESCLEI SILVA DE OLIVEIRA

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do grau de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.

Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Orientador

Banca examinadora:

Prof. PAULO HENRIQUE N. PIMENTA
1º membro da banca

Prof. DANIEL FERNANDO DA SILVA
2º membro da banca

Me. João Pires Moraes

Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

RIO VERDE - GOIÁS

2014

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado a toda minha família, Especialmente aos meus irmãos a minha mãe Simone Silva Costa, e ao professor Warley Augusto Pereira que me orientou e contribuiu muito para a conclusão desta monografia, a todos que me apoiaram e motivaram na conclusão desta monografia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por estar ao meu lado sempre, por me dar saúde todos os dias, que mesmo nas horas mais difíceis sempre conseguir superar todos os obstáculos da vida. A minha mãe Simone Silva Costa pelo carinho e pela motivação de sempre e a todos os meus amigos de faculdade que foi de grande importância. É Agradeço também exclusivamente meus amigos o Florêncio Nunes de Oliveira Filho pela motivação e pelas oportunidades e experiência que me passaram, e o Arthur Viana dos Santos Neto pelas ajudas nas dificuldades das matérias que foi de grande importância para minha formação, e o Paulo Rogério Vieira meu amigo que sempre foi companheiro em todo nosso estudo e o Marcos Flávio Cardoso, todos esses amigos agradeço de coração por sempre termos sido unidos e bastante esforçados. E especialmente a minha madrinha Regina Pereira dos Santos Barros que mudou a minha vida e que me ensinou a cada dia a caminhar com minhas próprias pernas, que é minha segunda mãe que Deus colocou em minha vida, E em Especial ao meu Professor Warley Augusto Pereira que me ajudou muito na conclusão deste trabalho.

RESUMO

OLIVEIRA, W. S. **Análise de resistência de solda**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) 37f –UNIRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde 2014¹.

A soldagem tem grande importância na indústria e na construção de estruturas metálicas. Sabe-se que a solda esta em toda parte e sem ela seria praticamente impossível construir máquinas, automóveis, pontes, edifícios, além de muitas outras aplicações. Assim, nesse trabalho decidiu-se a estudar a resistência da solda em estruturas metálicas através da verificação da eficiência das equações usadas para esse fim. Para essa verificação, comparou-se os resultados teóricos com obtidos a partir de ensaio de tração em corpos de prova soldados. O ensaio de tração seguiu os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 6152, e os cálculos da norma NBR 8800 que são normas para estruturas de aço. Assim como descrito na literatura consultada, verificou-se nos ensaios de tração que a solda aplicada no corpo de prova tem uma resistência maior que a do metal de base, devido aos elementos de liga presentes na alma e no revestimento do eletrodo. Na comparação entre os ensaios de tração e os modelos matemáticos, foi possível constatar a validade dos modelos matemáticos usados na determinação da resistência de soldas em juntas de topo. Entretanto, constatou-se também que a eficiência dos modelos matemáticos depende da precisão dos dados de propriedades mecânicas fornecido para o cálculo da resistência da solda. Por fim, verificou-se que os valores calculados para a resistência da solda (R_d) ficam próximos dos resultados obtidos em ensaio de tração, porém um pouco abaixo, devido á equação usar um fator de segurança, o que não ocorre nos dados obtidos no ensaio.

PALAVRA-CHAVE: Ensaio mecânicos, estruturas de aço, eletrodo revestido, ligações soldadas.

¹ Orientador: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira. Banca Examinadora: Prof. Paulo Henrique Neves Pimenta; Prof. Daniel Fernando da Silva.

ABSTRACT

OLIVEIRA, WS. **Analysis of resistance welding**. Monograph (Undergraduate in Mechanical Engineering) 37f -UNIRV - University of Rio Verde, Rio Verde in 2014².

Welding has great importance in industry and construction of steel structures. It is known that the solder is everywhere and without it would be virtually impossible to build machines, cars, bridges, buildings, and many other applications. Thus, in this work it was decided to study the weld strength in metal structures by checking the efficiency of used for this purpose equations. To check this, we compared the theoretical results obtained from tensile test in test soldiers bodies. The tensile test followed the procedures established by the NBR 6152, and the calculations of ISO 8800 standard are standards for steel structures. As described in the literature, it was found in the tensile tests the solder applied to the specimen has a higher resistance than the base metal due to alloying elements present in the soul and in the electrode coating. Comparing the tensile tests and mathematical models, we determined the validity of the mathematical models used to determine the resistance welds in butt joints. However, it is also found that the efficiency of mathematical models depends on the accuracy of the mechanical property data provided for the calculation of the weld strength. Finally, it was found that the calculated values for weld resistance (R_d) are close to the results obtained in tensile testing, but slightly below, due to the equation using a safety factor, which does not occur in the data assay.

KEYWORD: Mechanical tests, steel structures, covered electrode, welded joints.

² Advisor: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira. Examiners: Prof. Paulo Henrique Neves Pimenta; Prof. Daniel Fernando da Silva.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Região do arco na soldagem com eletrodos revestidos.	16
FIGURA 2 - Equipamento para soldagem SMAW.....	16
FIGURA 3 - Processo de soldagem com arco submerso.	19
FIGURA 4 - Defeitos da solda.....	21
FIGURA 5 - Tipos de ligações soldadas, segundo a posição da solda em relação ao material-base. (a) Solda de entalhe e ligação de topo, (b) Soldas de filete, (c) Solda de entalhe ligação em T.....	22
FIGURA 6 - Tipos de juntas e exemplos de chanfros.	24
FIGURA 7 - Tipos ligações soldadas, segundo a posição relativa das peças.	25
FIGURA 8 - Exemplos de ligações soldadas com as respectivas simbologias e descrições.....	26
FIGURA 9 - Emendas de entalhe com chanfro em bisel ou em V. Espessuras efetivas da solda, te (garganta de solda).	26
FIGURA 10 – Solda por entalhe.....	28
FIGURA 11 – Eletrodo AWS - E6013 OK Serralheiro.....	34
FIGURA 12 – Corpos de prova usinados de seção retangular.	35
FIGURA 13 - Máquina Universal de Ensaios modelo BME.....	36
FIGURA 14 – Barra chata de 3.175 mm por 12.7 mm.....	37
FIGURA 15 – Curva de tensão x deformação do Ensaio 1.	40
FIGURA 16 – Curva de tensão x deformação do Ensaio 2.	41
FIGURA 17 – Curva de tensão x deformação do Ensaio 3.	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SMAW.....	17
TABELA 2 - Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SAW.....	20
TABELA 3 - Dimensões mínimas das gargantas de solda de entalhe com penetração parcial (NBR 8800).....	27
TABELA 4 - Propriedades Mínimas das soldas.....	28
TABELA 5 – Valores do Coeficiente Parcial de Segurança (γ_{al}), aplicado às resistências (NBR 8800).....	30
TABELA 6 – Velocidade de tensionamento.....	33

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 – Principais tipos de corpo de prova.	32
---	----

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

a) ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM.....	American Society Testing and Materials
AWS.....	American Welding Society
MR XXX.....	Aço de media resistência
NBR	Norma Brasileira
SMAW ..	Shielded Metal Arc Welding
ZTA.....	Zona Termicamente Afetada

b) LETRAS ROMANAS MINÚSCULAS

<i>b</i>	Dimensão (lado) do filete
<i>fw</i>	Tensão resistente do metal da solda
<i>fy</i>	Tensão de escoamento do metal base
<i>f</i>	Nariz do chanfro
<i>l</i>	Comprimento do filete de solda
<i>te</i>	Garganta efetiva da solda
<i>r</i>	Raio do chanfro

B) LETRAS ROMANAS MAIÚSCULAS

<i>A_w</i>	Área resistente da solda
<i>A_m</i>	Área resistente do metal base
<i>E</i>	Eletrodo
<i>Ksi</i>	Kilolibra por polegada quadrada
<i>N₂</i>	Gás Nitrogênio
<i>O₂</i>	Gás Oxigênio
<i>S</i>	Momento estático da seção transversal
<i>Vd</i>	Força cortante de cálculo

V..... Força cortante

X..... Número que se refere à posição de soldagem satisfatória

R Abertura da raiz

Y..... Número que indica o tipo de corrente e de revestimento do eletrodo

S Profundidade do chanfro/ altura entalhe

C) LETRA GREGA

α Ângulo do chanfro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	14
1.1 Introdução	14
1.2 Objetivos	14
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFIA	15
2.1 Soldagem.....	15
2.2 Principais processos de soldagem para estruturas metálicas	15
2.2.1 Soldagem com eletrodos revestidos.....	15
2.2.1.1 Tipos de Eletrodos	17
2.2.2 Soldagem ao arco submerso.....	18
2.3 Defeitos da solda.....	20
2.4 Controle e Inspeção da Solda.....	22
2.5 Classificação de soldas de eletrodo quando à posição do material de solda em relação ao material-base	22
2.6 Classificação quando à posição relativa das peças soldadas	25
2.6.1 Solda de Entalhe	25
2.6.2 Solda de topo.....	27
2.7 Resistência de juntas soldadas	28
2.7.1 Cálculo da resistência de entalhe	29
2.8 Aços estruturais padronizados pela ABNT.....	31
2.9 Ensaio de Tração.....	31
2.9.1 Tipos de Corpo de Prova.....	32
2.9.2 Dimensões do corpo de prova.....	32
2.9.3 Velocidade do Ensaio	32
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Materiais	34
3.2 Métodos.....	37
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Análise de Resistência de Cálculo	39
4.2 Ensaio de tração.....	40

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....	44
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	46

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

Quando se trata dos processos de soldagem em estruturas de aço como vigas, é de suma importância o conhecimento da resistência mecânica destas soldas. Um projeto, ou até uma execução mal feita das soldas neste tipo de estrutura, pode gerar risco de desabamento desta, colocando em risco a vida de pessoas que se encontram abaixo ou acima da estrutura.

A soldagem como meio de união entre partes de estruturas de aço é muito vantajosa quando comparada a outros tipos de métodos de ligação, como por exemplo a união por parafusos e rebites. A soldagem é mais rápida, mais prática de se realizar e não retira material da estrutura por não gerar furos, que reduzem a resistência da estrutura e geram concentradores de tensões. Entretanto, por se tratar de um processo de união que envolve altas temperaturas, a soldagem pode provocar problemas na microestrutura do aço como o aumento dos grãos, a segregação de impurezas e a geração de tensões e distorções no material da estrutura. Dessa forma, um estudo sobre a resistência das soldas em estruturas de aço é muito importante para evitar problemas.

Normalmente, para se determinar a resistência da solda em estruturas de aço soldadas, utilizam-se equações para o cálculo de resistência de entalhe proposto por Pfeil e Pfeil (2009).

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência dos modelos matemáticos utilizados para calcular a resistência de solda de topo em soldagem de aço, através da comparação dos resultados dos cálculos com aqueles obtidos por ensaios mecânicos.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFIA

2.1 Soldagem

De acordo com AWS (Americam Welding Society, 1995) soldagem é o "Processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”.

As soldas, de forma geral, devem ter resistência mecânica igual ou superior ao material soldado. Para isso, deve-se usar material de adição com propriedades iguais ou superiores ao metal de base.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), soldagens industriais usam normalmente processos com fonte de energia elétrica. Na soldagem de aço, a fusão é provocada pelo calor produzido por um arco voltaico. Porém, a energia pode ser de origem elétrica, química, óptica ou mecânica.

2.2 Principais processos de soldagem para estruturas metálicas

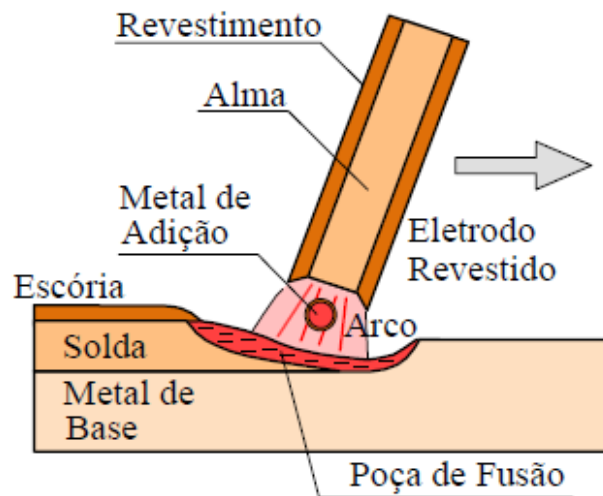
2.2.1 Soldagem com eletrodos revestidos

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os principais tipos de solda com energia elétrica usados na indústria de construção civil na soldagem de estruturas metálicas são o SMAW (Solda ao arco elétrico com eletrodo revestido) e a SAW (Solda ao arco submerso).

Por ser muito versátil, o processo com eletrodos revestidos é o mais usado tanto em instalações industriais pesadas quanto em pequenos serviços, pois possui baixo custo e proporciona uniões com excelentes propriedades. Esse processo é muito utilizado em campo por ser de fácil deslocamento, porém tem baixo rendimento devido à troca constante de eletrodo.

De acordo com Modenesi e Marques (2006), o equipamento usado para fazer a soldagem consiste de uma fonte de energia (ou máquina de soldagem), porta-eletrodo e cabos.

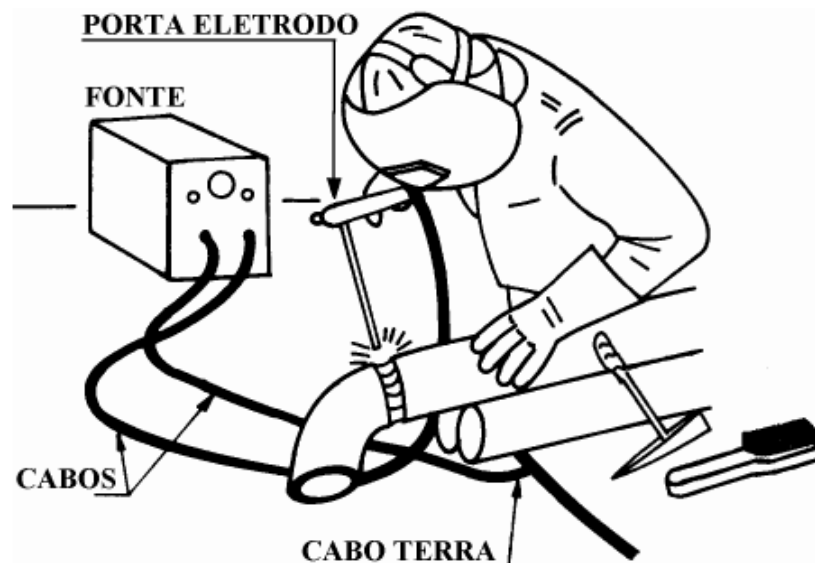
Para soldagem, a parte não revestida do eletrodo é fixada no porta eletrodo e o arco é iniciado tocando-se rapidamente a ponta do eletrodo na peça (ambos estão conectados, por cabos, aos terminais da máquina de soldagem). O arco elétrico funde a ponta do eletrodo e um pequeno volume do metal de base formando a poça de fusão (Figura 1). A soldagem é manual, na qual o soldador controla o comprimento do arco e a poça de fusão (pela manipulação do eletrodo), além de deslocar o eletrodo ao longo da junta. Quando o eletrodo é quase todo consumido, interrompe-se o processo para troca do eletrodo e remoção de escória da região da solda.



Fonte: Modenesi e Marques (2006).

FIGURA 1 – Região do arco na soldagem com eletrodos revestidos.

A Figura 2 ilustra o equipamento e o processo de soldagem com eletrodo revestido e a Tabela 1 apresenta as suas vantagens, limitações e aplicações principais.



Fonte: Modenesi e Marques (2006)

FIGURA 2 - Equipamento para soldagem SMAW.

TABELA 1 - Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SMAW.

Vantagens e limitações	Aplicações
<p>Equipamento simples, portátil e barato.</p> <p>Não necessita fluxos ou gases externos.</p> <p>Pouco sensível à presença de correntes de ar (trabalho no campo).</p> <p>Processo muito versátil em termos de materiais soldáveis.</p> <p>Facilidade para atingir áreas de acesso restrito.</p> <p>Aplicação difícil para materiais reativos.</p> <p>Produtividade relativamente baixa.</p> <p>Exige limpeza após cada passe.</p>	<p>Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo.</p> <p>Soldagem de aços carbono e ligado.</p> <p>Soldagem de ferro fundido.</p> <p>Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas.</p>

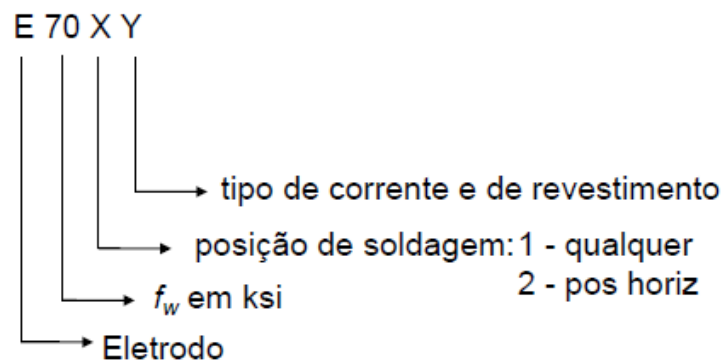
Fonte: Modenesi (2006).

Segundo Pinheiro (2005), os gases têm por finalidade de criar uma atmosfera inerte de proteção, com isso, evitando formação de impurezas na solda, devido a presença de O₂ do ar atmosférico no material da solda. A introdução do N₂ (Gás Nitrogênio) no ar atmosférico proporcionará uma melhor estabilidade ao arco e uma maior penetração na solda.

2.2.1.1 Tipos de Eletrodos

De acordo com Pinheiro (2005), os eletrodos utilizados na solda por arco voltaico são varas de aço-carbono ou aço de baixa liga, e deve ser compatível com o metal-base, devendo ter resistência de cálculo maior que a do metal a ser soldado.

Os eletrodos com revestimento são designados segundo a AWS (*American Welding Society, 1995*), por expressões do tipo E70XY, onde:



E = eletrodo

70 = resistência à ruptura da solda em Ksi

X = nº que se refere à posição de soldagem satisfatória (1 - qualquer posição; 2 - somente posições horizontais)

Y = nº que indica tipo de corrente e de revestimento do eletrodo.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os principais tipos de eletrodos empregados na indústria são:

- Eletrodo revestido para (SMAW), solda ao arco elétrico.

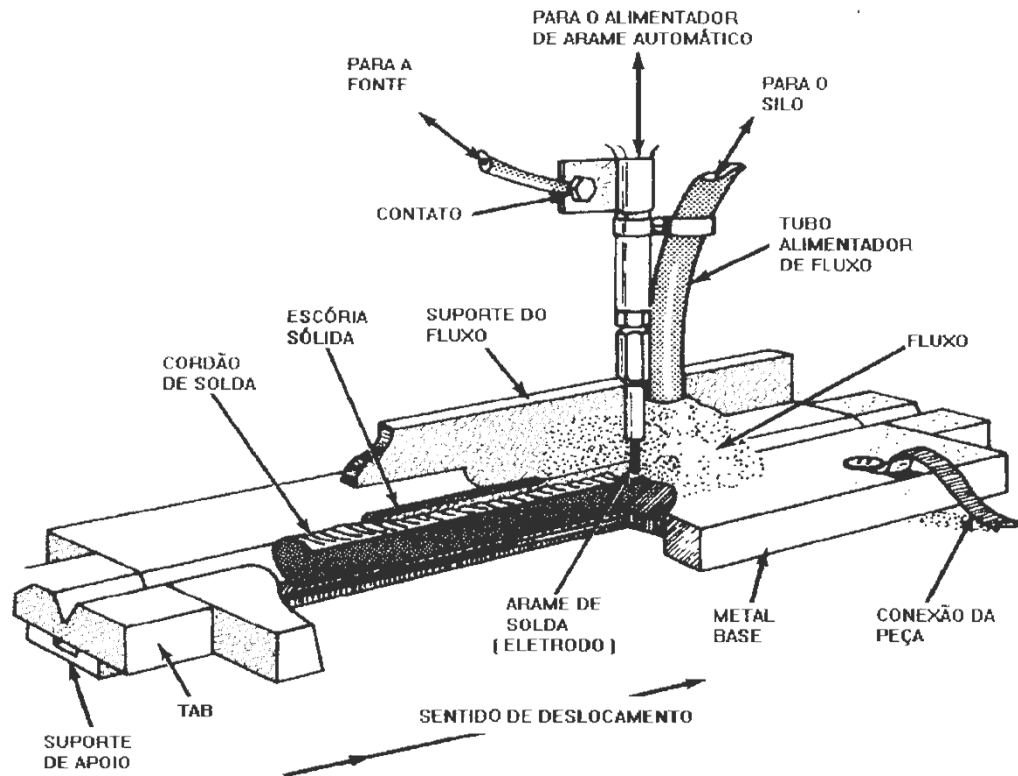
E60 XX \Rightarrow E60 $\Rightarrow f_w = 415$ MPa

E70 XX \Rightarrow E70 $\Rightarrow f_w = 485$ MPa

2.2.2 Soldagem ao arco submerso

Na Soldagem ao arco submerso SAW (Submerged Arc Welding), os eletrodos são fios metálicos sem revestimentos, porém o arco voltaico e o metal fundido ficam isolados pelo material granular (PFEIL E PFEIL, 2009).

Esse tipo de processo utiliza eletrodo nu e um tubo de fluxo com material granulado que é alimentado continuamente podendo ser automático ou semiautomático. O fluxo granulado funde-se parcialmente e forma uma camada de escória líquida que é retirada depois da solidificação (Figura 3). O processo possui uma alta velocidade de deposição e uma maior penetrabilidade. Esse tipo de solda é executado de forma contínua, na posição plana ou horizontal e é ótimo para soldas de filete (PINHEIRO, 2005).



Fonte: Pereira (2000).

FIGURA 3 - Processo de soldagem com arco submerso.

Esse equipamento de soldagem de arco submerso necessita de fonte de energia constante, e também é alimentado por arame juntamente com um sistema de controle, tocha de soldagem, porta fluxo e sistema de deslocamento da tocha.

Normalmente esse processo é bastante usado na soldagem de estruturas metálicas, na recuperação de peças desgastadas. Esse tipo de equipamento trabalha normalmente com correntes de soldagem elevadas aproximadamente superiores a 1000 A, e pode chegar a depositar o material do arame durante de soldagem de até 45 kg/h aproximadamente.

A Tabela 2 mostra as principais vantagens e desvantagens do processo de soldagem com arco submerso.

TABELA 2 - Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SAW.

Vantagens e limitações	Aplicações
<p>Altas velocidades de soldagem e taxas de deposição.</p> <p>Produz soldas uniformes e de bom acabamento superficial.</p> <p>Ausência de respingos e fumos.</p> <p>Dispensa proteção contra radiação devido ao arco não visível.</p> <p>Facilmente mecanizado.</p> <p>Elevada produtividade.</p> <p>Soldagem limitada às posições plana e filete horizontal.</p> <p>Aporte térmico elevado pode prejudicar propriedades da junta em alguns casos.</p> <p>Necessário retirar a escória entre passes.</p>	<p>Soldagem de aços carbono e ligados.</p> <p>Soldagem de níquel e suas ligas.</p> <p>Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro.</p> <p>Soldagem em fabricação de peças pesadas de aço.</p> <p>Recobrimento, manutenção e reparo.</p>

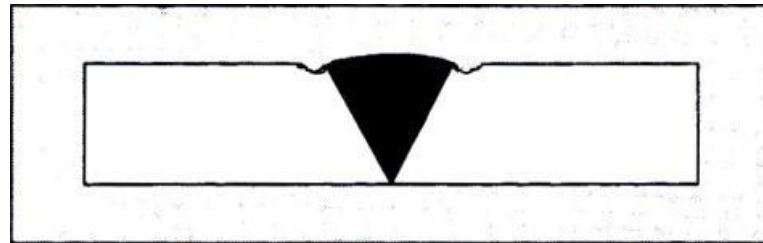
Fonte: Modenesi (2006).

2.3 Defeitos da solda

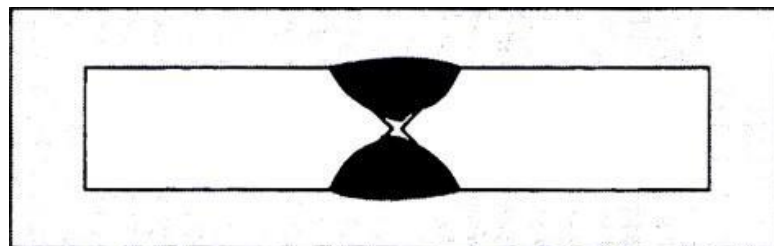
De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), existem diversos tipos de defeitos nas soldas, as deformações e falhas no processo de soldagem, devem ser previstas a fim de se tornar medidas necessárias para evita-las. Os principais tipos de defeitos deste processo são (Figura 4):

- **inclusões de escória** - são mais comuns quanto são feitas várias camadas de soldas no mesmo local, isso ocorre quando não são removidas totalmente após a soldagem em cada passe;
- **mordeduras** – são reentrâncias agudas formadas pelo arco elétrico, pela ação de sua fonte de calor. A formação da mordedura gera concentradores de tensão;
- **fusão incompleta ou penetração inadequada** – as causas da penetração incompleta na junta são: preparação imprópria da junta, técnica e corrente de soldagem inadequada.
- **porosidade** – são pequenas bolhas de gás que se apresentam durante o resfriamento. Essas bolhas são causadas pela distância excessiva entre o eletrodo e a chapa, ou por uma quantidade excessiva de corrente elétrica;
- **fissuras** – acontece quando há um resfriamento muito rápido do material, mas podem ser controladas através do controle da velocidade de resfriamento. Porém, caso aconteça uma fissura por um deslize, esse defeito pode ser minimizado com um pré-aquecimento do

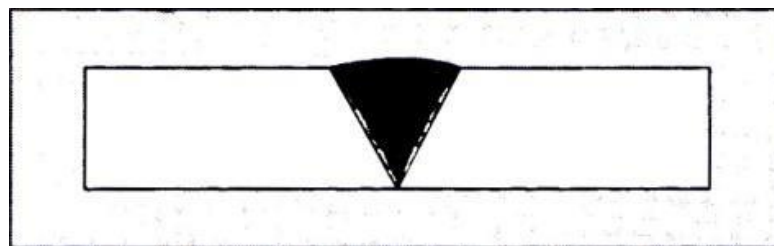
metal de base e utilização de fluxo de carbonato de sódio que são os eletrodos de baixo hidrogênio.



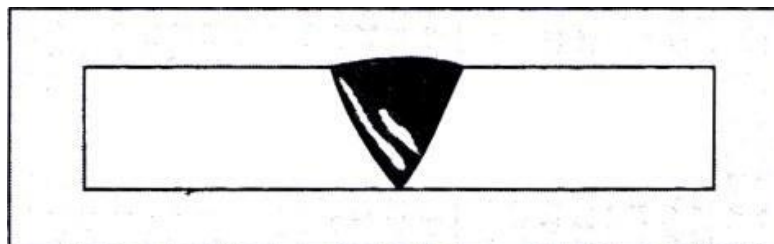
Mordedura



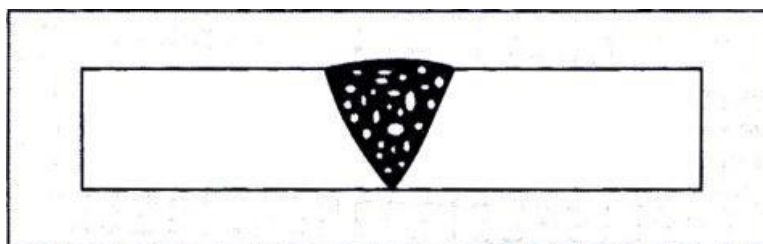
Fusão incompleta ou penetração inadequada



Fusão inadequada



Trincas



Porosidades

Fonte: Pinheiro (2005).

FIGURA 4 - Defeitos da solda.

2.4 Controle e Inspeção da Solda

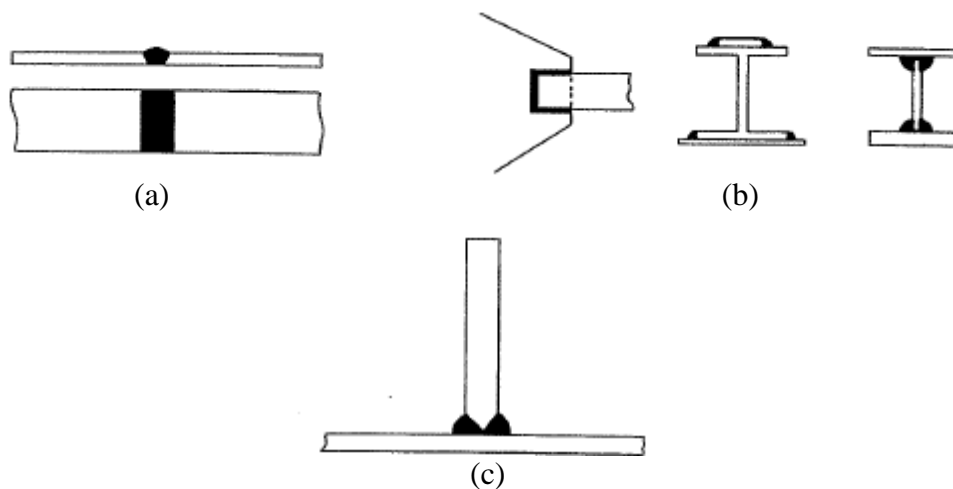
Quanto as condições e defeitos relacionados às soldas então controlados, a norma americana AWS D1.1 (“American Welding Society, 1995”) especifica que para a execução de solda estrutural, são exigidas técnicas e qualificações dos soldadores, além de procedimentos de inspeção, os quais também são adotados pela norma brasileira NBR 8800 (PFEIL e PFEIL, 2009).

A fiscalização em estruturas mais simples são realizadas por inspetores treinados. Nas inspeções, verificam-se as dimensões das soldas, na qual o inspetor trabalha com um gabarito especial, fiscalizando as ocorrências dos defeitos, como uma penetração inadequada ou uma trinca na superfície (PFEIL e PFEIL, 2009).

Em indústrias de grande porte que trabalham com perfis soldados de estruturas metálicas e que são de grande responsabilidade (por exemplo, pontes soldadas), nesse caso são utilizados ensaios não destrutivos, como raios-X, ultrassom ou líquido penetrante (PFEIL e PFEIL, 2009).

2.5 Classificação de soldas de eletrodo quando à posição do material de solda em relação ao material-base

A Figura 5 apresenta tipos de juntas soldadas, conforme o arranjo do material de solda em união ao material de base.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

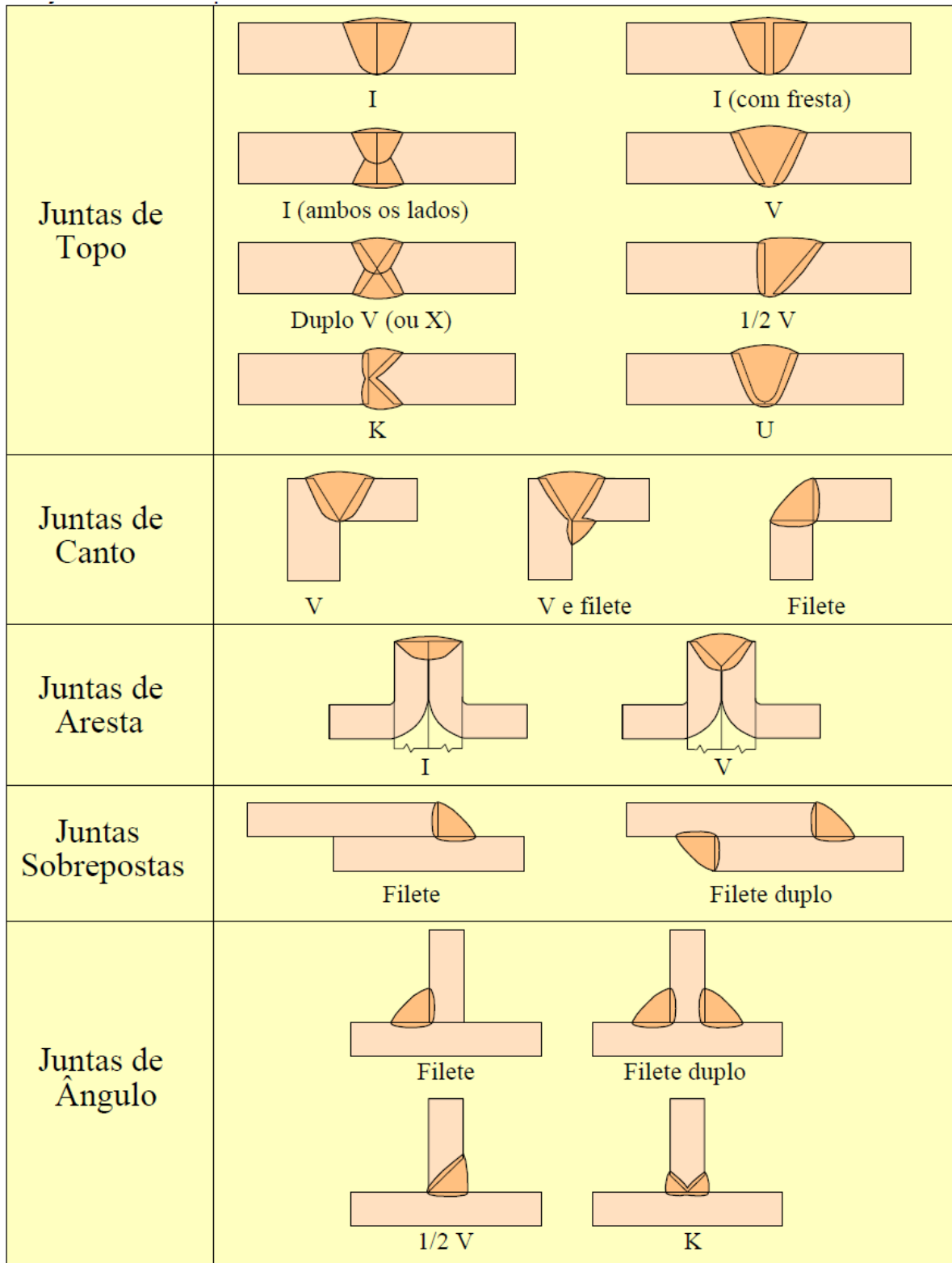
FIGURA 5 - Tipos de ligações soldadas, segundo a posição da solda em relação ao material-base. (a) Solda de entalhe e ligação de topo, (b) Soldas de filete, (c) Solda de entalhe ligação em T.

Na soldagem de entalhe, o metal de adição é posicionado entre peças metálicas, dentro de um chanfro. A solda pode ser de penetrabilidade total ou incompleta.

Na solda de filete, o material de solda é depositado nas superfícies laterais do componente conectado.

Na solda de tampão e de ranhura, o metal é depositado em furos circulares e ou afastamento e feitos em uma das chapas do metal-base (PFEIL e PFEIL, 2009).

A (Figura 6) mostra os principais tipos de juntas e os modelos de chanfros mais usados para uniões soldadas.

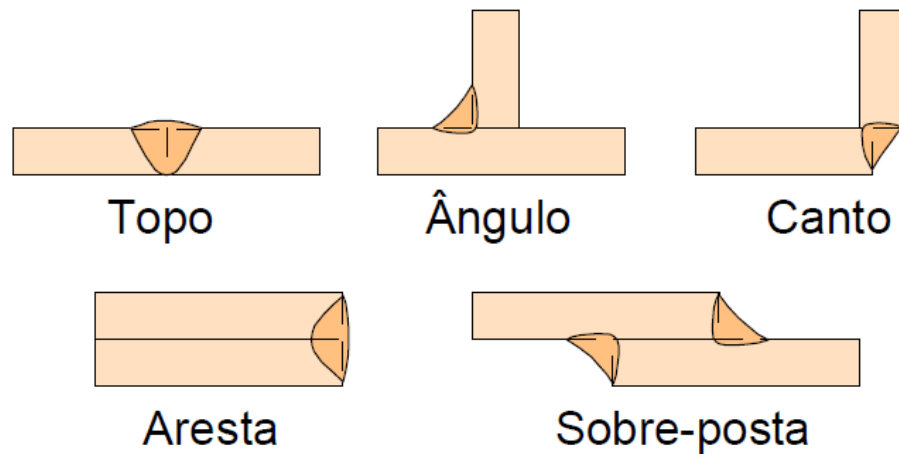


Fonte: Modenesi (2001).

FIGURA 6 - Tipos de juntas e exemplos de chanfros.

2.6 Classificação quando à posição relativa das peças soldadas

A Figura 7 apresenta-se alguns tipos de união por soldagem e posicionamento das peças soldadas.

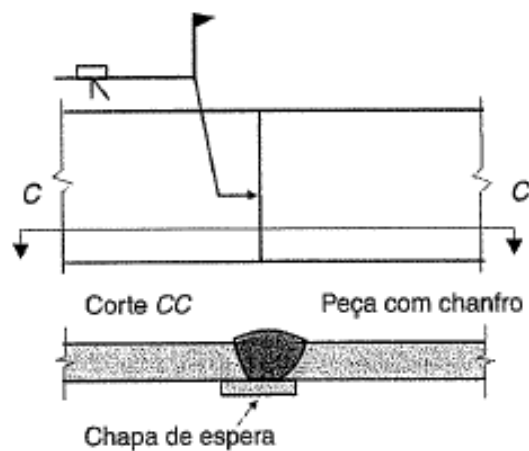


Fonte: Modenesi (2001).

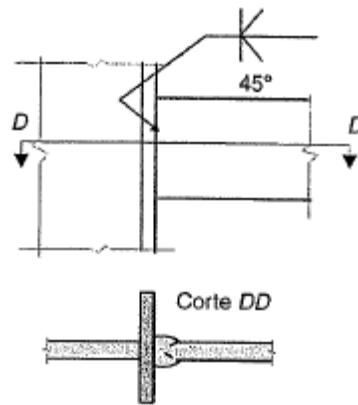
FIGURA 7 - Tipos ligações soldadas, segundo a posição relativa das peças.

2.6.1 Solda de Entalhe

Geralmente as soldas por entalhe devem ser preenchidas totalmente nos espaços da peça. Para uma boa penetrabilidade na peça, utilizam-se, então, os cálculos na seção do metal-base de menor espessura. A Figura 8 mostra alguns modelos de soldas de filetes com exemplos de dimensões e formas.



(a)



(b)

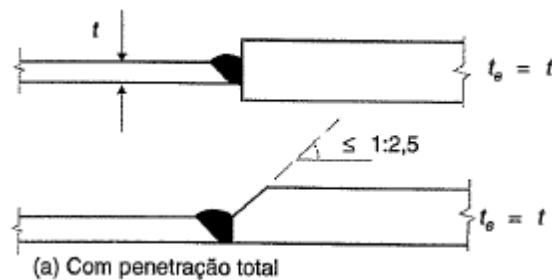
Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

FIGURA 8 - Exemplos de ligações soldadas com as respectivas simbologias e descrições.

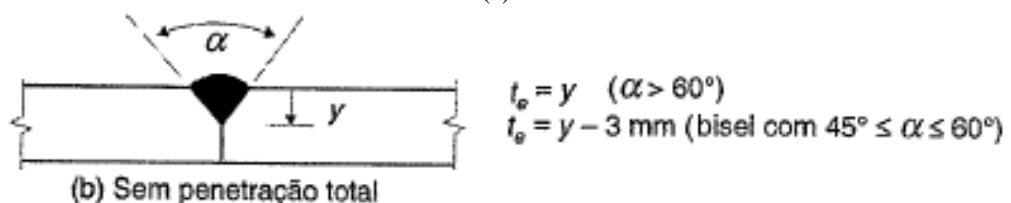
A Figura 8 a mostra a solda de entalhe feita só de um lado da peça. A seta indica o local na peça com chanfro que vai ser aplicada a solda. A chapa de espera é recomendada para solda em peça com um só lado de penetração total, com finalidade de impedir o vazamento de material de solda e uma penetração inadequada. Chapas de espera não retiradas após a execução da solda produzem concentração de tensões e podem ocasionar fadigas.

A Figura 8 b mostra uma solda de entalhe dos dois lados com chanfro em bisel de ângulo de 45°.

Na Figura 9 pode-se observar algumas juntas de entalhe com chanfro em V com penetração total (a) e com penetração incompleta (b).



(a)



(b)

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

FIGURA 9 - Emendas de entalhe com chanfro em bisel ou em V. Espessuras efetivas da solda, t_e (garganta de solda).

No momento em que se prevê no projeto o preenchimento incompleto de penetração parcial, com chanfro em bisel, a espessura efetiva t_e é também igual a profundidade y do entalhe menos 3 mm, na qual o ângulo da raiz fica dentro de 45° a 60° (não se utiliza soldagem com proteção gasosa ou com fluxo no núcleo em posicionamento plano e horizontal no entanto toma-se $t_e = y$). Se o ângulo for maior que 60° em chanfro em V ou bisel, considera-se t_e igual à profundidade do entalhe (Figura 9b). Com os chanfros em J ou em U, a profundidade do chanfro e a espessura efetiva têm mesma dimensão.

Em uma união de topo de chapas de espessuras diferentes quando a parte mais elevada da peça for de espessura superior 10 mm, deve-se formar um chanfro, como mostrado na Figura 9a, para impedir concentração de tensões na zona de transição. A união de chapas com diferentes larguras também se deve evitar concentração de tensões, para isso a união é feita com curva de transição.

Nas soldas com penetração parcial, as gargantas são projetadas com espessuras mínimas construtivas ($t_{e \text{ mín}}$), para que haja a fusão do metal-base (Tabela 3). Além disso, as peças que forem soldadas com solda de entalhe com penetração parcial não poderão ser usadas em ligações sob flexão (PFEIL e PFEIL, 2009).

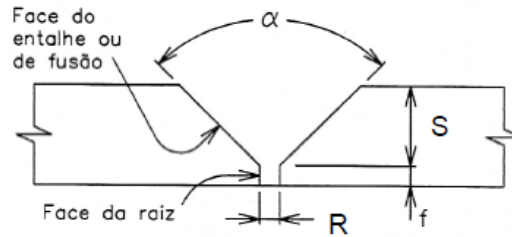
TABELA 3 - Dimensões mínimas das gargantas de solda de entalhe com penetração parcial (NBR 8800).

Espessura da chapa mais fina em mm	Garganta de solda com penetração parcial	
	$t_{e \text{ mín}}$ (mm) – ver a fig.9	
Até 6,3	3	
6,3-12,5	5	
12,5-19	6	
19-37,5	8	
37,5-57	10	
57-152	13	
Acima de 152	16	

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

2.6.2 Solda de topo

Na figura 10 mostra-se o ângulo da solda a profundidade e a altura e outros, este tipo de solda é chamada de solda de penetração parcial na figura 10, e também existe solda de penetração total, que abrange em toda espessura da chapa, isso quando a solda é da mesma espessura da chapa.



Fonte: Pinheiro (2005).

FIGURA 10 – Solda por entalhe.

Na qual:

α = ângulo do chanfro

S = Profundidade do chanfro/ altura entalhe

f = nariz do chanfro

r = raio do chanfro

R = abertura da raiz

2.7 Resistência de juntas soldadas

Segundo Shigley (1984), a combinação das propriedades dos eletrodos com as do metal de base não é tão importante quanto à velocidade, à habilidade do operador e a aparência da junta pronta. As propriedades dos eletrodos variam consideravelmente; a Tabela 4 reúne o mínimo de propriedades para algumas classes de eletrodos.

TABELA 4 - Propriedades Mínimas das soldas.

Número AWS do Eletrodo	Resistência à tração MPa	Tensão de Escoamento MPa	Alongamento Percentual
E 60 xx	427,20	344,52	17-25
E 70 xx	482,33	392,75	22
E 80 xx	551,23	461,66	19
E 90 xx	620,13	530,56	14-17
E 100 xx	689,04	599,46	13-16
E 120 xx	826,85	737,27	14

Fonte: Shigley (1984).

Projetando-se peças soldadas é preferível selecionar um aço que resulte numa solda rápida e econômica, embora isso possa sacrificar algumas outras qualidades tal como usinabilidade. Pode-se soldar qualquer aço sobre condições adequadas, porém obtêm-se os melhores resultados utilizando aços com especificações UNS entre G10140 e G10230.

No Anexo A, mostra-se um eletrodo especial para trabalhos em serralheria (AWS – E 6013), solda todos os tipos de juntas, mesmo sem preparação, em todas as posições.

Aplicável em estruturas metálicas, chapas galvanizadas e construções em geral, e também são mostradas as propriedades e as posições de soldagem do eletrodo e etc.

2.7.1 Cálculo da resistência de entalhe

De acordo com Pfeil e Pfeil as resistências de cálculo das soldas são dadas em função da:

a) área do metal base;

$$A_{mb} = b \cdot l \quad (1)$$

Na qual:

A_{mb} – Área do metal base

b – Lado do filete de solda

l – Comprimento, vão (pode-se também usar L)

b) uma área A_{mb} do metal-base igual ao produto do comprimento da solda pela espessura da peça mais delgada da ligação.

Para as soldas de entalhe de penetração total (Figura 9a) sujeitas a tensões de compressão, tração ou perpendiculares ao eixo da solda, as resistências de cálculo são obtidas com base no escoamento do metal-base (f_y).

$$R_d = \frac{A_{mb} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

Onde:

R_d – Resistência de cálculo

f_y – Tensão limite do escoamento aço

γ_{a1} – Coeficiente Parcial de Segurança dado na Tabela 5.

TABELA 5 – Valores do Coeficiente Parcial de Segurança (γ_{al}), aplicado às resistências (NBR 8800).

Material		Combinações de Ações		
		Normais	Especiais ou de construção	Excepcionais
Aço estrutural, pino e parafusos – Estados limites de escoamento e flambagem.	γ_{a1}	1,10	1,10	1,00
Aço estrutural, pinos e parafusos – Estado limite de ruptura.	γ_{a2}	1,35	1,35	1,15
Concreto	γ_c	1,40	1,20	1,20
Aço de armadura de concreto armado	γ_s	1,15	1,15	1,00

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), para soldas de entalhe de penetração parcial sob tração ou compressão perpendicular ao eixo da solda, a resistência é determinada com o menor valor entre as Equações (3) e (4).

a) Metal-Base

$$R_d = \frac{A_m \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (3)$$

b) Metal da solda

$$R_d = 0,60 \frac{A_w \cdot f_w}{\gamma_{w1}} \quad (4)$$

Na qual:

F_w – Tensão resistente do metal da solda

A_w - Área resistente da solda

$\gamma_{a1} = 1,25$ para combinações normais, especiais ou de construção;

$\gamma_{w1} = 1,05$ para combinações excepcionais de ações.

O fator 0,60 reduz a resistência para levar em conta incerteza na qualidade da solda na raiz e outros defeitos.

Para testar a resistência de projeto R_d são dadas as equações.

a) Penetração total: Metal-base

$$Rd = Amb \frac{(0,60fy)}{\gamma a1} \quad (5)$$

b) Penetração parcial: Metal da solda

$$Rd = Amb \frac{(0,60fw)}{\gamma w2} \quad (6)$$

Onde:

$\gamma_{a1} = 1,35$ para combinações normais, especiais ou de construção;

$\gamma_{w2} = 1,15$ para combinações excepcionais.

2.8 Aços estruturais padronizados pela ABNT

De acordo com Pfeil e Pfeil (2000), as especificações EB558/NBR7007 – Aços para perfil laminados para uso estrutural da ANBT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os aços podem ser enquadrados nas seguintes categorias, designadas a parte do limite de escoamento do aço f_y :

- MR250 - ASTM A36 - aço de média resistência ($f_y = 250$ MPa; $f_u = 400$ MPa).
- AR 290 - aço de alta resistência ($f_y = 290$ MPa; $f_u = 415$ MPa).
- AR 345 - aço de alta resistência ($f_y = 345$ MPa; $f_u = 450$ MPa).
- AR-COR-345-A - aço de alta resistência ($f_y = 345$ MPa; $f_u = 485$ MPa), resistente à corrosão.
- AR-COR-345-B - aço de alta resistência ($f_y = 345$ MPa; $f_u = 485$ MPa), resistente à corrosão.

2.9 Ensaio de Tração


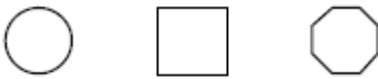
De acordo com a norma NBR 6152, o corpo de prova pode ser retirado de uma amostra soldada do produto ou obtida por forjamento ou fundição.

Entretanto, produtos de seção constante (barras, fios, etc.) e também corpos de prova fundidos (ferro fundido maleável, ferro fundido branco, ligas não ferrosas) podem ser ensaiados sem que sejam usinados.

2.9.1 Tipos de Corpo de Prova

Segundo as especificações na norma NBR 6152, é recomendado que a espessura dos tipos de corpos de prova a serem usados para produtos finos (folhas, tiras e chapas) esteja entre 0,1 mm e 3 mm de espessura, e o comprimento de medida original não deve ser menor que 20 mm. O Quadro 1 mostra os principais tipos de corpo de prova.

QUADRO 1 – Principais tipos de corpo de prova.

Tipo do Produto		Anexo Correspondente
Folhas, chapas com espessura em milímetros de 	Fios, barras, perfis com diâmetro ou lado em milímetro de 	
0,1 ≤ espessura < 3		A
	diâmetro ou espessura < 4	B
espessura ≥ 3	diâmetro ou espessura ≥ 4	C
Tubos		D

Fonte: Projeto NBR 6152 Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente.

2.9.2 Dimensões do corpo de prova

De acordo com a norma NBR 6152, o comprimento de medida original (L_0) deve ser de (200 ± 2) mm ou (100 ± 1) mm. A distância entre os dispositivos de fixação da máquina de ensaio deve ser igual a menor $L_0 + 50$ mm, isto é 250 mm e 150 mm respectivamente, exceto no caso de fios de pequeno diâmetro na qual essa distância pode ser igual a L_0 .

2.9.3 Velocidade do Ensaio

Segundo a norma NBR 6152, ao menos que seja especificada na norma do produto, a velocidade do ensaio deve estar em conformidade com as seguintes condições, dependendo da natureza do material.

De acordo com a norma NBR 6152, dentro da zona elástica e até a tensão de escoamento superior, a velocidade de separação dos cabecotes da máquina deve ser mantida o mais constante possível e estar dentro dos limites correspondentes à velocidade de tensionamento fornecidos na tabela 6. Deve ser fixado regulando-se a velocidade de tensionamento na zona elástica e mantendo-se os controles da máquina nessa regulagem, até que o limite superior de escoamento seja atingido.

TABELA 6 – Velocidade de tensionamento.

Módulo de elasticidade do material (E) (N/mm ²)	Velocidade de tensionamento (N/mm ² .s ⁻¹)	
	Mínima	Máxima
E < 150 000	2	10
E ≥ 150 000	6	30

Fonte: Projeto NBR 6152 Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente

A velocidade de tensionamento na zona elástica nunca deve exceder as velocidades máximas indicadas na tabela 6.

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O material utilizado para se verificar a resistência das soldas e para o ensaio de tração foi uma barra chata de 1/8 x 1/2 polegada de aço carbono SAE 1015 trefilado.

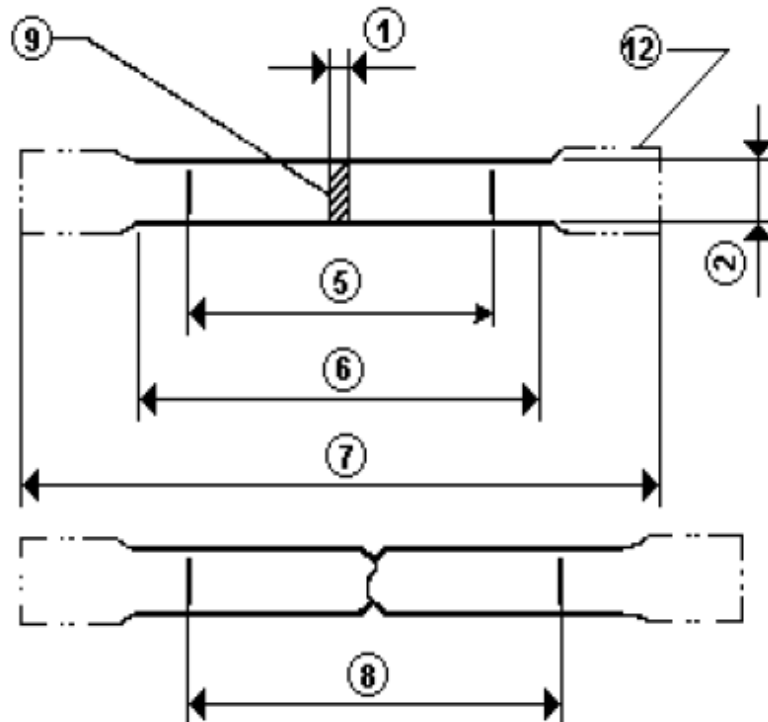
Para a soldagem dos corpos de prova utilizou-se o eletrodo AWS E6013 de diâmetro de 2.5 mm (Figura 11).



Fonte: Autor

FIGURA 11 – Eletrodo AWS - E6013 OK Serralheiro.

O ensaio de tração foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio modelo BME da marca Oswaldo Filizola com capacidade nominal especificada em 20.000 kN, podendo ser usada em ensaios de tração, compressão, flexão etc. A Figura 12 mostra um modelo de corpo de prova para o ensaio de tração.

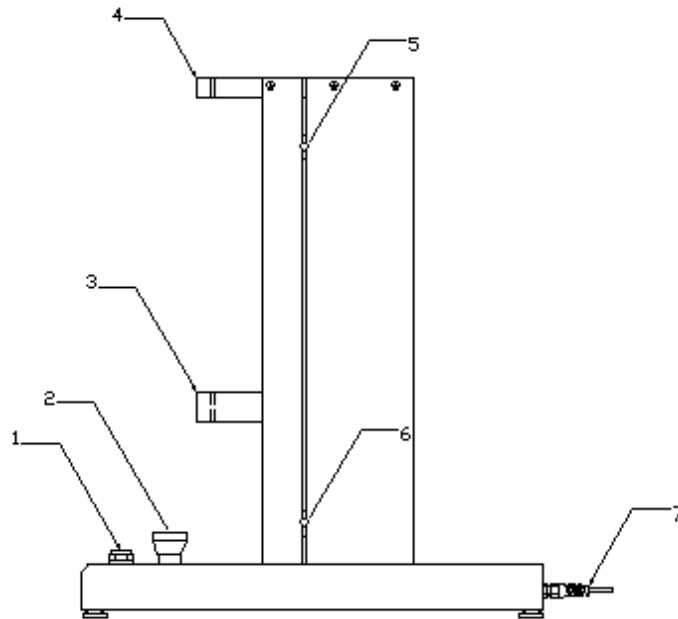


Fonte: Projeto NBR 6152 Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente.
 FIGURA 12 – Corpos de prova usinados de seção retangular.

Onde:

- 1 = Espessura de um corpo de prova plano ou espessura da parede de um tubo
- 2 = Largura do comprimento paralelo do corpo de prova plano
- 5 = Comprimento de medida original
- 6 = Comprimento paralelo
- 7 = Comprimento total do corpo de prova
- 8 = Comprimento de medida final após ruptura
- 9 = Área da seção transversal original do comprimento paralelo
- 12 = Extremidade do corpo de prova

Os componentes principais da máquina são mostrados na Figura 13:



Fonte: Técnica Industrial Oswaldo Filizola Ltda, Manual de Instruções.
 FIGURA 13 - Máquina Universal de Ensaio modelo BME.

Na qual:

- 1 – Botão liga/desliga: deve ser pressionado até o final para ligar a máquina, uma lâmpada interna ao botão acenderá indicando que a máquina está ligada.
- 2 – Botão de segurança: deve ser pressionado caso se deseje parar o travessão móvel em situações de emergência. Uma vez acionado, o usuário deve girá-lo em sentido horário para que ele destrave e permita que o software volte a comandar a máquina.
- 3 – Travessão móvel: Haste de aço com furação na qual é fixada uma célula de carga e/ou uma garra/acessório. Esta haste pode realizar forças iguais ou maiores à capacidade nominal (especificada em kN) no sentido de subir ou descer, permitindo ensaios de tração, compressão, flexão etc.
- 4 – Travessão superior: Haste de aço com furação na qual é fixada uma célula de carga e/ou uma garra/acessório.
- 5 e 6 – Fins-de-curso superior e inferior: devem ser utilizados caso se deseje limitar o curso do travessão móvel, por exemplo para que não ocorra colisão entre as garras.
- 7 – Cabo serial para controle do motor do travessão móvel e cabo de alimentação.

Os corpos de prova que foram utilizados para o ensaio possuíam de 285 mm comprimento e 12.7 mm de largura, com espessura de 3.175 mm. Foram obtidos a partir de uma barra chata que é um material bastante utilizado em serralheria e em indústrias metalúrgica em geral, facilmente encontrada no mercado.

3.2 Métodos

Primeiramente foram preparados os corpos de prova de acordo com a norma NBR 6152. Os corpos de prova usados nos ensaios foram obtidos a partir de uma barra chata de 3,175 mm (1/8") de espessura, 12,7 mm (1/2") de largura, com 285 mm de comprimento. Estas barras foram cortadas no meio, formando dois pedaços com 142.5 mm de comprimento cada.

Para a soldagem do corpo de prova, utilizou-se um eletrodo E 6013 com 2.5 mm de diâmetro. A soldagem foi realizada unindo as duas metades de cada corpo de prova formando uma peça como aquela mostrada na figura 14.



Fonte: Autor.

FIGURA 14 – Barra chata de 3.175 mm por 12.7 mm

Para a realização dos testes, utilizou-se uma máquina universal para ensaios mecânicos da marca Oswaldo Filizola (Máquina Universal de Ensaio mod. AME/ BME). O comando da máquina é realizado por um Software DynaView Standard/Pro versão 2.7.6, o fornecimento de dados para Software são de acordo com a norma de ensaio NBR 6152 para melhor precisão dos resultados.

Para a realização do ensaio de tração, fixou-se as duas extremidades do corpo de prova nas garras da máquina de ensaio, ajustou-se o programa de controle e aquisição de dados e acionou-se a máquina. Quando o corpo de prova foi rompido, anotou-se os resultados fornecidos pelo programa. Foram realizados dois ensaios válidos para se retirar a média dos resultados. Um terceiro teste foi executado, mas o corpo de prova rompeu na solda devido a um defeito de soldagem e este teste foi descartado.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de Resistência de Cálculo

Para verificação dos modelos matemáticos foi utilizada a equação 2 apresentada no capítulo 2 deste trabalho. Para o cálculo, utilizou-se o valor do coeficiente parcial de segurança γ_m da Tabela 5. Primeiramente foi calculada a área da seção transversal do metal de base (equação 1).

$$A_{mb} = bl$$

$$A_{mb} = 12,7 * 3.175$$

$$A_{mb} = 40,3225 \text{ mm}^2$$

Para o cálculo da resistência do metal de base, utilizou-se a tensão limite de escoamento do aço (f_y) para aço 1015 trefilado, que possui propriedades similares às aquelas obtidas no ensaio de tração que é de 412 Mpa (42kgf/mm²), conforme apresentado na tabela do Anexo C.

$$R_d = \frac{A_{mb} \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$R_d = \frac{40,3225 * 412}{1,10}$$

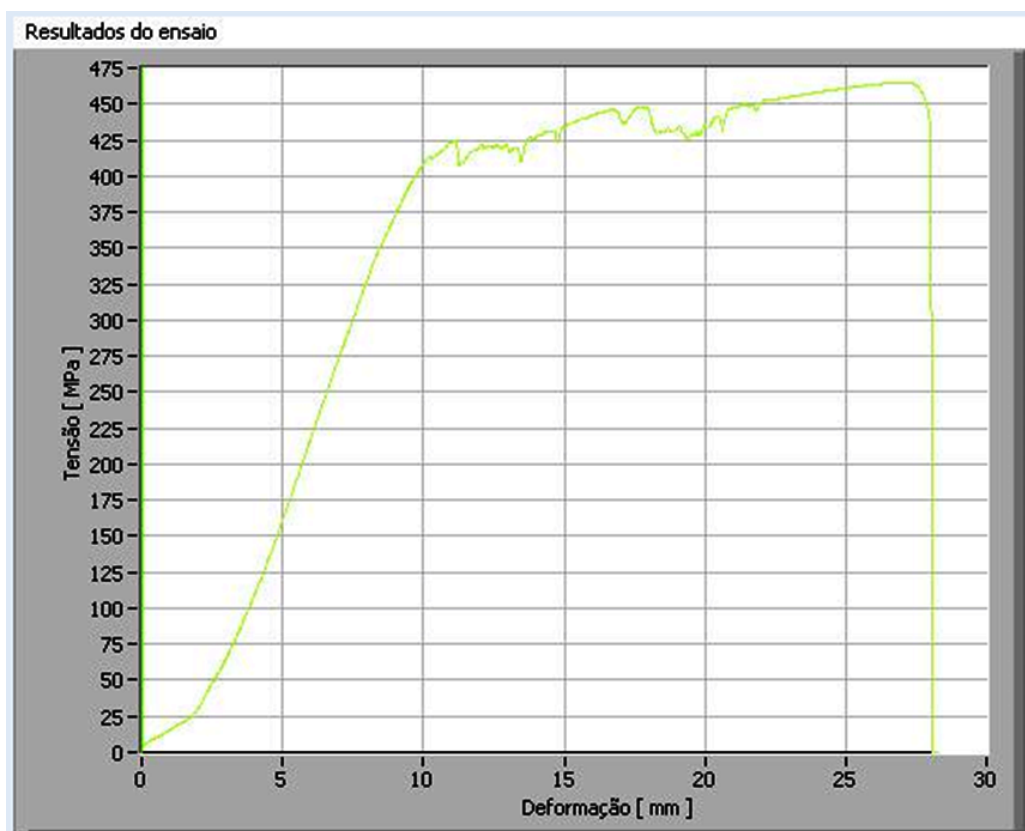
$$R_d = 15.102,61 \text{ N}$$

Conforme descrito no capítulo 2, para as soldas de entalhe de penetração total sujeitas a tensões de compressão ou tração ou perpendiculares ao eixo da solda, as resistências

de cálculo são obtidas com base no escoamento do metal-base (f_y). Assim, não é necessário calcular a resistência do metal da solda.

4.2 Ensaio de tração

O primeiro ensaio foi realizado em um corpo de prova com solda de topo. Neste, o cordão de solda foi mantido, sem sua usinagem. Como era esperado, a ruptura ocorreu no metal de base próximo do cordão de solda, na zona termicamente afetada (ZTA). A figura 15 mostra o gráfico de tensão x deformação obtido a partir deste ensaio.



Fonte: Autor.

FIGURA 15 – Curva de tensão x deformação do Ensaio 1.

Deste ensaio foram obtidos os seguintes resultados:

- Tensão Máxima = 464,902 Mpa.
- Força máxima = 18.746,01 N.
- Tensão de Escoamento = 410 Mpa

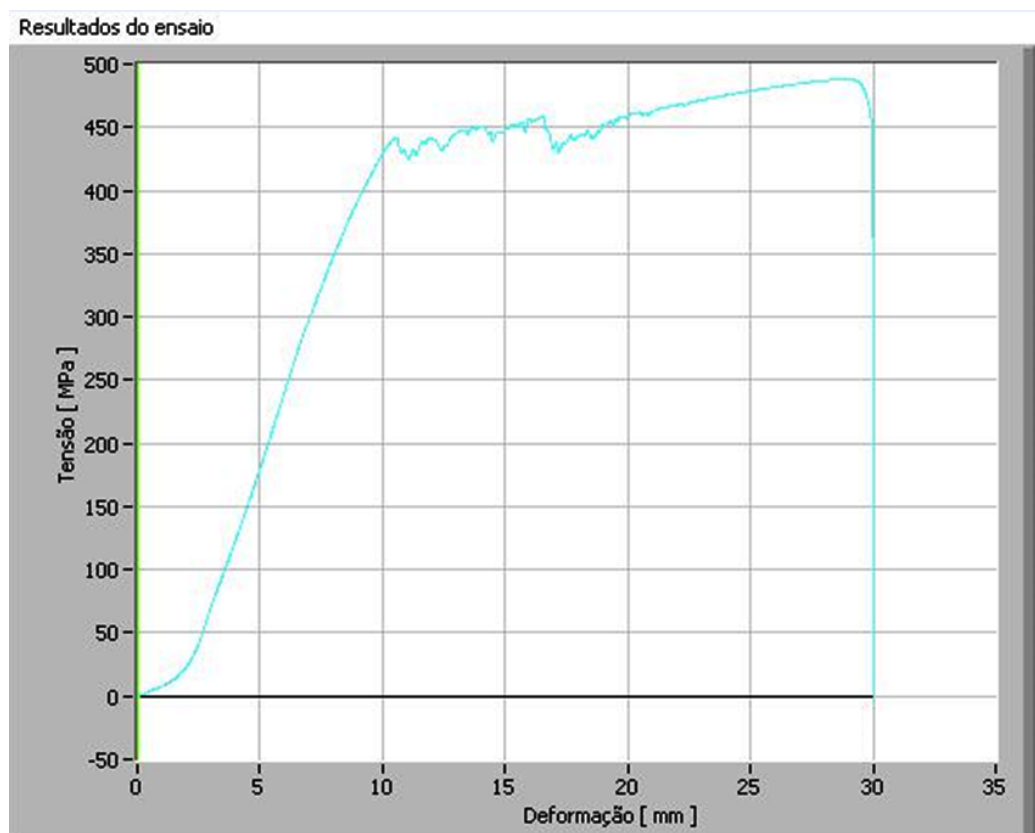
O valor da força máxima sofrida pelo corpo de prova é comparado com a resistência da solda (R_d) calculada, que foi de 15.102,61 N. Verifica-se que o valor medido no ensaio

(18.746,01 N) ficou acima do valor calculado. Entretanto, o cálculo de Rd se baseia no limite de escoamento, enquanto que a força máxima medida no ensaio se baseia no limite de Resistência à tração. Baseando-se no limite de escoamento do ensaio de 410 Mpa, a força medida foi de 16.532,23 N, valor mais próximo do valor calculado de Rd , porém aproximadamente 9,5% acima.

Outros dados obtidos no ensaio foram o limite de ruptura, o alongamento na ruptura e o alongamento na carga máxima como segue:

- Limite de Ruptura = 462,62 Mpa
- Alongamento na ruptura = 18, 11 %.
- Alongamento na carga máxima = 26,92 mm.

No ensaio 2 foi usado um corpo de prova com o cordão de solda usinado. Verificou-se que com ou sem usinagem do cordão solda, não houve alteração significativa na resistência do corpo de prova, desde que este não seja usinado de forma inadequada ou que comprometa a solda. Os resultados do segundo ensaio de tração são mostrados no gráfico da figura 16.



Fonte: Autor

FIGURA 16 – Curva de tensão x deformação do Ensaio 2.

Do segundo ensaio foram obtidos os seguintes resultados:

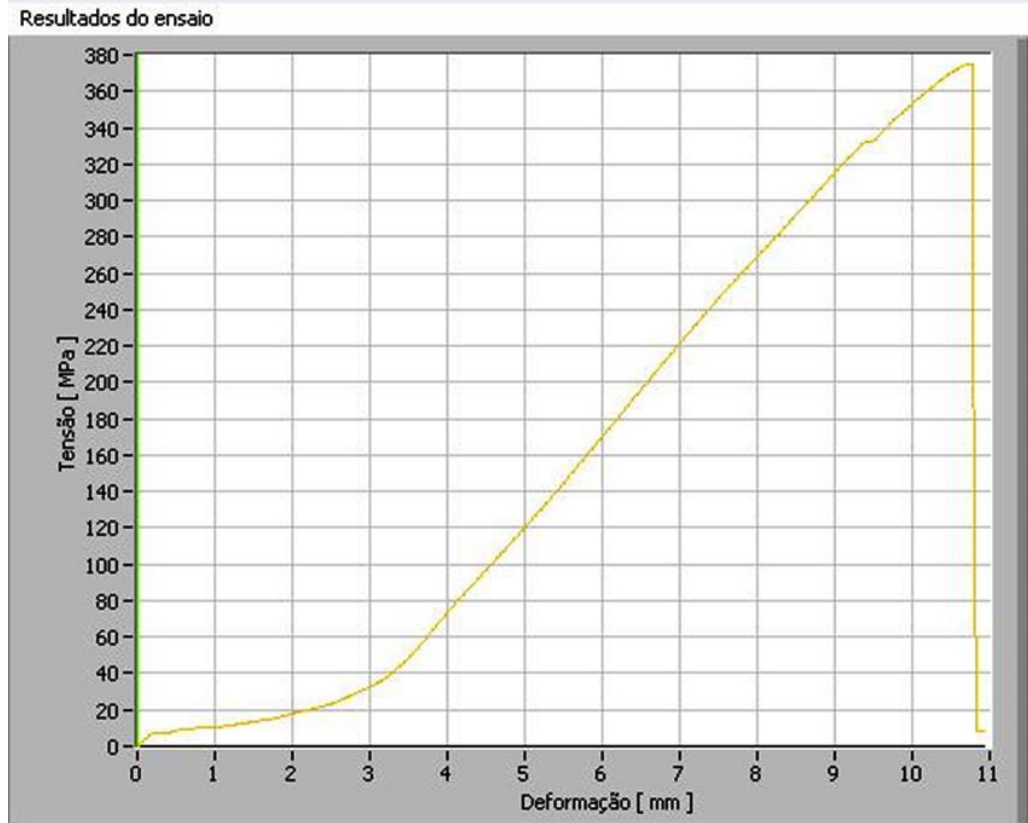
- Tensão máxima = 487,97 Mpa
- Força máxima = 19.676,17 N
- Escoamento = 420 Mpa

Como pode ser observado, o valor da força máxima, assim como no corpo de prova do primeiro ensaio, também ficou acima da Resistência da solda calculado. Se for considerada a força exercida no escoamento, a força medida ficou em 16.935,45 N, do valor de R_d aproximadamente 12% acima.

Outros dados obtidos no ensaio foram o limite de ruptura, o alongamento na ruptura e o alongamento na carga máxima como segue:

- Limite de ruptura = 485,45 MPa
- Alongamento na ruptura = 19,62 %
- Alongamento na carga máxima = 28,91 mm

Sabe-se que a solda aplicada no corpo de prova tem uma resistência superior a do metal de base devido aos elementos de liga presentes na alma e no revestimento dos eletrodos, além disso, os aços e outras ligas metálicas não possuem estrutura homogênea, o que prejudican a manutenção das propriedades mecânicas ao longo de todo o corpo de prova. Outro fator que reduz a resistência do metal soldado é a região de grãos grosseiros da ZTA (Zona Termicamente Afetada), na qual normalmente ocorre a ruptura do metal. Porém, quando há algum defeito interno na solda, esta pode falhar, o que reduz sua resistência. No ensaio 3 foi verificado, após a ruptura do corpo de prova, que a solda estava com porosidades internas, e isso ocasionou a ruptura prematura do corpo de prova, que ocorreu no centro do cordão de solda, conforme mostrado no Gráfico da figura 17.



Fonte: Autor

FIGURA 17 – Curva de tensão x deformação do Ensaio 3.

Do terceiro ensaio foram obtidos os seguintes resultados:

- Tensão máxima = 375,299 Mpa
- Força máxima = 15.132,95 N
- Limite de ruptura = 375,25 Mpa
- Alongamento na ruptura = 7,17%
- Alongamento na carga máxima = 10,73 mm

Devido à ruptura ter ocorrido dentro da fase elástica, não foi possível determinar o limite de escoamento do corpo de prova. Por esse motivo, esse teste foi descartado da comparação com a resistência calculada.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

Analisando os resultados dos cálculos teóricos, e comparando com os ensaios de tração realizados em corpos de prova soldados, utilizando o eletrodo AWS E6013 para solda de topo, verificou-se que os valores calculados para a resistência da solda (R_d) ficaram próximos daqueles obtidos no ensaio de tração, porém um pouco abaixo, devido à equação usar um fator de segurança, o que não ocorre nos dados obtidos no ensaio.

Devido o aço carbono não possuir estrutura cristalina totalmente uniforme, utilizou-se dados de valores médios de resistência do aço, obtidos em catálogos de siderúrgicas. Entretanto o uso de dados de catálogos e livros pode ser perigoso na determinação da resistência da solda, pois existem vários fornecedores de aço e cada aço pode ter valores diferentes de propriedades mecânicas, dependendo do processo mecânico e tratamento térmico a que foram submetidos na indústria siderúrgica. O ideal é sempre pedir ao fornecedor do aço dados de propriedades mecânicas e de composição química obtidos em ensaios.

Considerando o objetivo proposto, foi possível verificar que os modelos matemáticos utilizados para verificar a resistência da solda são relativamente eficientes e geram resultados mais conservadores, devido ao fator de segurança usado. Entretanto, a validade do modelo é dependente da precisão dos dados de propriedades mecânicas obtidos para o cálculo da resistência da solda.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAVIES, A. C. **Soldagem com eletrodos revestidos**. Disponível em: <<http://www.esab.com.br>>. Acesso em: 21 mai. 2014.

MODENESI, P. J. **Terminologia Usual de Soldagem e Símbolos de Soldagem**. Apostila do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG. Belo Horizonte, 2001.

PEREIRA, W. A. **Processos de Soldagem – Parte 2**. Apostila da disciplina Fundição e Soldagem da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNIRV. Rio Verde, 2000.

PINHEIRO, A, C, F, B. **Estruturas metálicas: Cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2ª ed. São Paulo: EdgarBlucher, 2005.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.


SOUSA JUNIOR, Nélcio Gomes de. **Projeto via computador de ligação solda viga coluna em perfil I**. Monografia (Graduação em engenharia Mecânica) 57f-Fesurv – Universidade de Rio verde 2011.

SÁLES, J. J; MALITE, M; GONÇALVES, R. M. **Ligações em estruturas de aço**. São Carlos: USP, 1994. 31p. Apostila.

SHIGLEY, JOSEPH EDWARD. **Elemento de máquinas**: tradução de Edival Ponciano de Carvalho. – Rio de Janeiro; LTC – Livros Técnicos e Científica Editora S.A., 1984.

ANEXOS

ANEXO A - Propriedades dos eletrodos.

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO	APLICAÇÕES	PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS	POSIÇÃO SOLDAGEM	TENSÃO/ TIPO CORR.	DIÂM. (mm)	COMPR. (mm)	FAIXA DE CORRENTE (A)
OK Serralheiro rutílico ASME SFA 5.1 E6013	C 0,06	Eletrodo rutílico especial para trabalhos em serralheria. Solda todos os tipos de juntas, mesmo sem preparação, em todas as posições. Aplicável em estruturas metálicas, chapas galvanizadas e construções em geral, apresentando arco estável, baixo índice de respingos e escória de fácil remoção, tornando o trabalho mais produtivo. Produz cordões com excelente acabamento. A facilidade na abertura e reacendimento de arco fazem com que este eletrodo seja excelente para ponteamentos. Apresenta ainda baixa emissão de fumos e ótimo rendimento.	L.R. 480-520 MPa A 22-24%		20 - 30 V	2,5	350	75 - 110
	Si 0,22				CA ≥ 50 V	3,25	350	85 - 160
	Mn 0,37				CC + ou -	4	350	110 - 200

Fonte: ESAB - Ok eletrodos Revestidos (2005).

ANEXO B - Aço-carbono conforme SAE J403:2001 (Máxima 1,00%).

ABNT/SAE/AISI	Composição Química (%)			
	C	Mn	P	S
1006	≤ 0,08	0,25-0,40	≤ 0,030	≤ 0,050
1008	≤ 0,10	0,30-0,50	≤ 0,030	≤ 0,050
1010	0,08-0,13	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1012	0,10-0,15	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1013	0,11-0,16	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1015	0,13-0,18	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1016	0,13-0,18	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1017	0,15-0,20	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1018	0,15-0,20	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1021	0,18-0,23	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1022	0,18-0,23	0,70-1,00	≤ 0,030	≤ 0,050
1025	0,22-0,28	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050
1026	0,22-0,28	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1030	0,28-0,34	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1035	0,32-0,38	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1038	0,35-0,42	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1040	0,37-0,44	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1042	0,40-0,47	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1043	0,40-0,47	0,70-1,00	≤ 0,030	≤ 0,050
1044	0,43-0,50	0,30-0,60	≤ 0,030	≤ 0,050

Fonte: Guia de aço-Arcelor Mittal.

ANEXO C - Propriedades Mecânicas Estimadas de Barras de aço Laminadas a Quente e Trefiladas.

AÇOS ABNT	AÇOS CARBONO					Usinabi- lidade (média) %
	Res. Traç. Kg/mm ²	Lim. Esc. Kg/mm ²	Along. %	Estric. %	HB	
1008 lam. quente trefilado	29 35 - 45	15 26 - 39	-- 20 - 30	-- 50 - 60	-- 95 - 121	55
1010 lam. quente trefilado	31 42	22 38	40,1 20,6	67,1 32,1	107 140	55
1015 lam. quente trefilado	33 47	22 42	39,7 19,0	66,5 61,3	113 150	60
1020 lam. quente trefilado	38 49	26 48	39,1 17,2	66,1 59,4	117 158	65
1022 lam. quente trefilado	45 56	28 52	38,5 17,2	66,0 60,7	121 145	70
1025 lam. quente trefilado	43 56	27 52	35,0 17,2	64,8 59,2	131 171	65
1030 lam. quente trefilado	50 58	31 53	31,0 16,0	63,0 57,0	140 177	70
1035 lam. quente trefilado	55 63	34 58	30,0 15,3	60,0 53,5	150 180	65
1040 lam. quente trefilado	58 70	37 65	28,9 15,1	57,6 54,6	163 192	60
1045 lam. quente trefilado	61 72	38 65	27,1 14,8	56,5 52,5	187 200	55
1050 lam. quente trefilado	65 63 - 80	36 56 - 70	-- 10 - 20	-- 30 - 45	-- 201 - 235	45
1060 lam. quente trefilado	72 79	39 49	-- 11	-- -	-- -	60

Fonte: http://www.paulisteel.com.br/site/images/online/cat%C3%A1logo_a%C3%A7os_downloads.pdf.