



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E
METALÚRGICAS DE UMA JUNTA DE AÇO ASTM A36 SOLDADO
PELO PROCESSO DE ARCO SUBMERSO (SAW)
COM DIFERENTES APORTES TÉRMICOS.**

Alexandre André Allgayer

Lajeado, junho de 2017.

Alexandre André Allgayer

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E
METALÚRGICAS DE UMA JUNTA DE AÇO ASTM A36 SOLDADO
PELO PROCESSO DE ARCO SUBMERSO (SAW)
COM DIFERENTES APORTES TÉRMICOS.**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Cristian Pohl
Meinhardt.

Lajeado, junho de 2017.

RESUMO

A soldagem de materiais é utilizada em grande escala na indústria metalmeccânica, sendo a maneira mais econômica para unir metais, sendo assim, desafia constantemente o setor industrial na busca por processos de fabricação que apresentem maior produtividade, com alta qualidade e custos reduzidos. Neste contexto, o processo de arco submerso (*submerged arc welding* - SAW) se destaca por sua alta produtividade e boa qualidade da junta soldada, sendo muito utilizado na soldagem de perfis estruturais. Dentre os aços estruturais existentes, um dos mais utilizados e conhecidos é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. Este aço é muito utilizado na confecção de perfis estruturais em diversos setores da indústria metalmeccânica como na construção civil. A velocidade de soldagem é um dos principais parâmetros do processo de soldagem, que influencia diretamente na produtividade do processo, assim como nas propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada. A utilização de diferentes velocidades de soldagem geram diferentes aportes térmicos, que pode ser entendida como a quantidade de calor envolvido no momento da soldagem, ou seja, diferentes aportes térmicos, geram diferentes taxas de extração de calor da poça de fusão para o metal de base a ser soldado. Estas diferentes condições de extração de calor ou de resfriamento, poderão produzir distintas transformações microestruturais, e estas transformações podem ser prejudiciais às propriedades mecânicas, principalmente à tenacidade na zona afetada pelo calor (ZAC). O presente estudo tem por objetivo aprofundar o conhecimento sobre o efeito de diferentes velocidades de soldagem nas propriedades mecânicas e metalúrgicas de uma junta do aço ASTM A36 soldado pelo processo de SAW. A avaliação das propriedades mecânicas e metalúrgicas será definida através de ensaios de dobramento, tração da junta soldada, ensaios de *Charpy-V* e caracterizações microestruturais, além de perfis de microdureza.

Palavras-chave: Soldagem. Aço ASTM A-36. Soldagem ao Arco Submerso (SAW).

ABSTRACT

The welding of materials is used on large scale in the metal industry, being the most economical way to join metals; therefore, it constantly challenges the industrial sector to search for manufacturing processes that present higher productivity, with high quality and reduced costs. In this context, the submerged arc welding process (SAW) stands out for its high productivity and good quality of the welded joint and is widely used in the welding of structural profiles. Among the existing structural steel, one of the most used and known is ASTM A36 – which is classified as a carbon steel with a medium mechanical strength. This steel is widely used in the manufacture of structural profiles in various sectors of the metalworking industry as well as in constructions. The welding speed is one of the main parameters of the welding process. This influences directly in the productivity process as well as in the mechanical and metallurgical properties of the weld. Different welding speeds generate different heat inputs, and it can be understood as the amount of heat involved in the welding time. Since we have different heat inputs, we will generate different heat extraction rates from the weld pool to the base metal. These different heat extraction conditions or cooling conditions may produce different microstructural changes, and these changes may be harmful to mechanical properties, especially toughness in the heat affected zone (HAZ). This study aims to deepen the understanding on the effect of different welding speeds in the mechanical and metallurgical properties of steel joint ASTM A36 welded by the SAW process. The evaluation of the mechanical and metallurgical properties will be made through bending tests, tensile test of the welded joint, Charpy-V test to check the toughness, microstructural characterization, and microhardness profiles.

Keywords: Welding. Steel ASTM A-36. Submerged Arc Welding (SAW)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Aplicações do aço A36	12
Figura 02 – Fluxograma das atividades	16
Figura 03 – Modelo de soldagem ao arco submerso	18
Figura 04 – Dispositivo de ensaio de dobramento	22
Figura 05 – Modelo de retirada de corpos de prova soldados	23
Figura 06 – Ensaio de tenacidade ao impacto	24
Figura 07 – Classificação dos corpos de prova	25
Figura 08 – Regiões de uma junta soldada	26
Figura 09 – Estrutura da ZAC de um aço de baixo carbono	28
Figura 10 – Diagrama de equilíbrio Fe-C	29
Figura 11 – (a) Desenho esquemático da ferrita de contorno de grão, (b) Formação de colunas de ferrita de contorno de grão na estrutura de grãos colunares de austenita do metal fundido e em (c) micrografia identificado a PF(G) em uma junta soldada.....	30
Figura 12 – (a) Desenho esquemático da ferrita poligonal intragranular e em (b) micrografia identificado a PF(I) em uma junta soldada.	31
Figura 13 – (a) Desenho esquemático da morfologia da ferrita acicular e em (b) micrografia identificado a AF em uma junta soldada.	31
Figura 14 – Em (a) e (b) Figura esquemática da morfologia das placas laterais de ferrita e (c) micrografia identificado a FS(A) em uma junta soldada.....	32
Figura 15 – Micrografia identificando a ferrita com segunda fase não alinhada em uma junta soldada.	32
Figura 16 – Micrografia identificando o microconstituente agregado Ferrita-Carboneto em uma junta soldada.	33
Figura 17 – Micrografia identificando o microconstituente Martensita (M) em uma junta soldada.....	33
Figura 18 – Ilustração esquemática da variação das microestruturas esperadas na ZAC.....	34
Figura 19 – Fluxograma das atividades práticas do estudo	35
Figura 20 – Chapa de Aço A36.....	36

Figura 21 – Fonte de soldagem SUMIG, modelo Autoarc 630 e carro propulsor.	37
Figura 22 – Chanfro definido para o processo de soldagem	38
Figura 23 – Chapas de aço soldadas para definição dos parâmetros.....	39
Figura 24 – Procedimentos antecedentes à soldagem	40
Figura 25 – Processo de soldagem.....	40
Figura 26 – Parâmetros com chapas soldadas	41
Figura 27 – Disposição das amostras na chapa soldada	42
Figura 28 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de dobramento	43
Figura 29 – Dispositivo de dobramento adaptado a máquina de tração	43
Figura 30 – Local da medição do ângulo de dobramento	44
Figura 31 – Perfilômetro	44
Figura 32 – Ilustração do posicionamento do corpo de prova no dobramento de raiz	45
Figura 33 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração do metal base e da junta soldada.....	46
Figura 34 – Máquina de ensaios de tração VERSAT	46
Figura 35 – Corpo de prova tipo A.....	47
Figura 36 – Detalhe do afastamento do corpo de prova referente a ZAC.	48
Figura 37 – Microdurômetro para ensaios de microdureza Vickers	49
Figura 38 – Espaçamento mínimo entre endentações.	50
Figura 39 – Esquema para ensaio de microdureza Vickers.	50
Figura 40 – Fotografias obtidas após o dobramento de raiz.	52
Figura 41 – Agravamento de defeito do cordão de solda	54
Figura 42 – Corpos de prova do metal base.	56
Figura 43 – Corpos de Prova – Velocidade 10 m/h	56
Figura 44 – Corpos de Prova – Velocidade 12 m/h	57
Figura 45 – Macrografia da junta soldada com a velocidade de 10 m/h.	59
Figura 46 – Macrografia da junta soldada com a velocidade de 12 m/h.	60
Figura 47 – Micrografias do metal base (200X e 400X).	61
Figura 48 – Micrografias da transição do MB para a ZAC (200X).....	61
Figura 49 – Micrografias da ZAC (200X e 400X).....	62
Figura 50 – Micrografia da transição da ZAC para o MS (200X).....	63
Figura 51 – Micrografia do metal de solda (200X e 400X)	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Resistência mecânica média dos corpos de prova	55
Gráfico 02 – Alongamento médio dos corpos de prova.....	55
Gráfico 03 – Médias da tenacidade do ensaio de <i>Charpy-V</i>	58
Gráfico 04 – Resultados do ensaio de microdureza	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição química [% em peso] do aço ASTM A36	19
Tabela 02 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A36	19
Tabela 03 – Dimensões para o dispositivo de dobramento guiado	22
Tabela 04 – Composição química [% em peso] do aço ASTM A36	36
Tabela 05 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A36	36
Tabela 06 – Composição química [% em peso] do arame AWS A5.17.....	37
Tabela 07 – Composição química [% em peso] do metal depositado pelo fluxo utilizado	38
Tabela 08 – Variações de velocidade para definição dos parâmetros.....	39
Tabela 09 – Parâmetros de soldagem dos corpos de prova	40
Tabela 10 – Ângulos do ensaio de dobramento	52
Tabela 11 – Propriedades mecânicas das amostras	53
Tabela 12 – Resultados da tenacidade ao impacto	57
Tabela 13 – Resultados do ensaio de microdureza	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Ferrita acicular
ARBL	Alta resistência e baixa liga
AWS	Sociedade Americana de Testes e Materiais
C	Carbono
FC	Ferrita-Carboneto
FS (A)	Ferrita com Segunda Fase Alinhada
FS (NA)	Ferrita com Segunda Fase Não Alinhada
LE	Limite de escoamento
LR	Limite de ruptura
M	Martensita
Mn	Manganês
MB	Metal base
MS	Metal de solda
PF	Ferrita Poligonal
PF (G)	Ferrita Primária de Contorno de Grão
PF (I)	Ferrita Poligonal Intragranular
SAW	Soldagem Arco Submerso
ZAC	Zona afetada pelo calor
ZF	Zona fundida

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema e objetivos.....	13
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Delimitação do trabalho.....	14
1.4 Estrutura do trabalho	15
1.5 Cronograma	15
1.6 Plano de trabalho	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Processo de soldagem ao arco submerso.....	17
2.2 Utilização do aço ASTM A36 para a fabricação d perfis estruturais	18
2.3 Soldabilidade do aço ASTM A36	19
2.4 Parâmetros de soldagem no processo de arco submerso	20
2.5 Qualificação / Caracterização mecânica da junta soldada	21
2.5.1 Ensaio de dobramento em uma junta soldada	21
2.5.2 Ensaio de tração da junta soldada.....	22
2.5.3 Ensaio de tenacidade ao impacto (<i>Charpy</i>)	24
2.6 Caracterização metalúrgica de uma junta soldada	25
2.6.1 Regiões de uma junta soldada.....	26
2.6.2 Aporte térmico (Energia de soldagem).....	26
2.6.3 Influência do aporte térmico na microestrutura de uma junta	27
2.6.4 Tipos de microestrutura possíveis em uma junta soldada.....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Material de base	36
3.2 Equipamento de soldagem por arco submerso	37
3.3 Consumíveis	37
3.4 Definição de chanfro.....	38
3.5 Parâmetros de soldagem.....	38
3.6 Processo de soldagem	39
3.7 Extração dos corpos de prova	41
3.8 Ensaio de dobramento.....	42
3.9 Ensaio de tração.....	45
3.10 Ensaio de <i>Charpy-V</i>	47

3.11 Metalografias	48
3.11.1 Macrografias	48
3.11.2 Micrografias	49
3.12 Ensaio de microdureza Vickers.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Ensaio de dobramento.....	51
4.2 Ensaio de tração.....	53
4.3 Ensaio de <i>Charpy-V</i>	57
4.4 Macrografias	59
4.5 Micrografias	60
4.6 Ensaio de microdureza Vickers.....	64
5 CONCLUSÕES	67
6 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

O novo cenário industrial passou a apresentar um aumento na concorrência entre as organizações, principalmente devido ao desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias em diversas áreas do conhecimento, assim como na soldagem de metais. O mercado passou a exigir do setor industrial uma maior produtividade com uma alta qualidade a custos baixos.

Segundo Zenoni (2001), a globalização da economia ajuda na disseminação de novas tecnologias, e acarreta em uma competição maior e mais acirrada, com a alteração da mentalidade do consumidor, em razão de que a cada dia que passa, novos produtos são apresentados e novas empresas surgem no mercado.

A soldagem, em um sentido amplo, é um processo versátil e econômico para a indústria mundial. Significa a união permanente de materiais onde os mesmos mantenham suas características mecânicas e químicas.

A soldagem por arco submerso é um processo muito utilizado em diversos e importantes setores da indústria metalmeccânica, como por exemplo, fabricação de estruturas metálicas, chassis de caminhões e carretas, além de perfis estruturais para a construção civil e construção naval. Todos estes, são setores que exigem uma alta produtividade e alta qualidade do metal de solda depositado. A Figura 01 apresenta algumas das aplicações para a soldagem por arco submerso, como perfis estruturais, chassis de caminhões e uma vasta utilização na construção civil.

Figura 01 – Aplicações do aço A36



Fonte: Do autor com base em pesquisa (2016).

Este tipo de processo apresenta alta produtividade principalmente pelos seguintes fatores: (a) alta eficiência energética em virtude de o arco elétrico estar submerso, assim permanece isolado do contato atmosférico; (b) alta taxa de deposição do arame e (c) elevado ciclo de trabalho (ou fator de operação), ou seja, a relação entre o tempo de arco efetivamente aberto e o tempo total de soldagem (tempo de arco aberto + tempo de preparação) é alta.

A soldagem por arco submerso está em constante evolução em virtude de novas formulações de arames e fluxos, além da implantação de processos de soldagem totalmente automatizado.

Ponderações a este processo é necessária quando o objetivo é a alta produção, pois uma maior velocidade de soldagem influi diretamente nas propriedades mecânicas do metal de solda depositado.

A velocidade é uma das variáveis mais importantes do processo de soldagem SAW, influi diretamente no aporte térmico e por consequência altera as características mecânicas e metalúrgicas da junta soldada.

Quanto maior a velocidade de soldagem, menor é o aporte térmico e, conseqüentemente, maior a taxa de resfriamento, que influencia diretamente na formação das fases, podendo formar fases mais duras com menor tenacidade.

Segundo Brandi (1992) velocidades excessivas diminuem a ação de caldear, aumentando a tendência a mordeduras, ao apagamento do arco, propiciando o

surgimento de trincas e porosidades. Por outro lado, velocidades excessivamente baixas produzem cordões com excessivo reforço, que estão mais sujeitos a trinca.

1.1 Tema e objetivos

O presente trabalho tem como tema o estudo do efeito de diferentes velocidades de soldagem nas propriedades mecânicas e metalúrgicas de uma junta do aço ASTM A36 soldado pelo processo SAW.

O objetivo principal deste estudo é avaliar as propriedades mecânicas da junta soldada através de ensaios de dobramento, tração e *Charpy-V*, além de caracterizar as alterações microestruturais ocorridas na junta soldada, através de micrografias e ensaios de microdureza.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Otimizar parâmetros de velocidade ao processo, para a soldagem de chapas de ASTM A36 com 10mm de espessura soldada pelo processo SAW.
- Utilizar duas velocidades de soldagem e calcular o aporte térmico para cada condição de soldagem.
- Verificar a influência das diferentes velocidades de soldagem nas propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada.
- Realizar a avaliação das propriedades mecânicas e metalúrgicas através de ensaios de dobramento, tração da junta soldada, ensaios de *Charpy-V* e caracterizações microestruturais, além de perfis de microdureza.
- Realizar a qualificação da junta soldada pelo processo de soldagem SAW.

1.2 Justificativa

O aço ASTM A36 é um aço estrutural muito utilizado em diversos setores da indústria metalmeccânica, pois apresenta uma boa soldabilidade e uma média

resistência mecânica. Os perfis estruturais fabricados em chapas de aço soldadas possuem média resistência e são aplicados em componentes estruturais variados, desde os mais comuns até os mais elaborados, tais como: estruturas metálicas em geral, máquinas, serralheria, passarelas e implementos agrícolas, além de implementos rodoferroviários.

Sabe-se que o processo de soldagem altera localmente as propriedades da junta, e que a operação de soldagem pode inserir defeitos no material. Este é um dos motivos, pelo qual percebe-se em todos estes segmentos, uma intensa busca pela melhoria na qualidade das juntas soldadas na fabricação destas estruturas, tendo como maior objetivo evitar o risco de acidentes, através de rupturas na região da solda.

Atualmente, existem várias pesquisas e desenvolvimento de novas técnicas de soldagem, sempre objetivando a seleção de métodos mais adequados para aplicações específicas.

Neste contexto, o domínio da tecnologia do processo de soldagem por arco submerso e o aprofundamento do conhecimento sobre a influência do aumento da velocidade de soldagem/produzitividade na qualidade das soldas é de fundamental importância para o engenheiro que atua no setor metal mecânico, especificamente na área de soldagem.

1.3 Delimitação do trabalho

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de executar um estudo qualitativo sobre o processo de soldagem SAW, com o intuito de observar a variação das propriedades mecânicas e metalúrgicas do material em estudo.

Para o desenvolvimento deste estudo foi selecionada uma junta de aço ASTM A36, onde durante o processo de soldagem foi variada apenas a velocidade de soldagem, permanecendo os outros parâmetros inalterados.

Com a utilização dos equipamentos disponíveis nos laboratórios do Centro Universitário Univates, foram realizadas as soldas, assim como os ensaios para classificar a qualidade do experimento.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se a introdução, que aponta o contexto em que está inserido o assunto, no qual também estão os objetivos, seguidos da justificativa, delimitação do trabalho, e ainda, a estrutura juntamente com o cronograma e fluxograma. No segundo capítulo está a revisão bibliográfica referente à realização deste trabalho. O terceiro capítulo descreve os materiais e métodos a serem utilizados para a elaboração deste estudo. O quarto capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho e, por fim, o quinto capítulo estão as conclusões do mesmo.

1.5 Cronograma

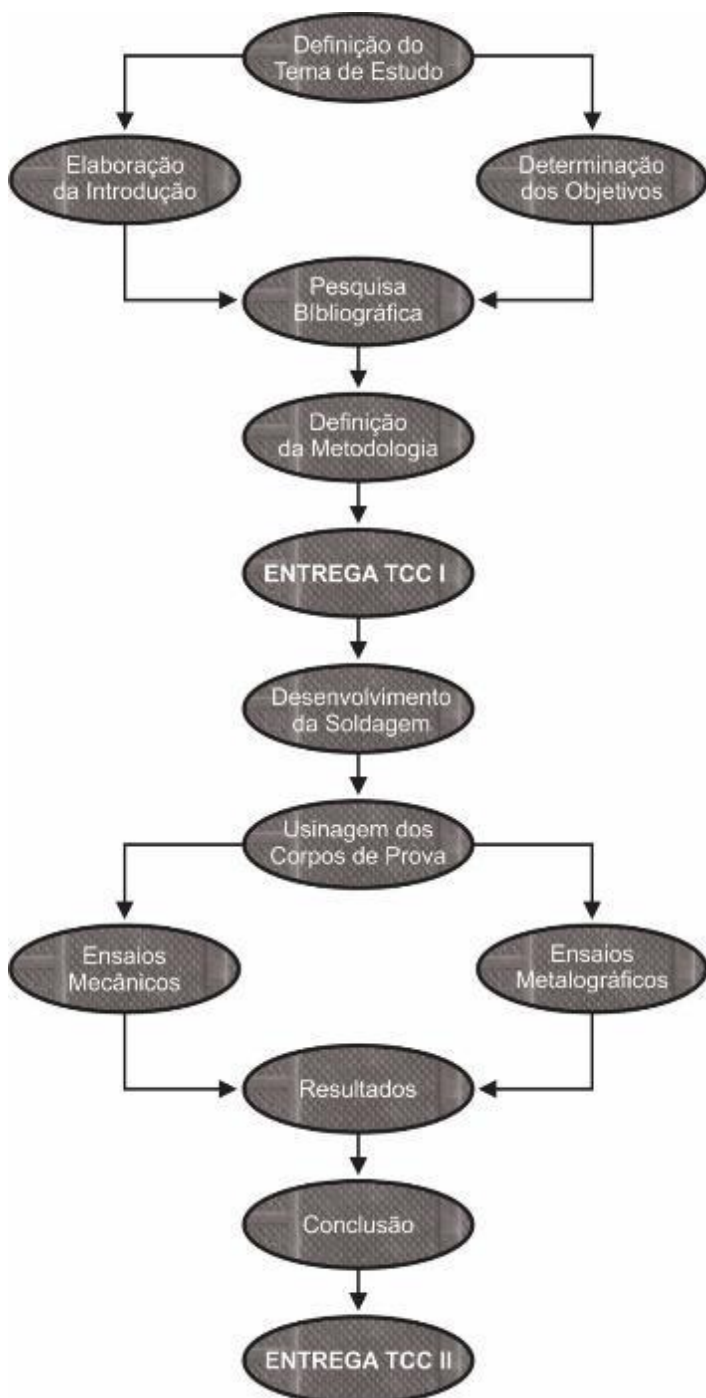
ATIVIDADE	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
Definição do tema de estudo	■	■									
Elaboração da introdução			■								
Determinação dos objetivos			■								
Pesquisa bibliográfica				■	■						
Definição da metodologia					■						
Entrega do Trabalho de Conclusão de Curso I						■					
Desenvolvimento da soldagem							■	■			
Usinagem dos corpos de prova								■	■		
Ensaio mecânicos									■		
Ensaio metalográficos										■	
Apresentação e entrega do Trabalho Final											■

Fonte: Do autor (2017).

1.6 Plano de trabalho

Um plano de trabalho foi elaborado, de acordo como está apresentado no fluxograma, (FIGURA 02) para ter uma melhor visão de como as atividades acontecerão no decorrer do desenvolvimento do mesmo.

Figura 02 – Fluxograma das atividades



Fonte: Do autor (2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

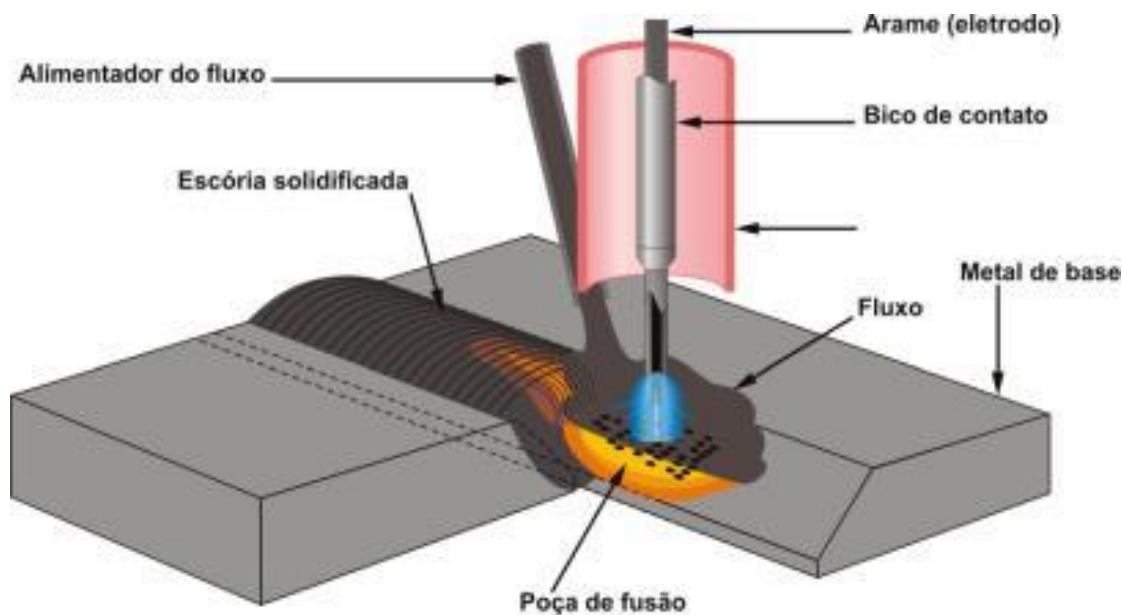
2.1 Processo de soldagem ao arco submerso

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), o método de soldagem por arco submerso (*Submerged Arc Welding – SAW*) é um sistema no qual a soldagem entre metais ocorre pelo aquecimento e fusão destes através de um arco elétrico combinado entre um eletrodo, o arame tubular, e a peça de trabalho. Durante o processo o arco fica coberto por uma camada de fluxo granular que funciona como um isolante físico e térmico, garantido uma excelente concentração de calor que irá propiciar uma alta penetração, além de proteger a poça de fusão de possíveis contaminações atmosféricas.

O calor provocado pelo arco elétrico funde parte do fluxo, juntamente com o arame e parte do metal de base, originando a poça de fusão. Na Figura 03 é ilustrada a formação da poça de fusão no processo SAW.

Segundo Brandi (1992), uma das características de soldagem com o arco submerso, está no seu elevado aproveitamento, pois não apresenta perdas de metal por projeção, ou seja, é um processo econômico, além de ser rápido. Processos SAW costumam evidenciar uma boa tenacidade e boa resistência ao impacto, com uma boa homogeneidade e acabamento dos cordões de solda. As propriedades mecânicas da junta soldada costumam ser equivalentes às do metal de base utilizado.

Figura 03 – Modelo de soldagem ao arco submerso



Fonte: EBAH(a) (digital).

2.2 Utilização do aço ASTM A36 para a fabricação de perfis estruturais

Existem diversos aços produzidos em uma vasta variedade de formas e tipos, cada qual satisfazendo eficientemente a um ou mais seguimentos, tais como, chapas, perfis, tubos e barras.

Na construção civil os chamados aços estruturais possuem maior relevância, pois apresentam média e alta resistência mecânica, termo intitulado à todos os aços que, correspondente à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são apropriados para a utilização em elementos da construção, submetidos a carregamento (METALPLAN, texto digital).

Dentre os aços estruturais presentes atualmente, o mais empregado e afamado é o ASTM A36, que é categorizado como um aço carbono de média resistência mecânica e com boa soldabilidade, pois apresenta pequenas quantidades de carbono. Um ponto negativo deste material é sua propensão de ferrugem, caso não houver um revestimento.

As Tabelas 01 e 02 apresentam, respectivamente a composição química e as

propriedades mecânicas para o aço ASTM A36, estabelecidas pela norma ASTM A36.

Tabela 01 – Composição química [% em peso] do aço ASTM A36

COMPOSIÇÃO QUÍMICA [%]					
C máximo	Mn	P máximo	S máximo	Si máximo	Cu mínimo
0,28	0,60 - 0,90	0,04	0,05	0,4	0,2

Fonte: Do autor, adaptado da Norma ASTM A 36 (2008).

Tabela 02 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A36

PROPRIEDADES MECÂNICAS	
Limite de Escoamento (LE)	250 MPa
Limite de Ruptura (LR)	400 - 550 MPa
Alongamento	23%

Fonte: Do autor, adaptado da Norma ASTM A 36 (2008).

2.3 Soldabilidade do aço ASTM A36

A AWS - *American Welding Society* (2003) caracteriza soldabilidade como “a possibilidade de um material ser soldado nas exigências de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma propícia e de se comportar adequadamente em serviço”.

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a maioria das ligas metálicas são soldáveis, no entanto, algumas ligas são mais difíceis que outras, dependendo do processo utilizado. Além disso, o desempenho esperado para uma junta soldada depende fundamentalmente da aplicação destinada. Assim, para determinar a soldabilidade de um material, é necessário considerar o processo, o procedimento de soldagem e sua aplicação. Também, é fundamental conhecer bem o material que será soldado, o projeto da solda e da estrutura, além dos requerimentos de serviço, como cargas e condições ambientais.

Segundo Moreira (2008), os teores de C e Mn e os níveis de impureza influenciam na soldabilidade dos aços carbono. Os aços com percentuais de até 0,15% de carbono possuem excelente soldabilidade por serem pouco temperáveis.

Aços com percentuais entre 0,15% e 0,30% de carbono possuem boa soldabilidade, entretanto, existe a possibilidade de endurecimento.

Os aços estruturais ASTM A36 são aços de baixo carbono, como consequência, apresentam uma boa soldabilidade.

2.4 Parâmetros de soldagem no processo de arco submerso

As variáveis a serem consideradas na soldagem por arco submerso podem ser aqueles pré-determinados ainda na fase de projeto, como tipo e espessura do metal de base e propriedades requeridas para o metal de solda, além dos parâmetros decididos na fase inicial da produção e, em alguns casos, determinados em função da disponibilidade de equipamentos, como tipo do equipamento, projeto da junta, posicionamento da peça e do eletrodo, além dos parâmetros primários, tais como: corrente, tensão do arco, velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame, combinação eletrodo-fluxo, diâmetro do eletrodo, distância do tubo de contato/peça (*stickout*), entre outras.

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011) as principais variáveis em um processo de soldagem por arco submerso em ordem de importância são:

- Valor e tipo de corrente: Influi diretamente na taxa de fusão do eletrodo, na taxa de deposição, na penetração, no reforço e na diluição.
- Tipo de fluxo e distribuição granulométrica das partículas.
- Tensão: Influencia diretamente no comprimento do arco, na largura do cordão e no consumo de fluxo e inversamente na penetração e no reforço.
- Velocidade de soldagem: Controla o tamanho do cordão e a penetração.
- Diâmetro do eletrodo: Afeta diretamente na geometria do cordão e na taxa de deposição.
- Extensão do eletrodo.

- Tipo de eletrodo.
- Largura e profundidade da camada de fluxo: Influencia na aparência da solda e no arco de soldagem.

2.5 Qualificação / Caracterização mecânica da junta soldada

2.5.1 Ensaio de dobramento em uma junta soldada

O ensaio de dobramento é um ensaio simples e muito importante para a qualificação de uma junta soldada. Consiste no dobramento de uma seção do componente contendo a junta soldada.

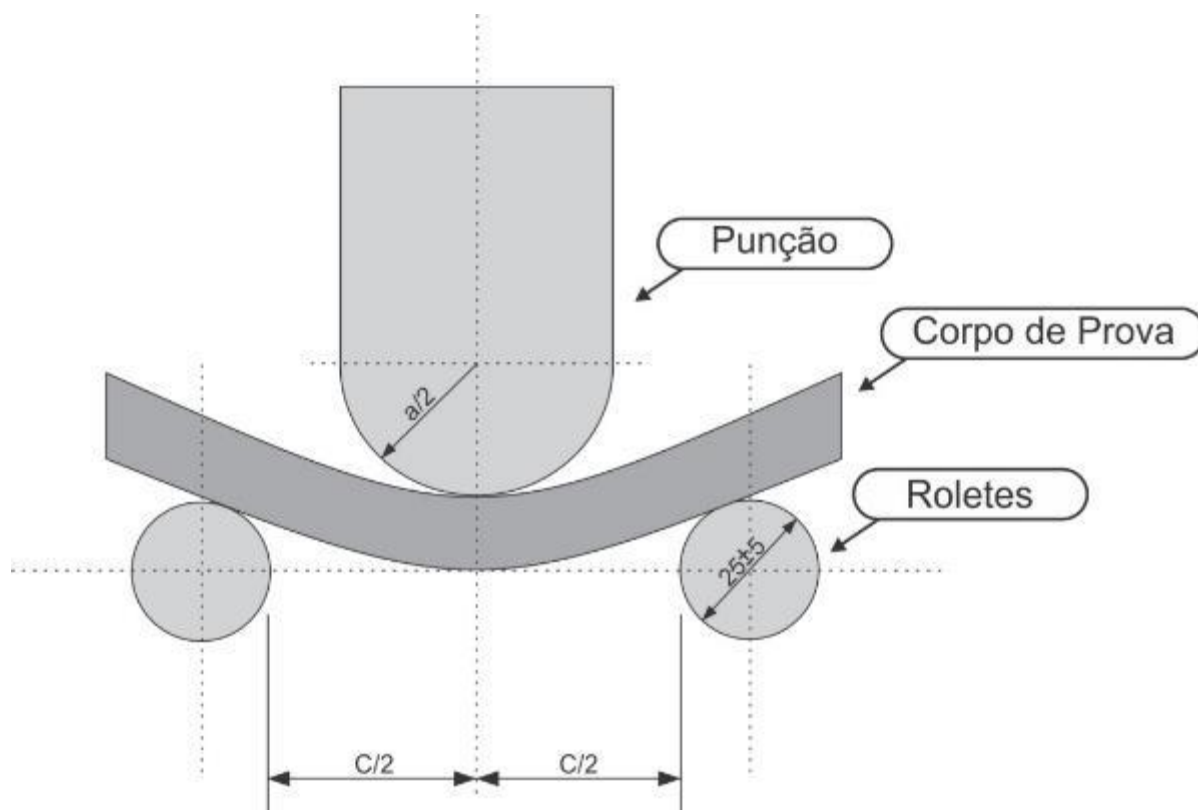
É um ensaio que fornece uma indicação qualitativa da ductilidade do material após a soldagem e se houve união propriamente dita. Este ensaio tem por objetivo o controle da qualidade da junta soldada, sendo possível verificar problemas de soldagem, como por exemplo: trincas, mordeduras, falta de fusão entre passes, falta de penetração, etc. Todos esses defeitos podem interferir no comportamento dos materiais em serviço.

Segundo a norma ASME V, o ensaio de dobramento guiado está representado na Figura 04 e segue o seguinte princípio de funcionamento:

Um corpo de prova (TABELA 03) retangular e transversal à solda é extraído da chapa soldada. Esta seção é colocada centrada entre os apoios, onde é submetida à carga do cutelo até que sua curvatura seja tal que se torne impossível inserir um fio de um milímetro de diâmetro entre as extremidades da seção e as superfícies laterais do cutelo.

Para satisfazer o ensaio de dobramento não devem ser observadas, em nenhuma seção, trincas ou falhas medindo mais que três milímetros em qualquer direção na superfície convexa.

Figura 04 – Dispositivo de ensaio de dobramento



Fonte: Do autor, adaptado da Norma ASME V.

Tabela 03 – Dimensões para o dispositivo de dobramento guiado

E (mm)	A (mm)	C (mm)
3,2 ± 0,2	13	22,8
3,7 ± 0,2	15	25,8
6,2 ± 0,2	25	40,8
7,5 ± 0,2	30,8	48,4
10,0 ± 0,2	40	63,4

E = espessura do corpo de prova

Fonte: Do autor, adaptado da Norma ASME V.

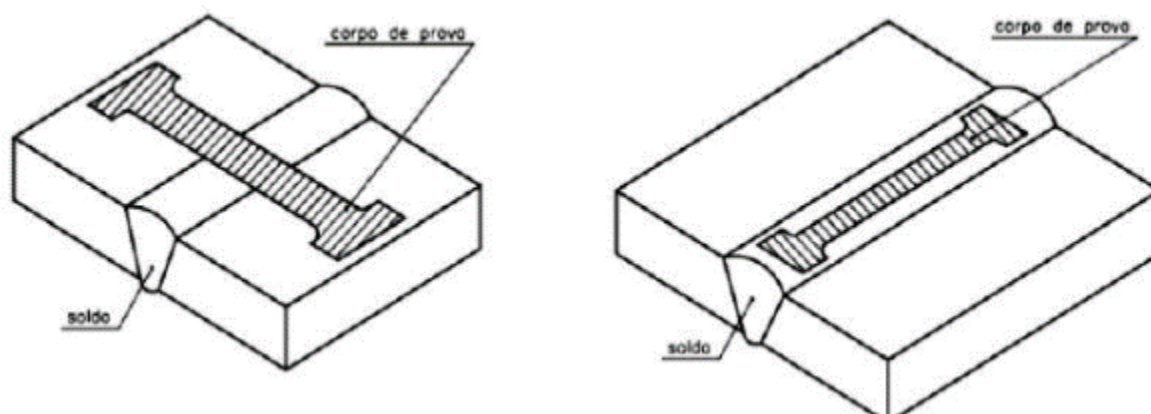
2.5.2 Ensaio de tração da junta soldada

Para a padronização do ensaio de tração é utilizada a norma ASTM E8/E8M (2011) (ASTM – *American Society for Testing and Materials*). O ensaio de tração tem por objetivo conhecer à capacidade do material em suportar solicitações quando aplicado um esforço que tende a alongá-lo em direção uniaxial, de uma maneira constante ao longo do tempo até sua ruptura. Assim, podem ser determinadas

quantitativamente as propriedades mecânicas, tais como: resistência à tração, o limite de escoamento, módulo de elasticidade, módulo de resiliência, o coeficiente de Poisson, alongamento (ductilidade), entre outros.

Para confecção do corpo de prova é necessário à consulta de normas para a determinação das dimensões conforme sua seção transversal, que geralmente são circulares ou retangulares. Os corpos de prova destinados ao ensaio de tração podem ser retirados do material soldado no sentido transversal ou no sentido longitudinal em relação ao cordão de solda. A Figura 05 ilustra a retirada destes corpos de prova.

Figura 05 – Modelo de retirada de corpos de prova soldados



Fonte: ASTM E8/E8M (2011).

Segundo a norma técnica interna SABESP-NTS 034 (1999), a resistência à tração da solda compreendendo a zona de fusão de cada seção deve ser igual ou maior que a mínima resistência à tração especificada para o material de base.

Se a seção se romper fora da solda ou na zona de fusão, e a resistência for igual ou superior à especificada para o metal base, a seção será aprovada.

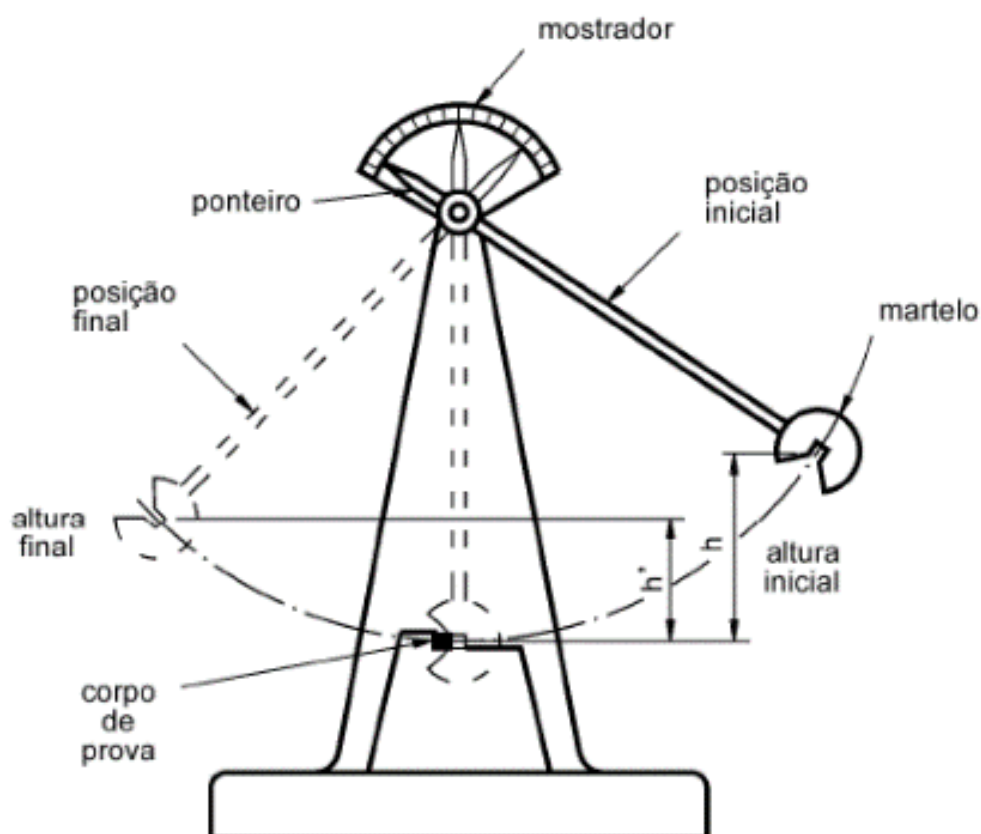
Se a seção se romper na solda ou na zona de fusão e a resistência observada forem, igual ou maior que a especificada para o metal base, a seção será considerada aprovada.

Se a seção se romper na solda ou na zona de fusão, com resistência abaixo da especificada para o metal base, a seção será reprovada.

2.5.3 Ensaio de tenacidade ao impacto (*Charpy*)

Para a padronização do ensaio de tenacidade ao impacto (*Charpy*) é utilizada a norma ASME E23 (2007), o ensaio consiste em submeter um corpo de prova entalhado, a uma flexão provocada por impacto através de um martelo pendular, sistema representado na Figura 06. O ensaio propicia determinar a energia empregue na deformação e ruptura do corpo de prova. Esta é medida através da diferença entre a altura inicial do pêndulo h e a altura máxima alcançada após o rompimento do corpo de prova h' . A energia absorvida está diretamente relacionada a fragilidade do material a determinadas solicitações dinâmicas, ou seja, quanto menor for a energia absorvida, mais frágil será o desempenho do material.

Figura 06 – Ensaio de tenacidade ao impacto



Fonte: ASME E23 (2007).

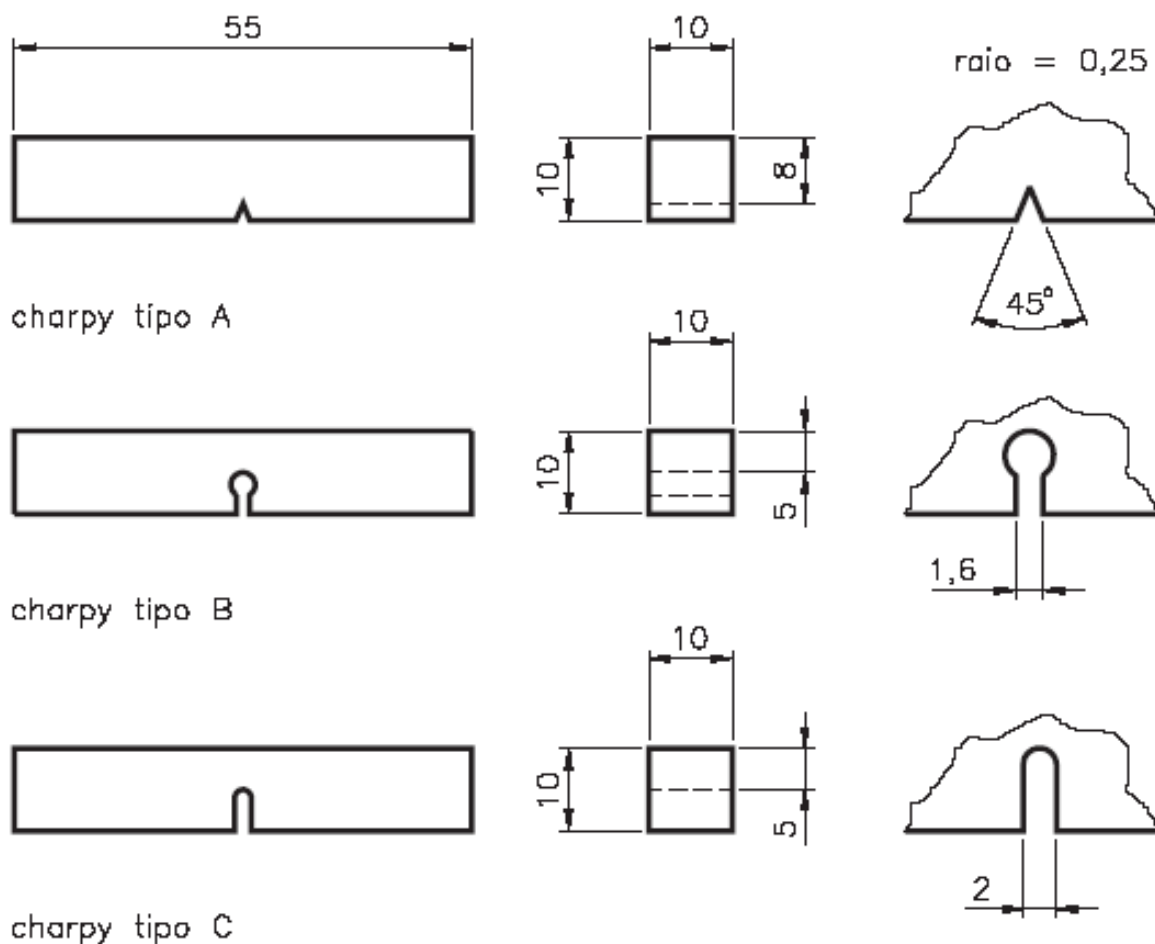
A principal vantagem do teste *Charpy* é a simplicidade, o baixo custo, além do tamanho reduzido do corpo de prova. O teste ainda pode ser executado em diversos campos de temperaturas. Além disso, o corpo de prova é adequado para medir as diferenças de comportamento para materiais de baixa resistência ao impacto como

os aços estruturais. Também é, frequentemente, usado para fins de controle de qualidade e de aprovação de materiais.

Os corpos de prova *Charpy* são classificados em tipo A, B e C, representados na Figura 07, com seção quadrada de 10 mm, comprimento de 55 mm e entalhe no centro do corpo de prova.

O tipo A tem o entalhe na forma de V, o tipo B na forma de buraco de fechadura e o tipo C na forma de U.

Figura 07 – Classificação dos corpos de prova



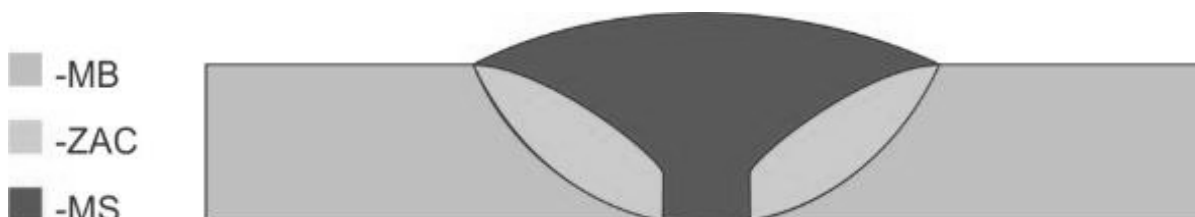
Fonte: ASME E23 (2007).

2.6 Caracterização metalúrgica de uma junta soldada

2.6.1 Regiões de uma junta soldada

Uma junta soldada é composta por três regiões bem definidas, representadas na Figura 08. Estas são: (a) Metal Base (MB); (b) Zona Afetada pelo Calor (ZAC) e (c) Metal de Solda (MS).

Figura 08 – Regiões de uma junta soldada



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a zona fundida (ZF) é formada pelo metal de solda, que representa a soma da parte fundida do metal de base e do metal de adição.

A zona afetada pelo calor (ZAC) é a região do metal base aquecida durante a soldagem a temperaturas capazes de causarem mudanças na microestrutura e propriedades do material, podendo ser a região mais crítica de uma junta soldada.

O metal base (MB), definido para a aplicação, é a região do metal a ser soldado que não ocorre alteração na microestrutura, por consequência as propriedades mecânicas permanecem inalteradas.

2.6.2 Aporte térmico (Energia de soldagem)

Segundo Zeemann (2003), a energia de soldagem é um parâmetro de elevada importância metalúrgica, pois juntamente com as características geométricas da junta é determinante nos ciclos térmicos impostos ao material (temperatura de pico, por exemplo) e, portanto nas possíveis transformações microestruturais e no comportamento da junta soldada.

Quanto mais alta for a energia de soldagem aplicada na junta soldada, maior será o calor transferido para esta, maior será a poça de fusão, e por consequência mais larga a ZAC, entre outros efeitos. Por outro lado, a utilização de baixos valores

pode provocar falhas de penetração, assim como elevadas velocidades de resfriamento, o que, em certas ocasiões, pode ser prejudicial.

A energia de soldagem absorvida pela junta soldada é dada pela Equação 1:

$$E = \frac{\eta \cdot V \cdot I}{v} \quad (1)$$

Onde:

E: Energia de soldagem (J/mm)

η : Eficiência térmica do processo

V: Tensão de soldagem (V)

I: Corrente de soldagem (A)

v: Velocidade de soldagem (mm/s)

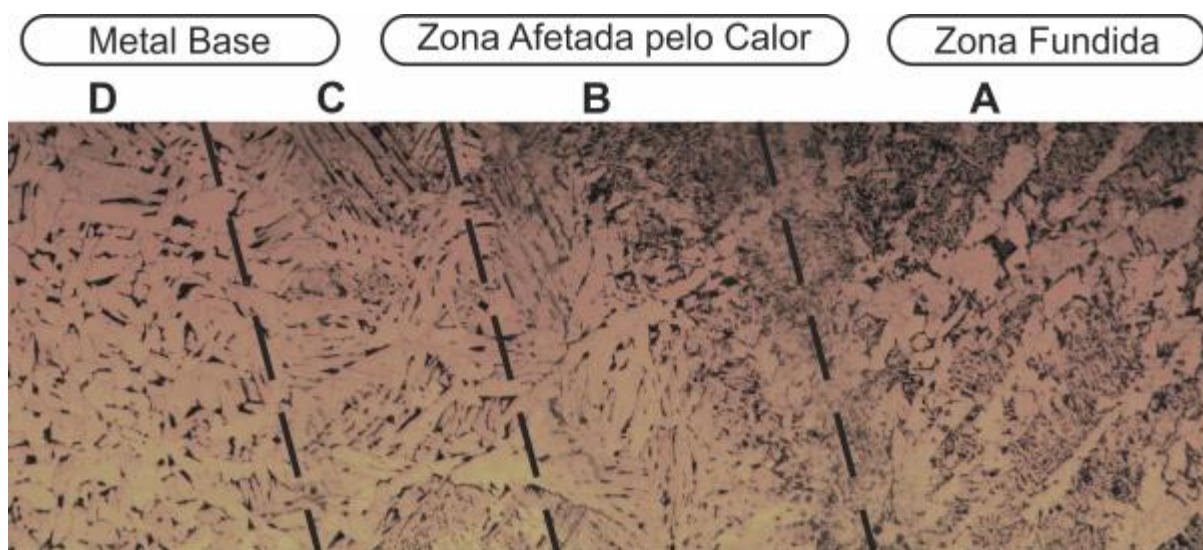
2.6.3 Influência do aporte térmico na microestrutura de uma junta

Pode-se entender como aporte térmico, a quantidade de calor fornecida localmente a junta, que influencia nas condições de solidificação da poça de fusão e posteriores transformações de fase que ocorrerão nas regiões da junta soldada.

A ZAC é a região próxima à zona fundida que sofre alterações micro estruturais devido ao ciclo térmico produzido pelo processo de soldagem, como pode ser observado na Figura 09. As alterações nesta região dependerão basicamente do tipo de metal de base utilizado, do procedimento para execução da soldagem e do processo de soldagem utilizado.

Segundo Marques (2011), dependendo do material utilizado na soldagem, os efeitos do ciclo térmico poderão ser os mais variados, onde apresenta a estrutura da zona afetada pelo calor de um aço de baixo carbono. Para materiais não transformáveis a mudança estrutural mais marcante será o crescimento de grão, já em materiais transformáveis teremos mudanças estruturais mais complexas.

Figura 09 – Estrutura da ZAC de um aço de baixo carbono



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011).

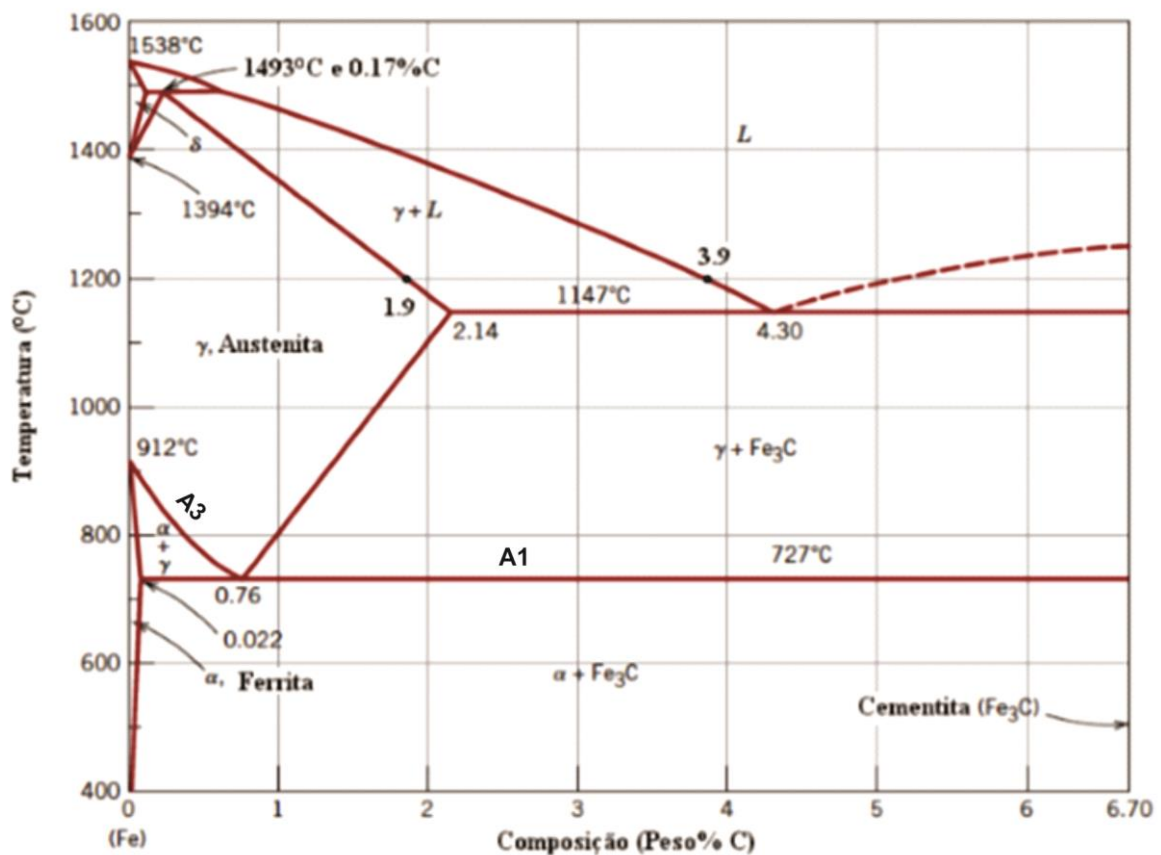
Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), dependendo do aporte térmico utilizado no processo, o ciclo térmico pode dividir a ZAC em quatro zonas, as quais apresentam diferentes características metalúrgicas, e conseqüentemente, diferentes propriedades mecânicas. São elas:

- Região de granulação Grosseira (A): Também conhecida como região de crescimento de grão, corresponde a porções do metal base aquecidas acima de sua temperatura de crescimento de grão (em geral, em torno de 1200°C), tendo uma microestrutura caracterizada pelo seu elevado tamanho de grão.
- Região de Normalização (B): Região que se situa mais afastada da linha de fusão que a anterior, sendo submetida durante a soldagem, a temperaturas de pico que ficam entre 1200°C e a linha A3 (Diagrama Fe-C – FIGURA 10). Esta região é caracterizada por uma estrutura de granulação fina, similar à dos aços normalizados. Esta região não é considerada problemática para a maioria dos aços, exceto para aqueles temperados e revenidos, onde ela pode apresentar menor resistência mecânica que o metal base.
- Região Intercrítica (C): Região em que o material é aquecido, durante a soldagem, entre as linhas A3 e A1 (Diagrama Fe-C) e sofre uma transformação parcial, isto é, apenas parte de sua estrutura é transformada em austenita, que se decompõe em seguida durante o resfriamento. Em um aço com uma estrutura de ferrita e perlita antes da soldagem, as regiões perlíticas (com cerca de 0,8% de

carbono) e uma quantidade variável da ferrita junto à perlita se transformam em austenita durante a soldagem. No resfriamento, estas regiões que se apresentam com um teor de carbono maior do que teor médio do aço, podem se transformar em martensita se a velocidade de resfriamento for suficientemente elevada.

- Região Subcrítica (D): Região que apresenta pequenas alterações microestruturais visíveis ao microscópio óptico em aços na condição laminado a quente ou normalizado. Estas se resumem basicamente a uma pequena esferoidização da perlita. Em aços temperados e revenidos, as alterações microestruturais são mais intensas, ocorrendo um super-revenido das regiões da ZAC aquecidas acima da temperatura original de tratamento. Nestas condições, a região intercrítica é mais extensa e apresenta uma queda de dureza em relação ao metal base.

Figura 10 – Diagrama de equilíbrio Fe-C



Fonte: EBAH(b) (digital).

Segundo Albuquerque (2011), uma granulação grosseira no metal de solda não é necessariamente prejudicial à tenacidade, desde que o microconstituente presente nesta região da junta soldada seja predominantemente constituído de Ferrita Acicular (AF). Este microconstituente apresenta granulação fina e entrelaçada,

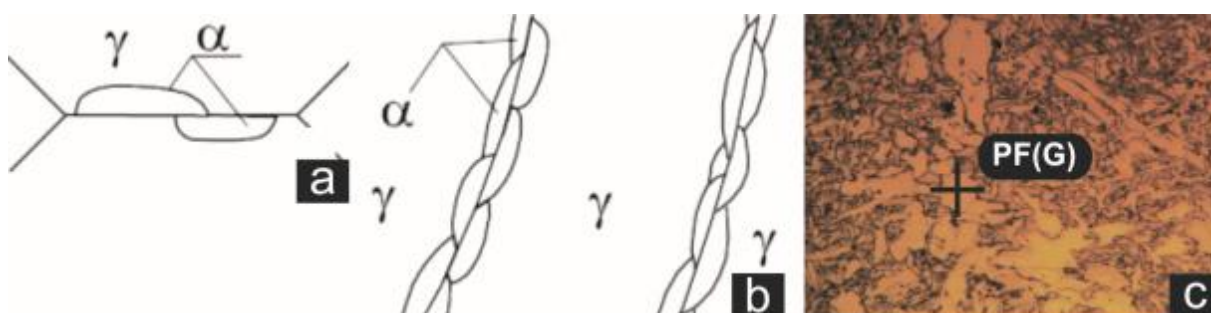
composta por finas ripas de ferrita com cementita entre estas ripas. Devido à distribuição caótica das ripas de ferrita, a presença deste microconstituente é favorável ao aumento da tenacidade no metal de solda de aços com alta resistência e baixa liga (ARBL), possibilitando uma boa relação entre resistência e tenacidade.

2.6.4 Tipos de microestrutura possíveis em uma junta soldada

Os diversos elementos presentes em metais de solda não estão padronizados. Segundo o Instituto Internacional de Soldagem (IIW/IIS) (THEWLIS 2004), que adotou uma terminologia baseado fundamentalmente em observações feitas em microscópio ótico e na relação constituinte-tenacidade.

- Ferrita Primária de Contorno de Grão - PF(G): consiste no primeiro produto a se constituir na transformação da austenita, formando-se a proporções de resfriamento muito prolongadas.

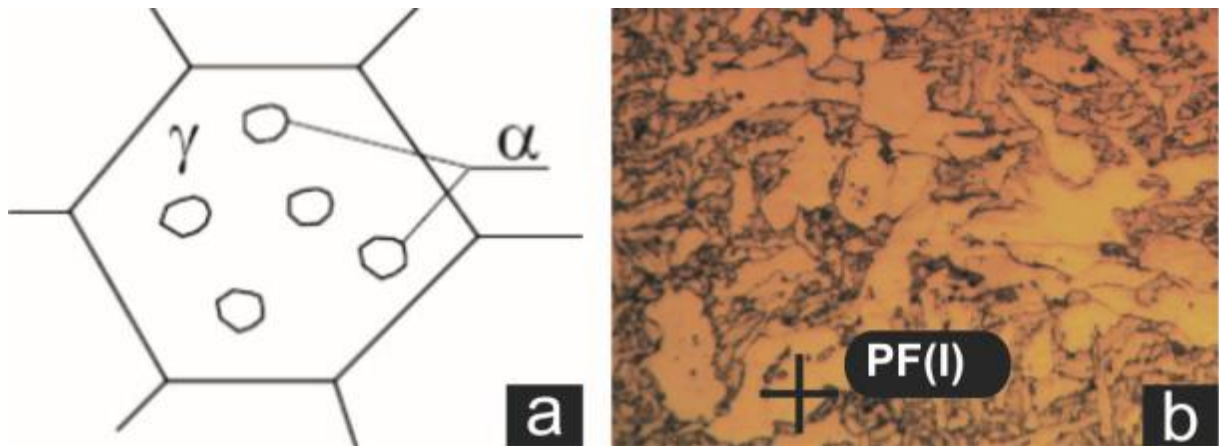
Figura 11 – (a) Desenho esquemático da ferrita de contorno de grão, (b) Formação de colunas de ferrita de contorno de grão na estrutura de grãos colunares de austenita do metal fundido e em (c) micrografia identificado a PF(G) em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Ferrita Poligonal Intragranular - PF(I): apresenta-se na forma de grãos, normalmente poligonais, e nucleia quase que unicamente no interior dos grãos austeníticos.

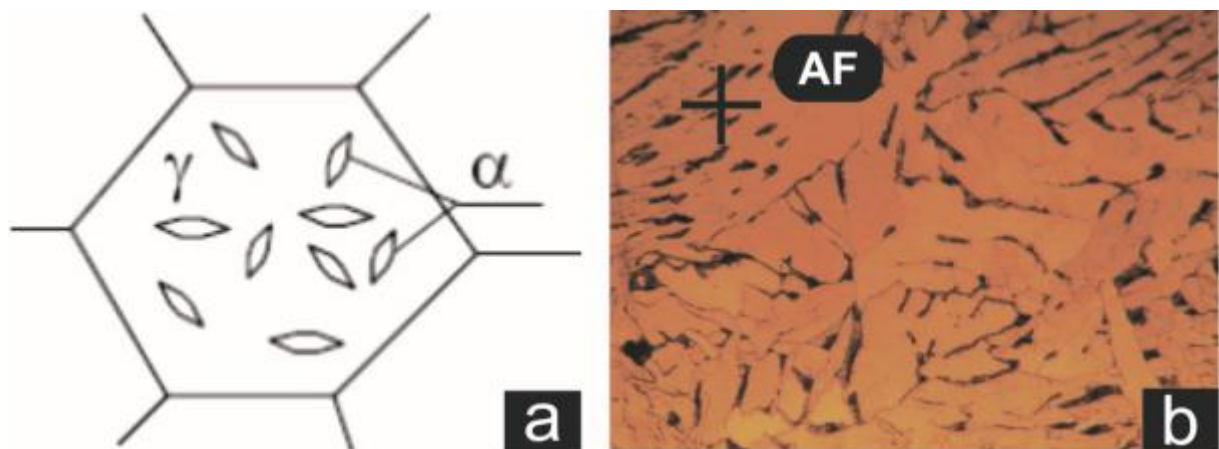
Figura 12 – (a) Desenho esquemático da ferrita poligonal intragranular e em (b) micrografia identificado a PF(I) em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Ferrita Acicular - AF: apresenta-se na forma de grãos intensamente finos de ferrita não paralelas, nucleando-se no interior do grão da austenita.

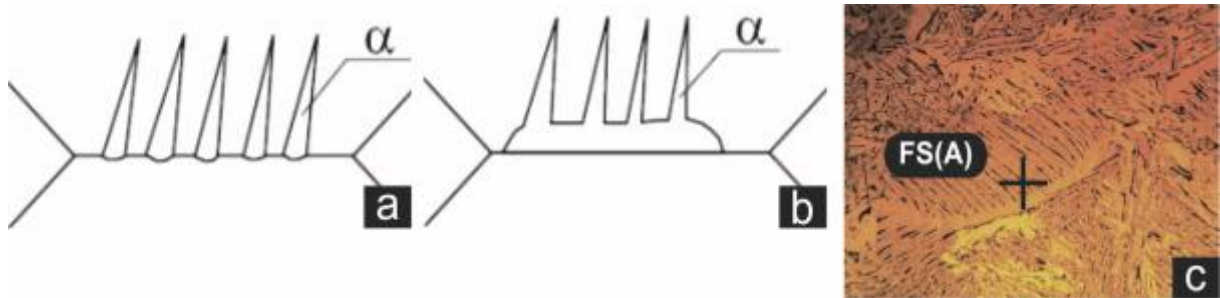
Figura 13 – (a) Desenho esquemático da morfologia da ferrita acicular e em (b) micrografia identificado a AF em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Ferrita com Segunda Fase Alinhada - FS(A): formada por grãos grosseiros e paralelos que crescem ao longo de um plano, formando duas ou mais ripas de ferrita paralelas.

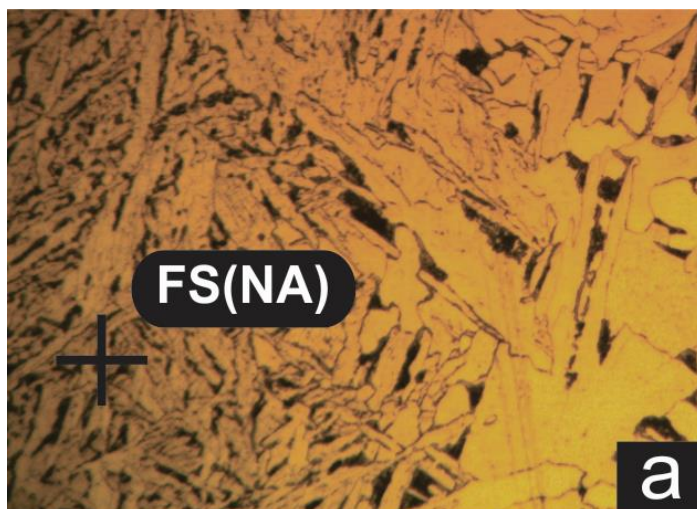
Figura 14 – Em (a) e (b) Figura esquemática da morfologia das placas laterais de ferrita e (c) micrografia identificando a FS(A) em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Ferrita com Segunda Fase Não Alinhada - FS(NA): formada por ferrita circundando microconstituintes ou ripas de ferrita acicular. Não se apresenta em forma paralela como a FS(A).

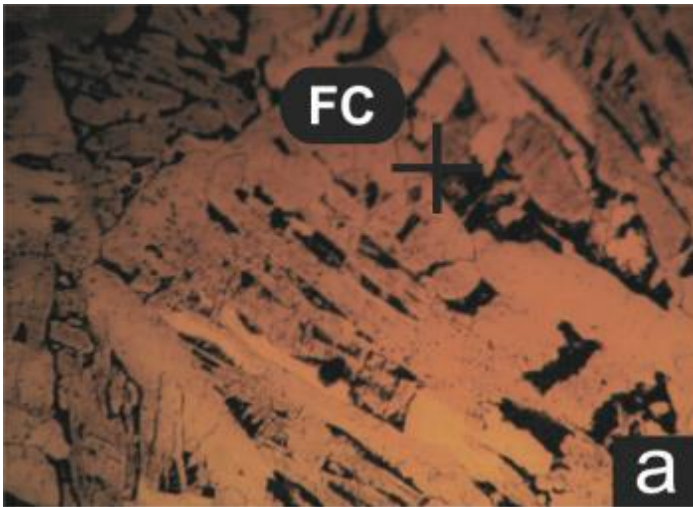
Figura 15 – Micrografia identificando a ferrita com segunda fase não alinhada em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Agregado Ferrita-Carboneto - FC: constituinte com estrutura fina de ferrita e carbonetos, incluindo perlita e ferrita com interfaces de carboneto.

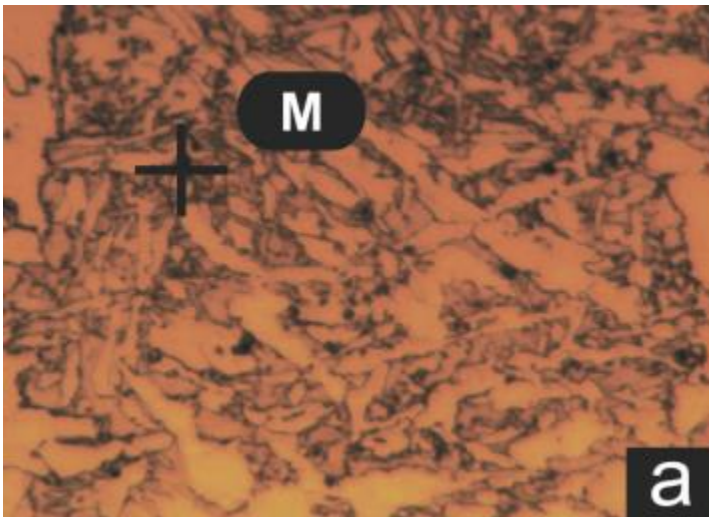
Figura 16 – Micrografia identificando o microconstituente agregado Ferrita-Carboneto em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Martensita - M: constituinte formado como produto final da modificação da austenita sob condições de alta taxa de resfriamento e elevado teor de C.

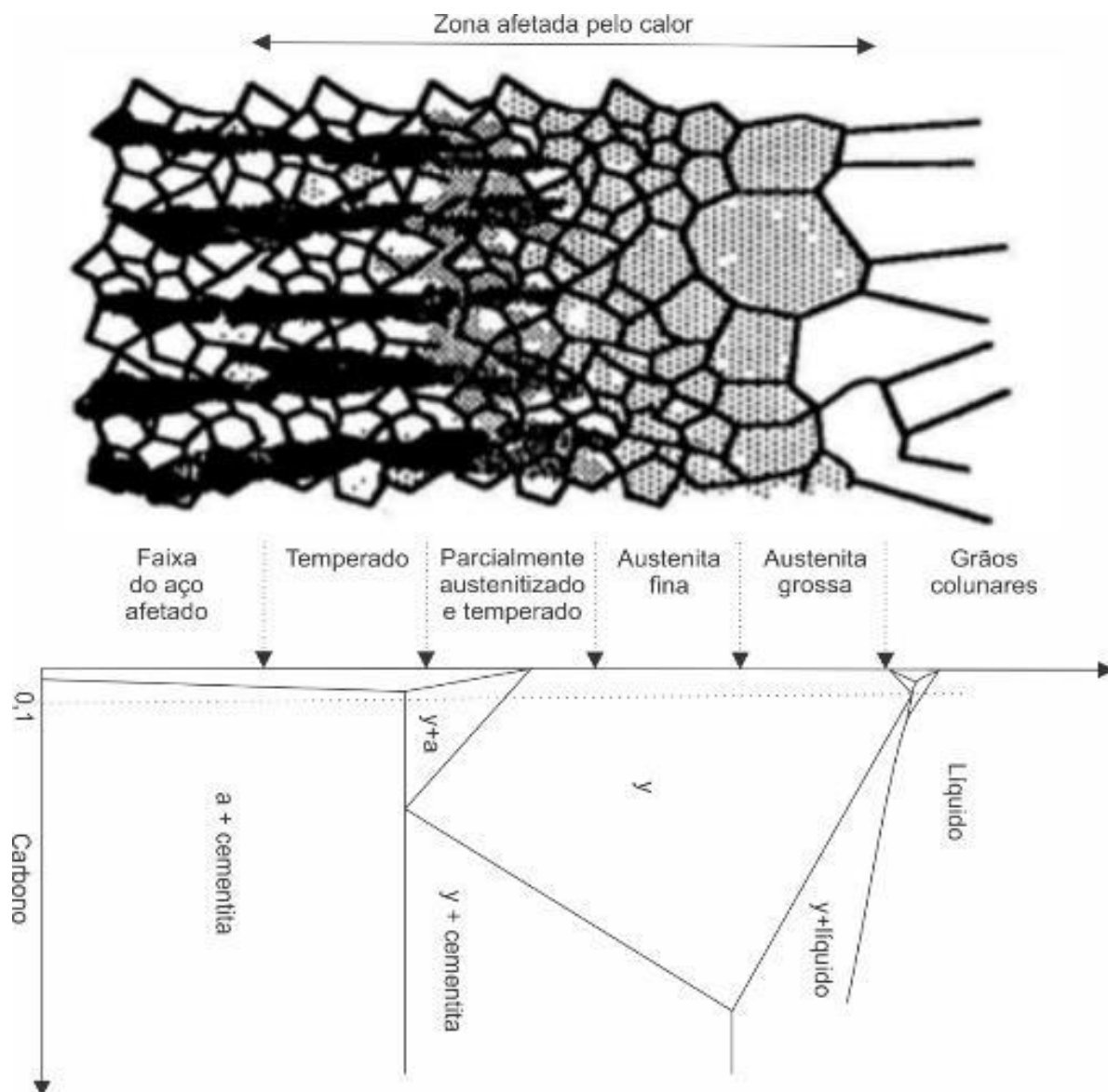
Figura 17 – Micrografia identificando o microconstituente Martensita (M) em uma junta soldada.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

- Na Figura 18 é apresentada uma ilustração esquemática que mostra as regiões da ZAC de uma junta soldada e relaciona com a microestrutura formada, com a temperatura atingida em cada região, e com o diagrama de equilíbrio Fe-C.

Figura 18 – Ilustração esquemática da variação das microestruturas esperadas na ZAC.

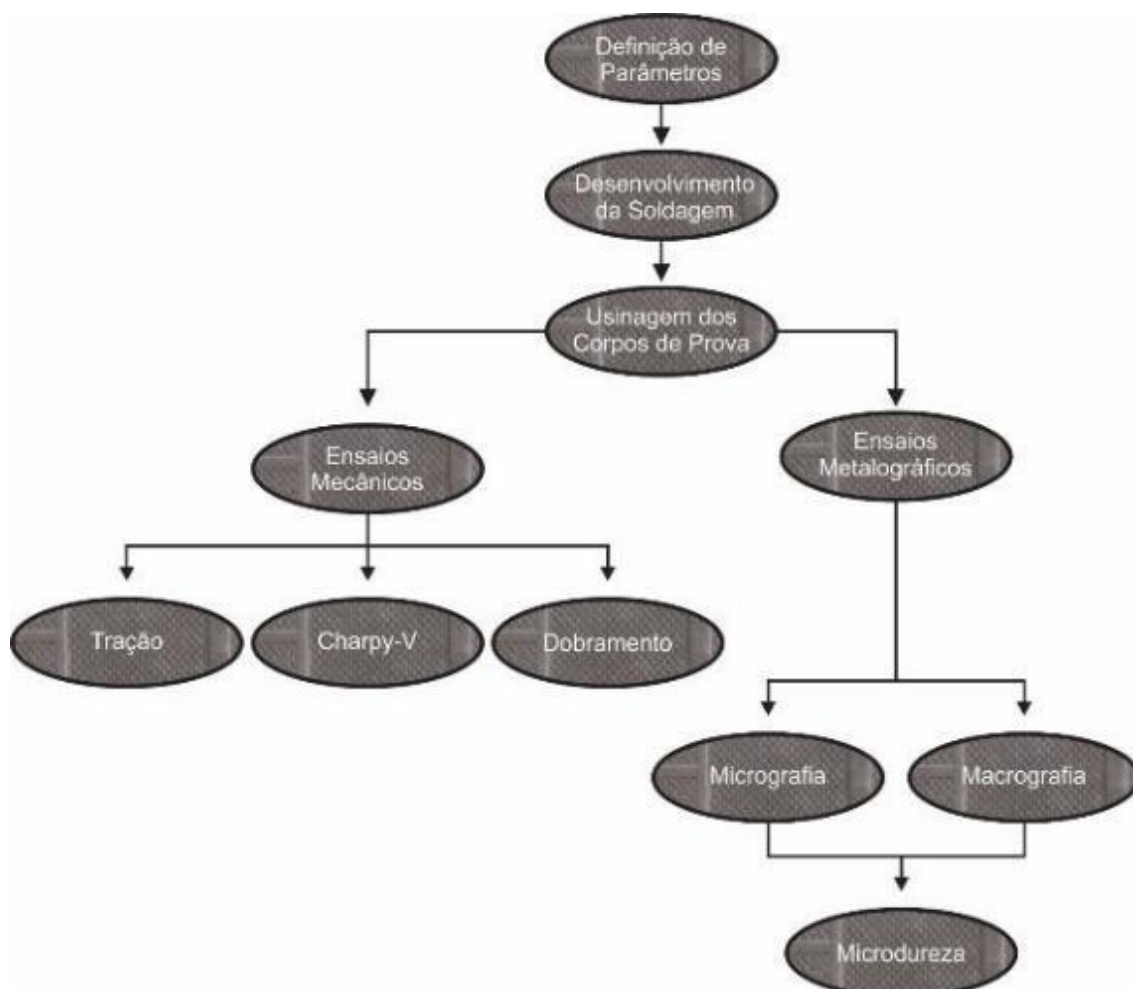


Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011); Thewlis (2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais e equipamentos, bem como os métodos e técnicas que foram utilizados para realização deste trabalho. A Figura 19 apresenta um fluxograma básico ilustrando as atividades práticas do estudo.

Figura 19 – Fluxograma das atividades práticas do estudo

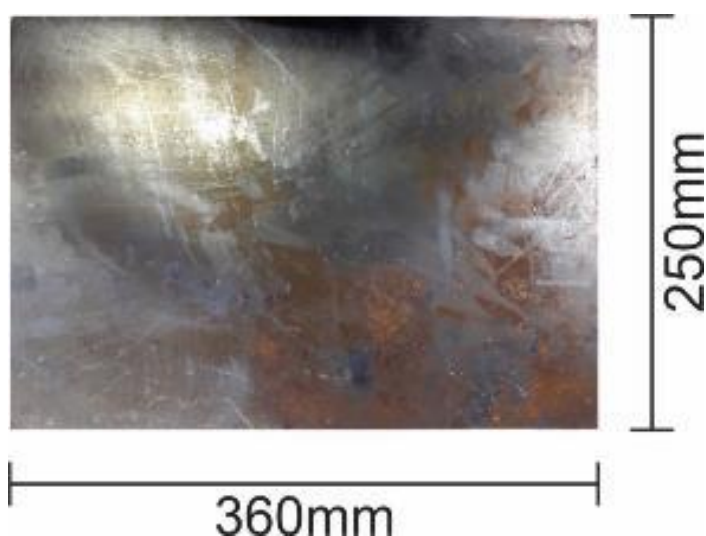


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

3.1 Material de base

O metal base utilizado para a realização das soldas foi chapas de aço carbono ASTM A36 com as seguintes dimensões 360 x 250 x 10 mm, (FIGURA 20). Classificado como um aço carbono de média resistência mecânica e uma boa soldabilidade, pois apresenta pequenas quantidades de carbono.

Figura 20 – Chapa de Aço A36



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

As Tabelas 04 e 05 apresentam respectivamente, a composição química e as propriedades mecânicas para o aço ASTM A36, estabelecidas pela norma ASTM A36.

Tabela 04 – Composição química [% em peso] do aço ASTM A36

COMPOSIÇÃO QUÍMICA [%]					
C máximo	Mn	P máximo	S máximo	Si máximo	Cu mínimo
0,28	0,60 - 0,90	0,04	0,05	0,4	0,2

Fonte: Do autor, adaptado da Norma ASTM A 36 (2008).

Tabela 05 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A36

PROPRIEDADES MECÂNICAS	
Limite de Escoamento (LE)	250 MPa
Limite de Ruptura (LR)	400 - 550 MPa
Alongamento	23%

Fonte Do autor, adaptado da Norma ASTM A 36 (2008).

3.2 Equipamento de soldagem por arco submerso

As soldas foram realizadas em um equipamento da marca SUMIG, modelo Autoarc 630, com o auxílio de um carro propulsor, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Fonte de soldagem SUMIG, modelo Autoarc 630 e carro propulsor.



Fonte: SUMIG (digital).

3.3 Consumíveis

Para a união das chapas foi utilizado um arame revestido por uma camada de cobre, o que garante um perfeito funcionamento e proteção adicional contra corrosão, com diâmetro de 2,38 mm, seguindo a norma AWS A5.17-89 (EL12) (SUMIG, texto digital). A Tabela 06 apresenta a composição química do arame utilizado.

Tabela 06 – Composição química [% em peso] do arame AWS A5.17

Composição Química do Arame AWS A5.17						
%	C	Mn	Si	P	S	Cu
MIN.	0,04	0,25				
MÁX.	0,14	0,6	0,1	-	-	-

Fonte: SUMIG (digital).

O fluxo utilizado é o ASME SFA5.17 F7A2-EL8 (EL12) (SUMIG, texto digital), granular, que apresenta a seguinte composição química, disposta na Tabela 07.

Tabela 07 – Composição química [% em peso] do metal depositado pelo fluxo utilizado

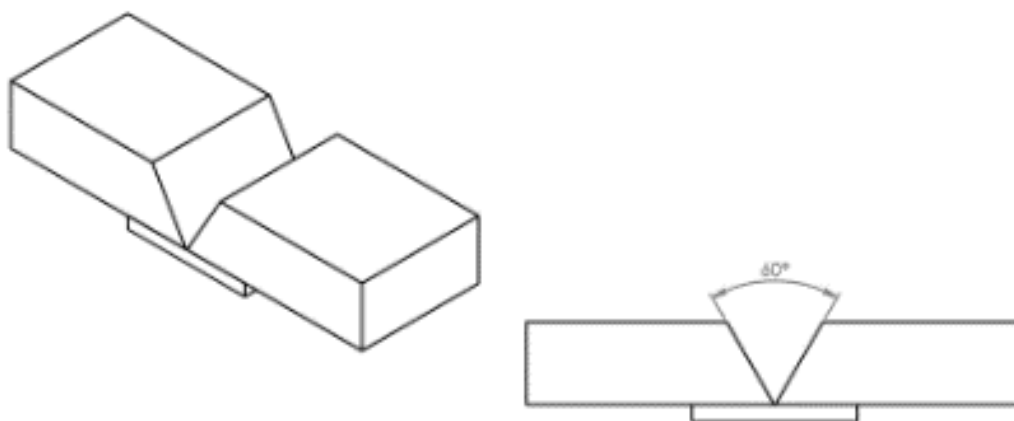
Composição Química do Fluxo ASME SFA5.17				
Si (%)	P (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0,08	0,35	1,45	0,03	0,02

Fonte: SUMIG (digital).

3.4 Definição de chanfro

Para a realização deste trabalho foi adotado um chanfro em V, com o auxílio de uma chapa de reforço de aço de 2 mm na parte inferior das chapas, para dar sustentação a poça de fusão, representado na Figura 22.

Figura 22 – Chanfro definido para o processo de soldagem



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

3.5 Parâmetros de soldagem

Em um primeiro momento foram realizadas algumas soldagens em corpos de prova menores, conforme mostra a Figura 23, com diferentes variações de velocidade Tabela 08. As soldas realizadas foram avaliadas visualmente através do corte da seção transversal, e o conjunto de parâmetros que resultou na melhor a

solda, foi utilizado para realizar o procedimento de soldagem nas chapas de aço A36.

Figura 23 – Chapas de aço soldadas para definição dos parâmetros



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Tabela 08 – Variações de velocidade para definição dos parâmetros

Solda	Eletrodo			Tipo de corrente e polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade soldagem (m/h)
	Classif AWS	Tipo	Ø (mm)				
1	A5.17-89	EL12	2,38	CC +	250	33	8
2	A5.17-89	EL12	2,38	CC +	351	33	10
3	A5.17-89	EL12	2,38	CC +	351	33	11
4	A5.17-89	EL12	2,38	CC +	351	33	12
5	A5.17-89	EL12	2,38	CC +	351	33	13

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

3.6 Processo de soldagem

A soldagem foi realizada em duas situações distintas, levando em consideração a capacidade do equipamento utilizado (FIGURA 25). Anteriormente as chapas foram chanfradas em 30° e ponteadas para evitar o efeito da distorção durante o processo de soldagem, tais procedimentos podem ser visualizados na Figura 24.

Figura 24 – Procedimentos antecedentes à soldagem



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Figura 25 – Processo de soldagem.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Na Tabela 09, são apresentadas as variáveis do processo utilizado para a realização das soldas com duas condições distintas.

Foram mantidas constantes a tensão e a corrente dos procedimentos, variando somente a velocidade de soldagem. Na Figura 26 podem ser conferidas as imagens dos parâmetros com suas respectivas chapas soldadas.

Tabela 09 – Parâmetros de soldagem dos corpos de prova

Solda	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (mm/s)	Energia de Soldagem (J/mm)
1	351	33.3	3,3889	3104,096
2	351	33.4	2,7780	3798,078

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Figura 26 – Parâmetros com chapas soldadas



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

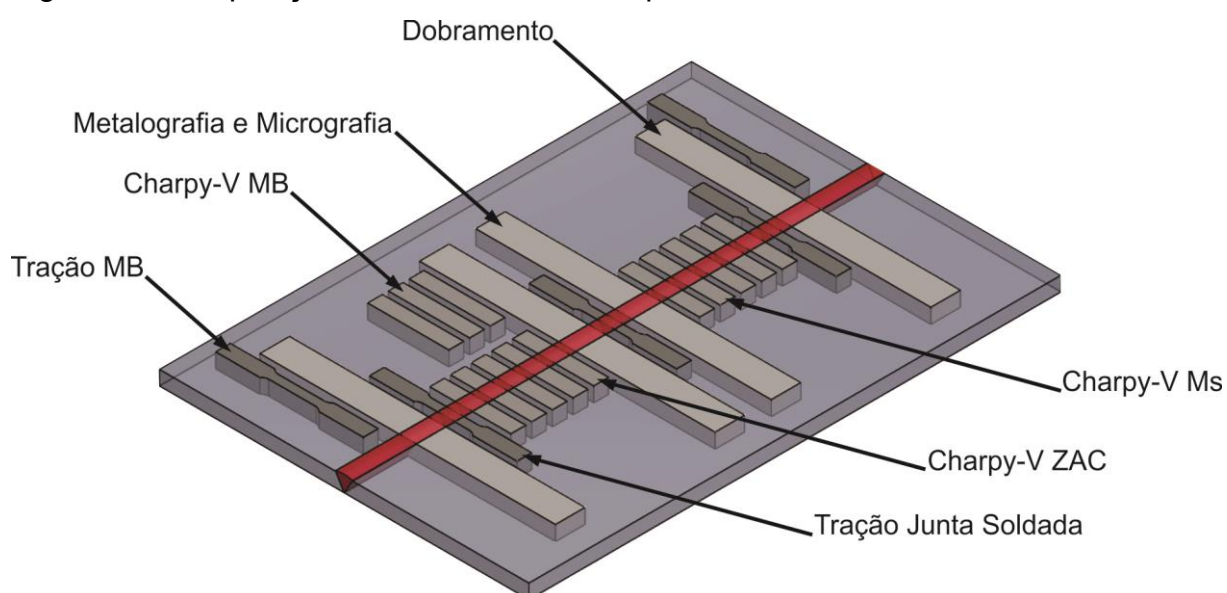
3.7 Extração dos corpos de prova

Para a extração dos corpos de prova do material de base e da junta soldada seria utilizado o corte a jato d'água. Esta técnica permitiria a retirada dos corpos de prova sem alterar as propriedades mecânicas do material, visto que é um processo de corte à baixa temperatura. Além do que, permite um melhor aproveitamento do material a ser ensaiado, reduzindo significativamente as perdas de material se comparado com usinagem convencional.

Por motivos de problemas ambientais (alagamento) na empresa contratada para realizar os cortes à jato d'água, as chapas tiveram que ser cortadas pelo processo de plasma, em virtude de que o tempo seria inviável de orçar com uma

segunda empresa que possuía o processo de corte à jato d'água. Tal decisão foi fundamental para dar andamento ao trabalho, mesmo sabendo que o processo utiliza um arco elétrico que derrete o material através de um feixe de plasma de alta temperatura que poderia estar alterando as propriedades mecânicas e microestruturais dos corpos de prova. A Figura 27 apresenta a disposição dos corpos de prova na chapa de aço e também a direção de retirada dos mesmos.

Figura 27 – Disposição das amostras na chapa soldada



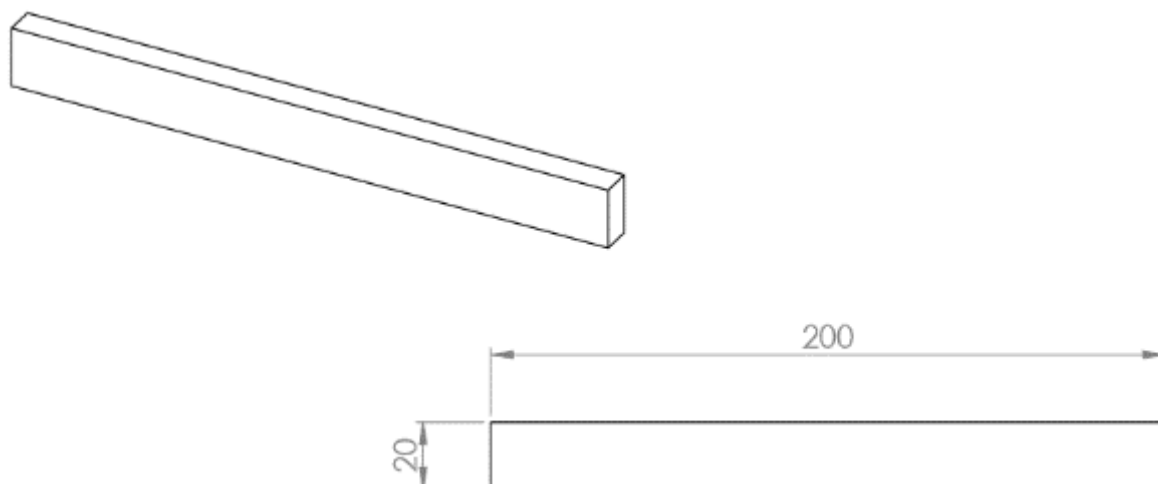
Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A extração dos corpos de prova para a realização dos ensaios de dobramento, tração da junta soldada, tração do metal base, metalografia, micrografia e *Charpy-V*, foram realizadas através da retirada em seções transversais ao cordão de solda. Foram desprezadas as seções iniciais e finais, distanciando 43 mm das extremidades.

3.8 Ensaio de dobramento

Foram extraídos três corpos de prova retangulares transversalmente a solda, com as seguintes dimensões: 200 x 20 x 10 mm, representada na Figura 28.

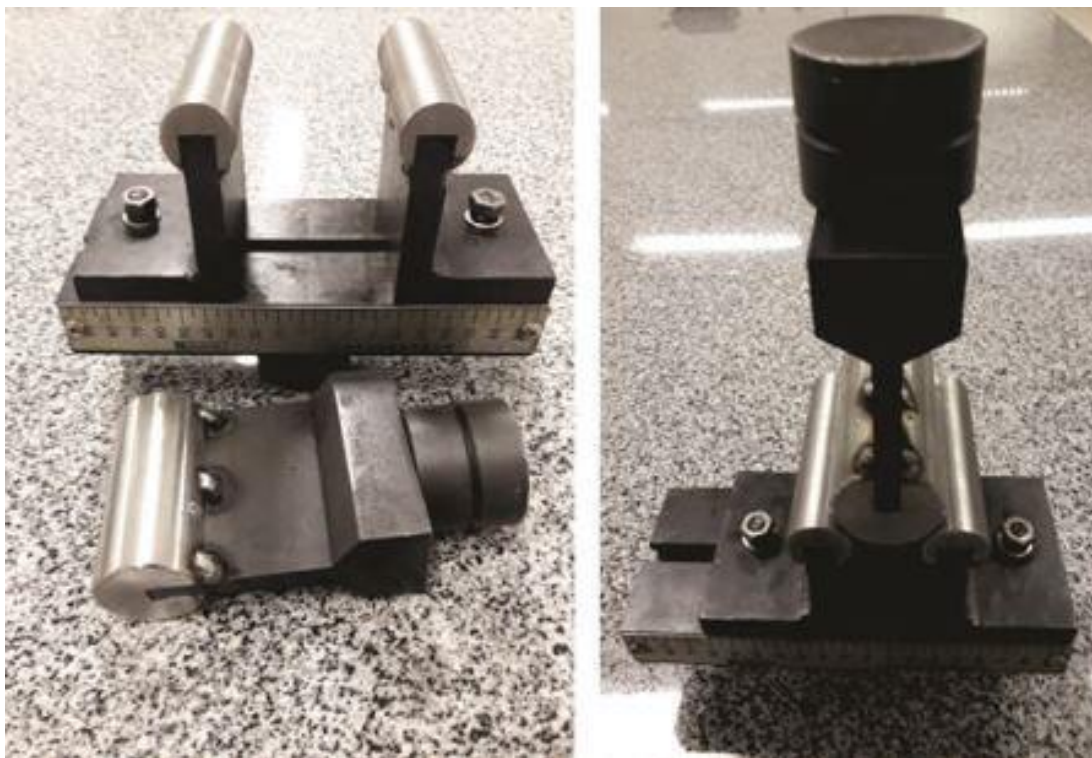
Figura 28 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de dobramento



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Estes estão de acordo com as especificações da norma ASME V e a localização da retirada de cada corpo de prova seguiu o plano de corte (FIGURA 27). Os ensaios foram realizados em um dispositivo (FIGURA 29) adaptado a máquina de tração, (FIGURA 34).

Figura 29 – Dispositivo de dobramento adaptado a máquina de tração

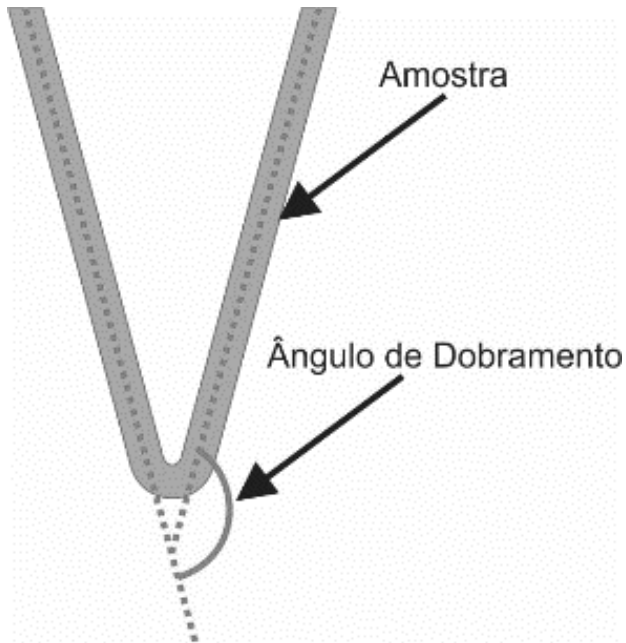


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Os corpos de prova destinados ao dobramento foram submetidos à carga do cutelo até que apresentassem algum defeito. A Figura 30 ilustra o local da medição

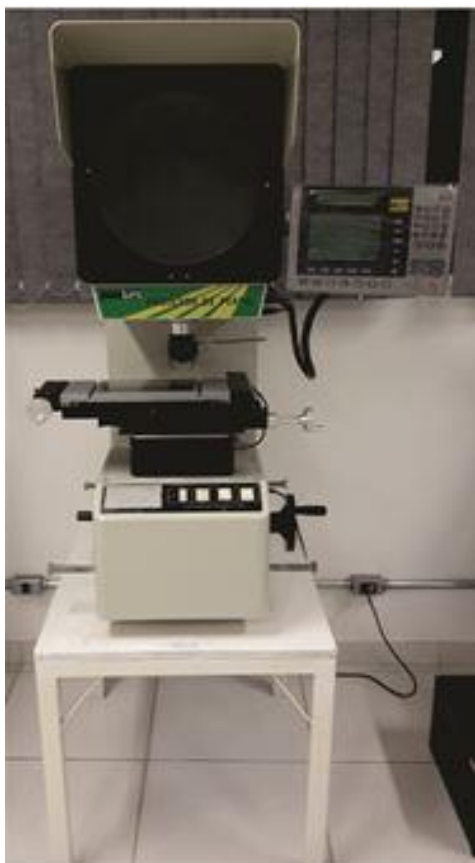
do ângulo de dobramento. A obtenção das medidas dos ângulos foi com o auxílio de um perfilômetro conforme representado na Figura 31.

Figura 30 – Local da medição do ângulo de dobramento



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

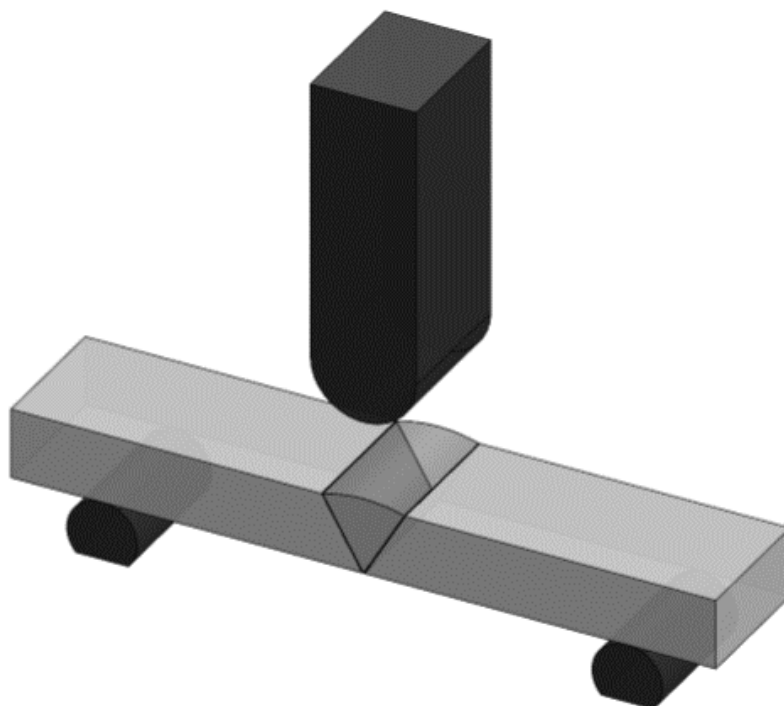
Figura 31 – Perfilômetro



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Os corpos de prova foram ensaiados somente no dobramento de raiz, conforme ilustra a Figura 32.

Figura 32 – Ilustração do posicionamento do corpo de prova no dobramento de raiz



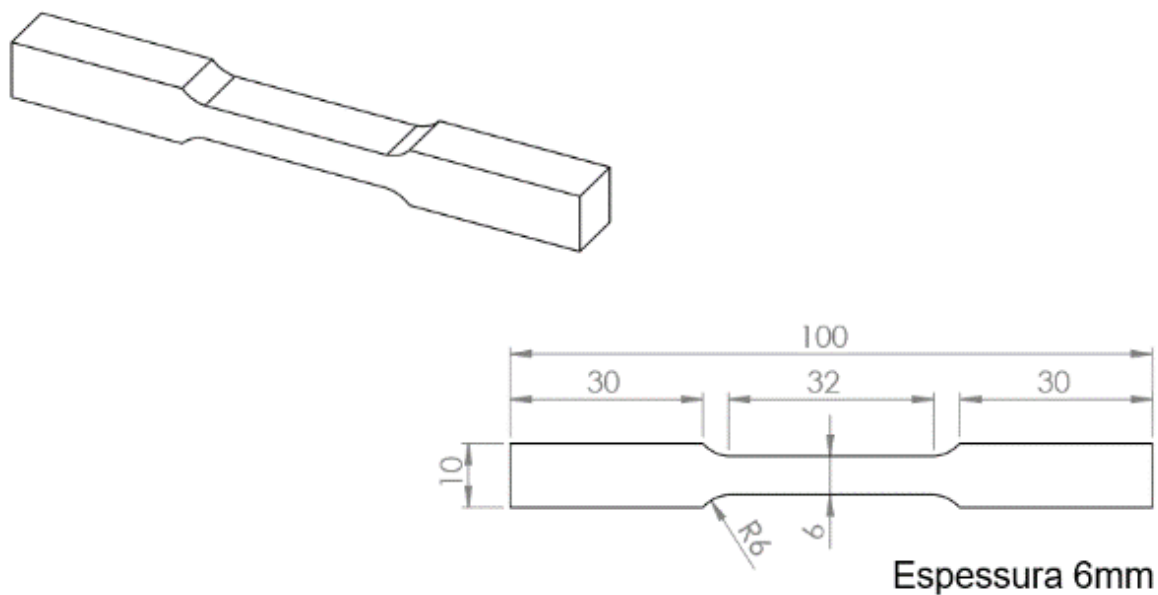
Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

3.9 Ensaio de tração

O ensaio de tração tem o objetivo de caracterizar as propriedades mecânicas do metal base e da junta soldada. Para tanto, foram realizados seis ensaios, sendo três amostras referentes ao metal base e três amostras transversais a junta soldada.

Para a realização dos ensaios de tração, foram utilizados corpos de provas de tamanho reduzido conforme a norma ASTM E8/E8M (2011), representados na Figura 33.

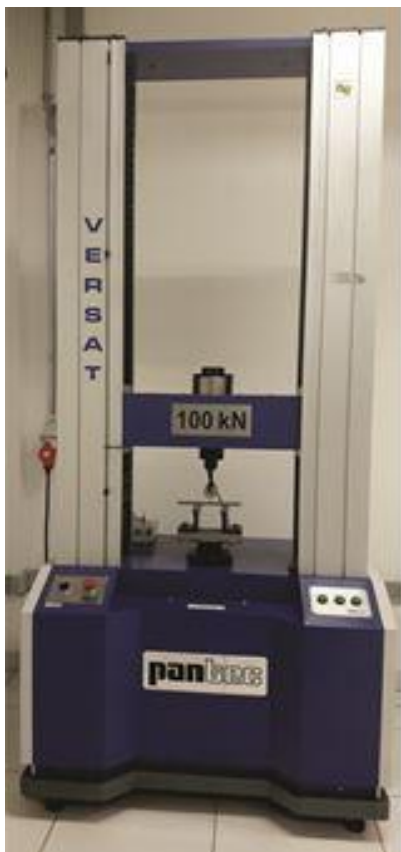
Figura 33 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração do metal base e da junta soldada.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Os testes foram realizados em uma máquina VERSAT, Figura 34, com célula de carga com capacidade de 100 kN e controle por meio do software TESC.

Figura 34 – Máquina de ensaios de tração VERSAT

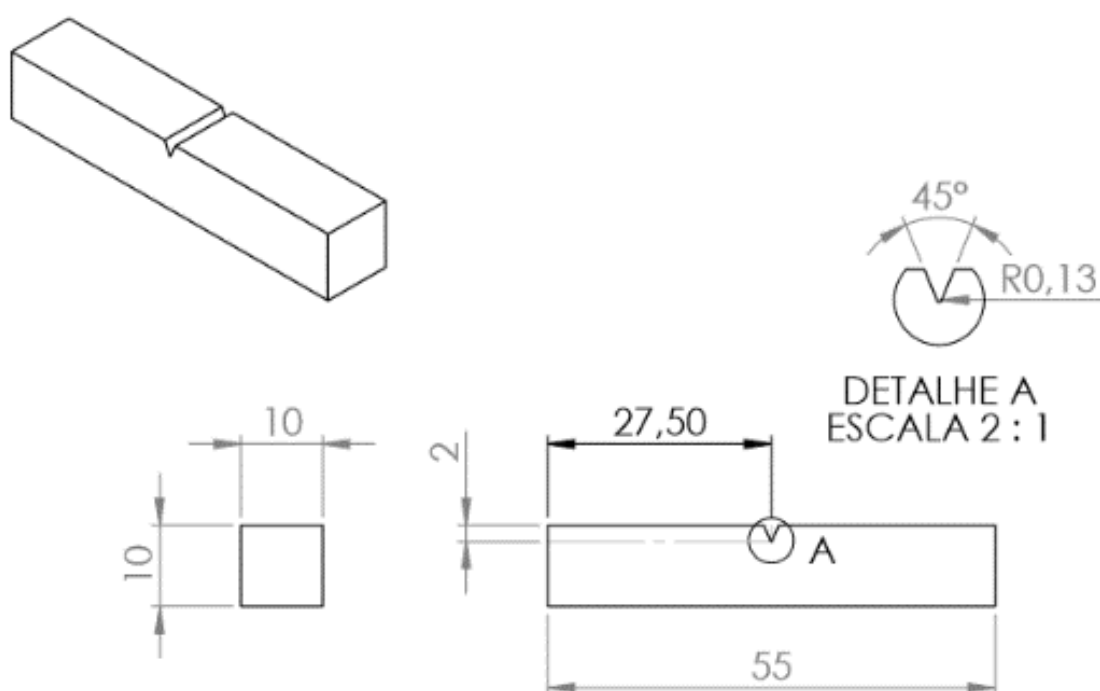


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

3.10 Ensaio de *Charpy-V*

Para a padronização do ensaio de tenacidade ao impacto (*Charpy-V*) foi utilizada a norma ASME E23 (2007). Os corpos de prova do referente estudo seguiram a classificação do tipo A, que está especificado na norma, na qual apresenta as seguintes dimensões: seção quadrada de 10 mm, comprimento de 55 mm e entalhes na forma de V no centro do corpo de prova. A Figura 35 ilustra um corpo de prova tipo A segundo a norma.

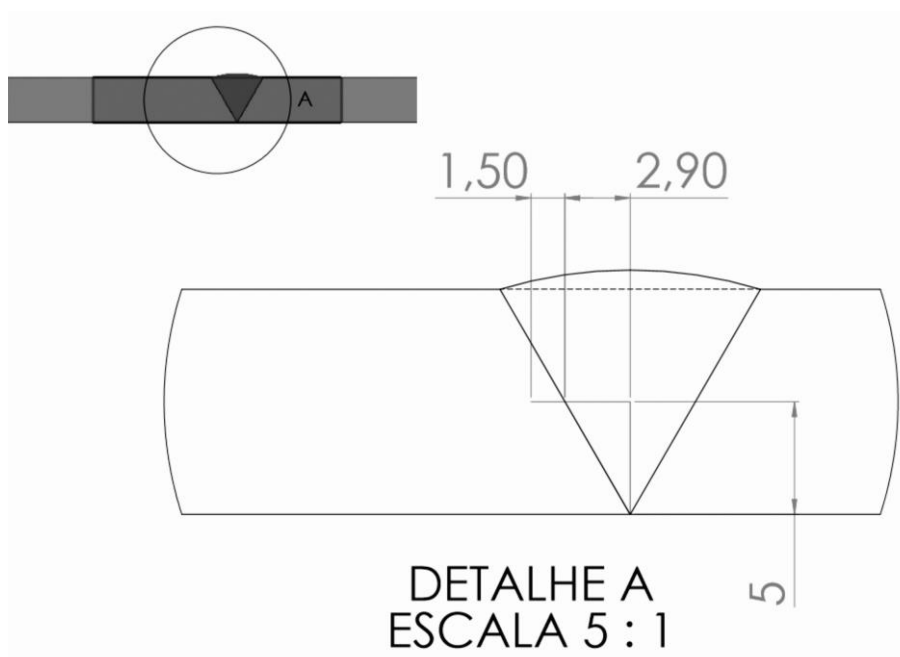
Figura 35 – Corpo de prova tipo A



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Os corpos de prova foram entalhados em forma de V, de forma transversal ao cordão de solda a temperatura ambiente. Foram retirados três conjuntos com cinco corpos de prova para cada região a ser ensaiada, ou seja, no metal de solda, na ZAC e no metal base. Os corpos de prova referentes a ZAC foi atribuído um afastamento total do centro da solda, considerando o centro da chapa de 4,4 mm, ou seja $ZAC = (\text{Chanfro} + 1,5 \text{ mm})$ como demonstrado na Figura 36.

Figura 36 – Detalhe do afastamento do corpo de prova referente a ZAC.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

3.11 Metalografias

Para a preparação metalográfica os corpos de prova foram cortados em seções transversais ao cordão de solda, com as seguintes dimensões 200 x 20 x 10 mm, de acordo com o plano de corte especificado anteriormente. Após os procedimentos de corte e embutimento foi realizado o lixamento das amostras com lixas de granulometrias na sequência 120, 220, 320 e 400 *mesh*. Após o lixamento foi realizada a operação de polimento com pasta de alumina de 3 e 1 μm . Todo este procedimento de preparação está de acordo com o procedimento metalográfico padrão estabelecido pela norma ASTM E3-95.

Este teste teve por objetivo realizar a análise metalográfica da junta soldada, identificando as regiões de uma junta e avaliando as alterações microestruturais, além de avaliar o surgimento de defeitos.

3.11.1 Macrografias

Para a revelação das regiões da junta soldada, foi realizado um ataque químico por imersão no reagente Nital 3 % durante 5 s.

3.11.2 Micrografias

Após a realização da macrografia, os corpos de prova retornaram para o processo de lixamento com lixas de granulometrias na sequência 600 e 1200 *mesh*. Após o lixamento seguiu o mesmo procedimento de polimento anteriormente mencionado, e ataque químico por imersão com Nital 3 % durante 3 s.

A observação da microestrutura das regiões da solda para caracterização da junta soldada foi realizada em um microscópio ótico com aumentos de 100X, 200X e 400X. As regiões analisadas nesta etapa foram: metal de base, metal de solda e ZAC.

3.12 Ensaio de microdureza Vickers

As medições de microdureza Vickers foram realizadas através de um microdurômetro da marca KONTROL, modelo MICRODUR HV-10.000, Figura 37.

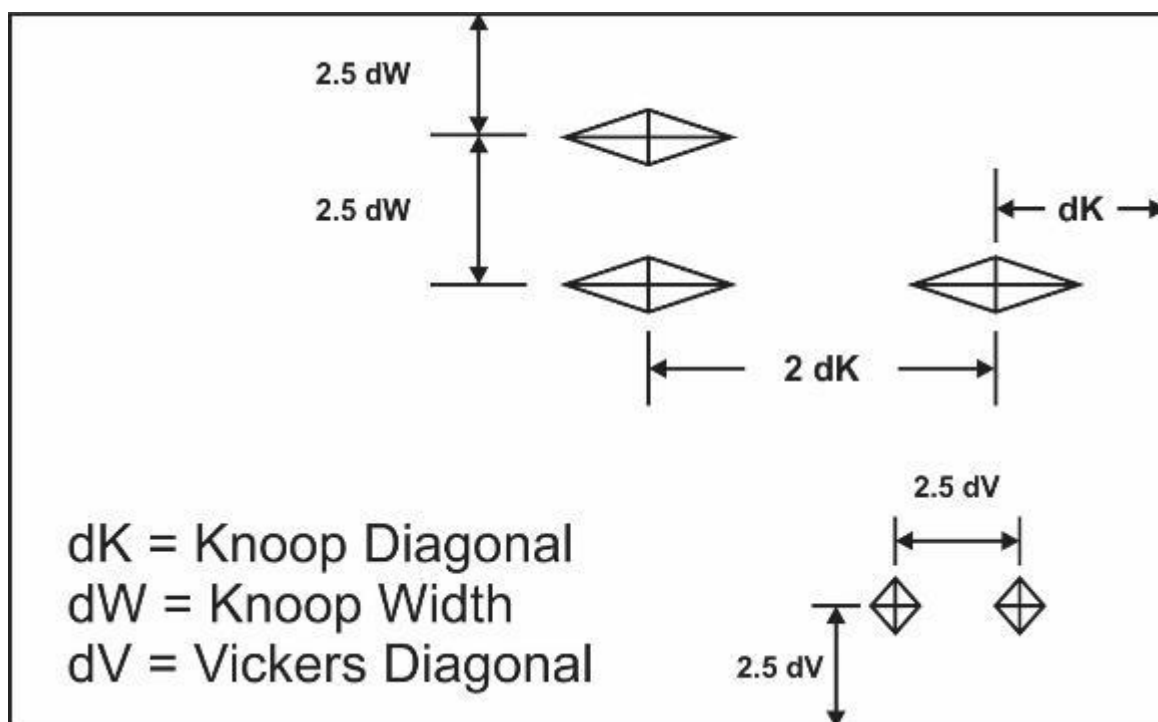
Figura 37 – Microdurômetro para ensaios de microdureza Vickers



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

O microdurômetro tem mesa de coordenadas 25 x 25 mm, plana, diâmetro 50 mm, penetrador de diamante VICKERS 136°, um padrão HV 1,0/700, e distanciamento entre endentações de no mínimo 2,5 vezes a diagonal do prisma formado pela penetração do penetrador. Este procedimento está de acordo com o procedimento estabelecido pela norma ASTM E384 (2011). A Figura 38 apresenta a recomendação mínima da distância entre endentações sugerida pela Norma ASTM E384 (2011).

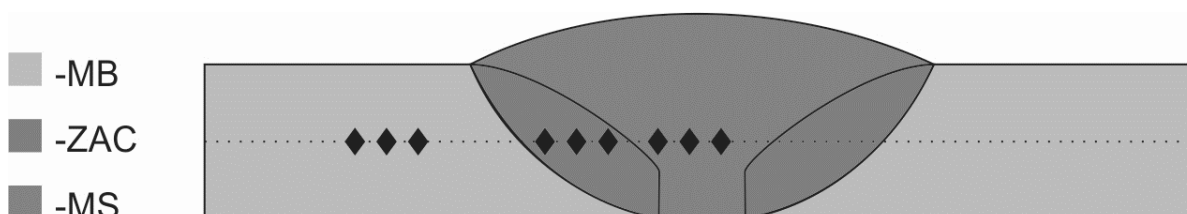
Figura 38 – Espaçamento mínimo entre endentações.



Fonte: Norma ASTM E384 (2011).

A preparação dos corpos de prova para a análise de microdureza seguiram os mesmos procedimentos da caracterização microestrutural. As regiões analisadas foram o metal base, o metal de solda e a ZAC. A Figura 39 apresenta o esquema de como foram realizadas as medições de microdureza no corpo de prova.

Figura 39 – Esquema para ensaio de microdureza Vickers.



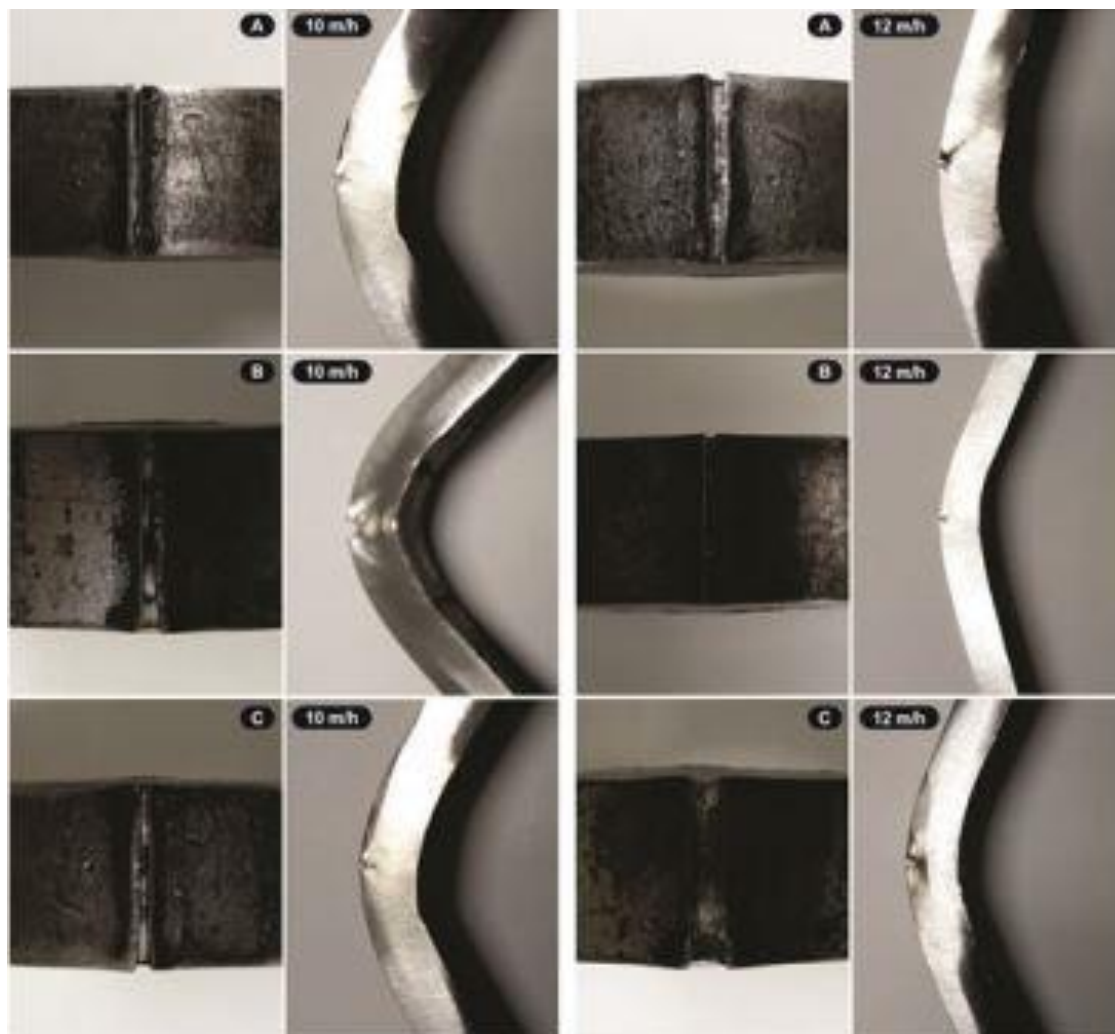
Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de dobramento

Com o objetivo de observar a ductilidade da região de solda e verificar se houve penetração total nas juntas, foram realizados ensaios de dobramento de raiz como mostrado na Figura 30 anteriormente. As amostras das soldas foram extraídas da chapa conforme a Figura 27 e avaliadas através da variação da velocidade do processo de soldagem. O ensaio de dobramento apresentou diferentes resultados, influenciado pelos diferentes aportes térmicos, (FIGURA 40), assim como os ângulos durante o ensaio, (TABELA 10).

Figura 40 – Fotografias obtidas após o dobramento de raiz.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Tabela 10 – Ângulos do ensaio de dobramento

Resultados Ensaio de Dobramento		
	Velocidade 10 m/h	Velocidade 12 m/h
CP	Ângulo (°)	Ângulo (°)
1	66,14	39,57
2	92,32	34,73
3	59,77	44,14

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

As amostras de ambas as velocidades adotadas do processo apresentaram falta de penetração na junta do cordão de solda, o que contribuiu para os baixos ângulos e o aparecimento de fissuras durante o ensaio. Porém o processo de menor velocidade obtivemos um maior aporte térmico e um melhor preenchimento do cordão de solda o que resultou em maiores ângulos. As amostras soldadas com

velocidade de 10 m/h, obtiveram uma média de dobramento de 72,74° e a de velocidade 12 m/h um ângulo médio de 39,48°.

As fissuras que os corpos de prova apresentaram podem estar relacionadas com a presença de defeitos volumétricos do tipo vazios que atuam como concentradores de tensões, assim comprometendo a qualidade da solda.

4.2 Ensaio de tração

O ensaio de tração permitiu determinar a resistência mecânica das juntas soldadas e do material de base. A Tabela 11 apresenta o local de ruptura dos corpos de prova durante o ensaio e os valores de resistência mecânica a tração e alongamento das amostras durante o ensaio de tração do metal base e na junta soldada.

Tabela 11 – Propriedades mecânicas das amostras

Resultados Ensaio de Tração						
Velocidade 12 m/h						
	CP	Resistência Máxima (MPa)	Média	Alongamento (%)	Média	Local de Rompimento
Solda	1	392,4	378,5	13,04	13,0	MS
	2	402,6		13,79		MS
	3	340,6		12,02		MS
Velocidade 10 m/h						
	CP	Resistência Máxima (MPa)	Média	Alongamento (%)	Média	Local de Rompimento
Solda	1	395,3	407,3	19,53	20,7	MB
	2	418,6		22,03		MB
	3	408,0		20,63		MB
Metal Base						
	CP	Resistência Máxima (MPa)	Média	Alongamento (%)	Média	Local de Rompimento
Metal Base	1	427,1	431,9	22,36	21,9	MB
	2	437,4		21,69		MB
	3	431,2		21,55		MB

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Os corpos de prova ensaiados para o processo de soldagem com velocidade de 10 m/h apresentaram rompimento no metal base, porem teve um agravamento do defeito por falta de preenchimento, ocasionado pela utilização de uma chapa de reforço, que ocasionou a retenção de escoria na raiz da solda, conforme Figura 41.

Figura 41 – Agravamento de defeito do cordão de solda

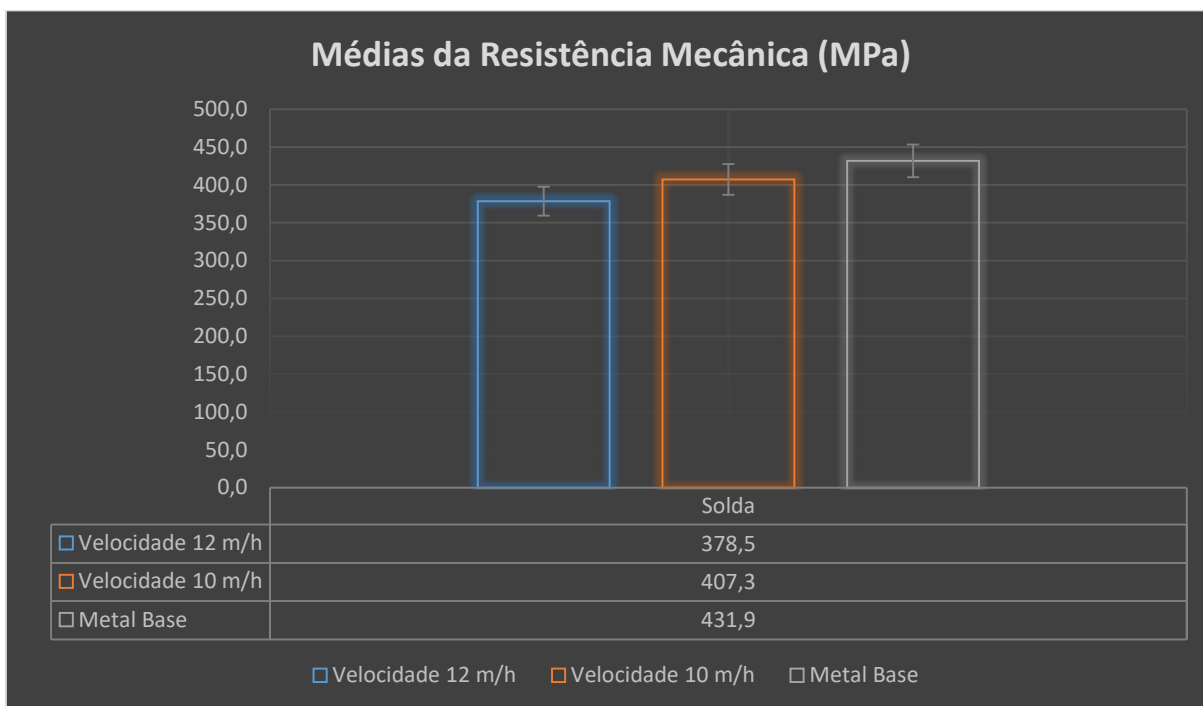


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Em compensação, os ensaios realizados com corpos de prova que tiveram a maior velocidade de soldagem, romperam-se na região soldada, conforme Figura 44. A ruptura coincidiu com o local onde foram observados defeitos do tipo vazio, sendo a mesma região de falha no ensaio de dobramento.

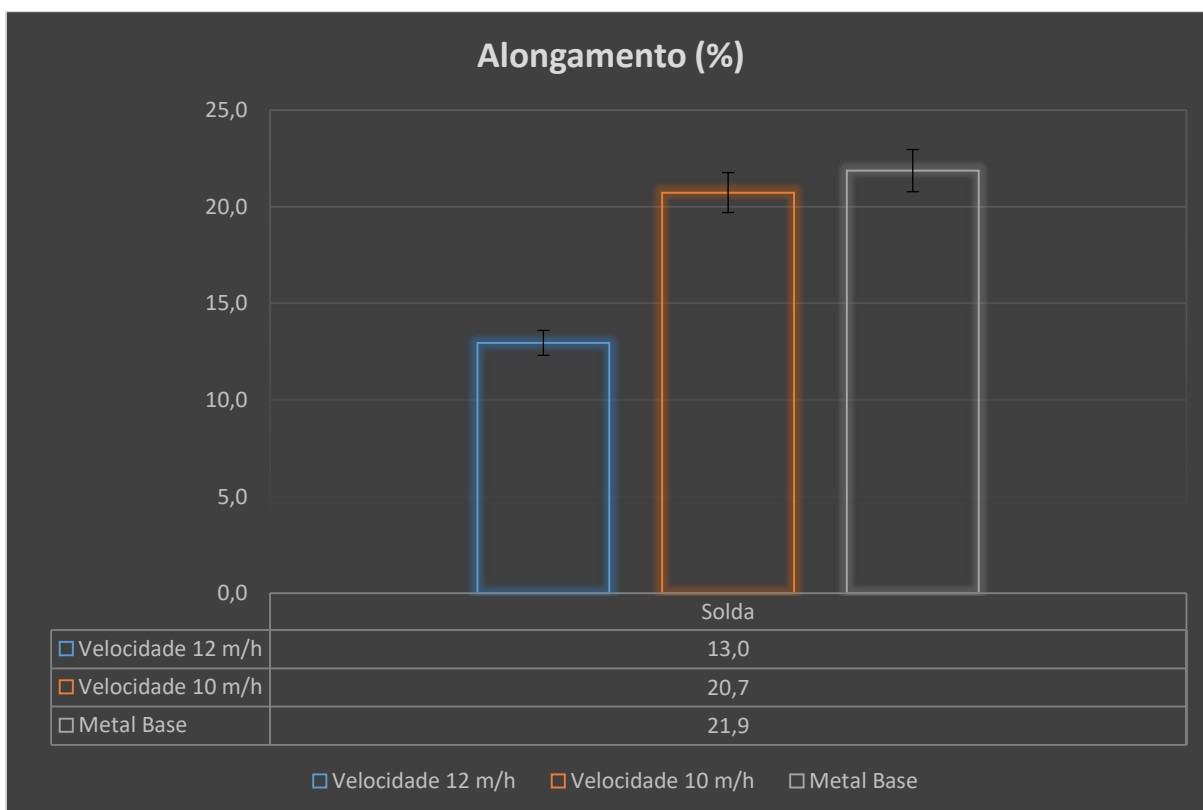
Em ambos os processos foi obtido maior resistência no metal base, seguido do processo de menor velocidade de soldagem e por fim o de maior velocidade. Como o objetivo do estudo era comparar influência da variação dos parâmetros do processo, através dos resultados obtidos, o processo onde a velocidade foi menor teve-se os melhores resultados de resistência a ruptura. Os resultados podem ser conferidos nos Gráficos 01 e 02 que apresentam respectivamente valores das médias, da resistência mecânica e do alongamento das amostras.

Gráfico 01 – Resistência mecânica média dos corpos de prova



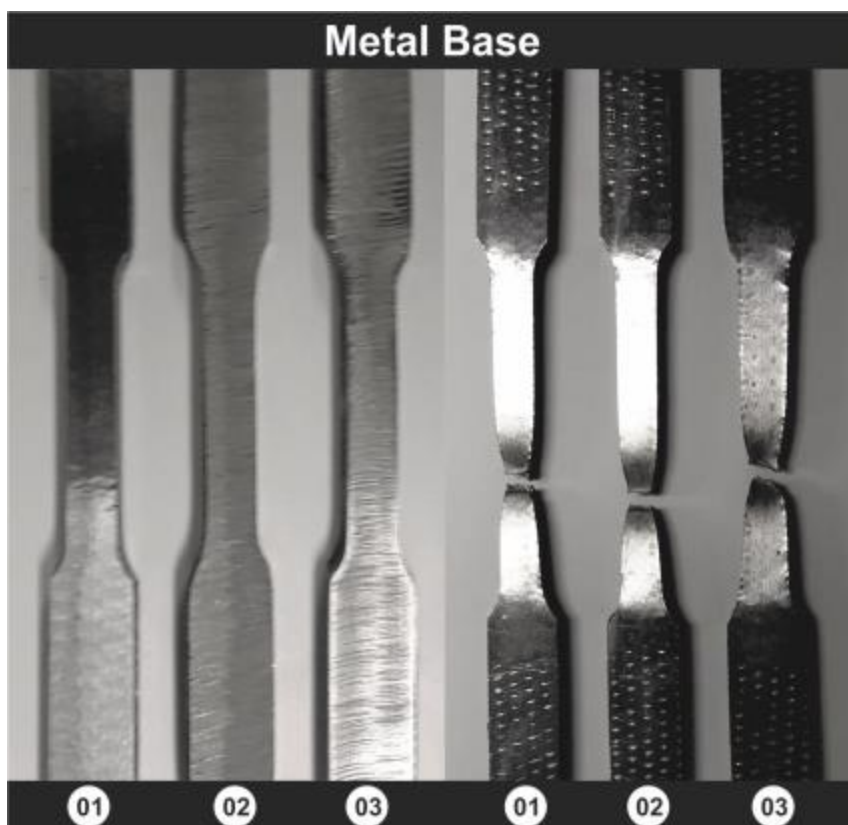
Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Gráfico 02 – Alongamento médio dos corpos de prova.



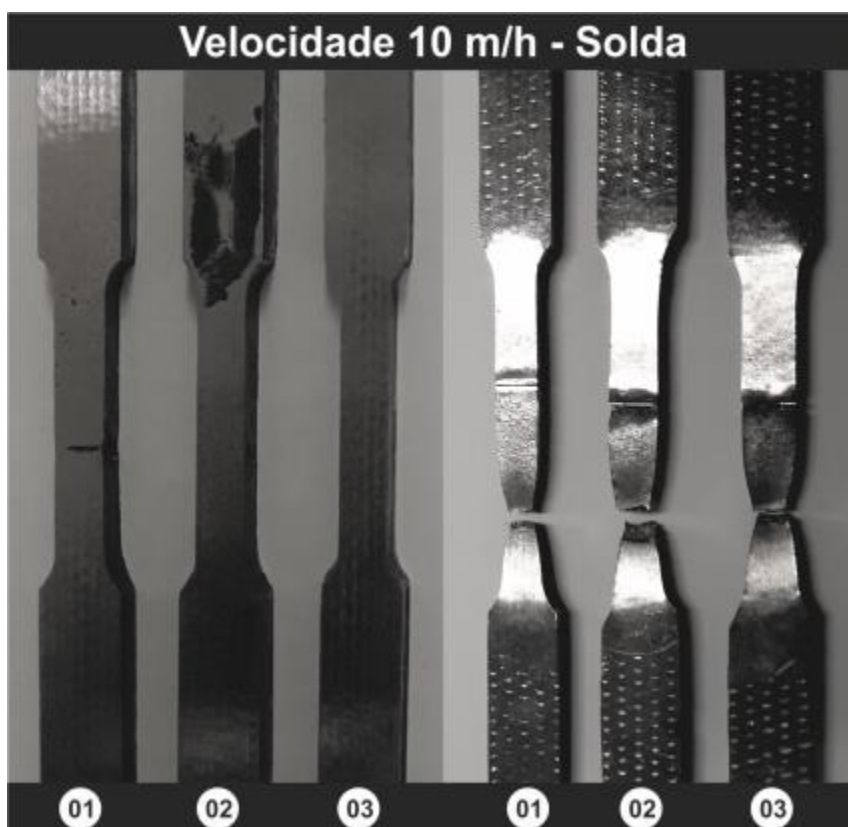
Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Figura 42 – Corpos de prova do metal base.



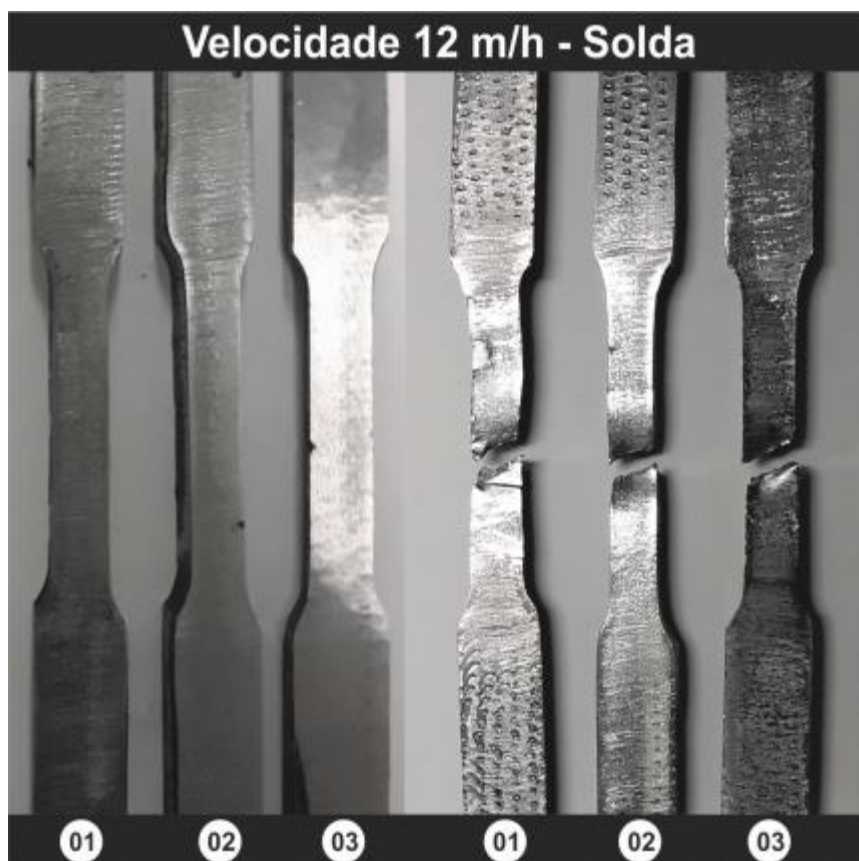
Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Figura 43 – Corpos de Prova – Velocidade 10 m/h



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Figura 44 – Corpos de Prova – Velocidade 12 m/h



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

4.3 Ensaio de Charpy-V

A Tabela 12 apresenta os resultados de tenacidade ao impacto, obtidos no ensaio *Charpy-V*, nas diferentes regiões (MS, ZAC e MB), diferenciando-se pela variação da velocidade do processo de soldagem.

Tabela 12 – Resultados da tenacidade ao impacto

Resultados Ensaio de Charpy-V					
Velocidade 10m/h				Velocidade 12m/h	
	CP	Energia Absolvida (J)	Média	Energia Absolvida (J)	Média
MS	1	287	239,8	165	157,2
	2	235		153	
	3	242		143	
	4	205		180	
	5	230		145	
ZAC	1	87	72,4	70	62,4

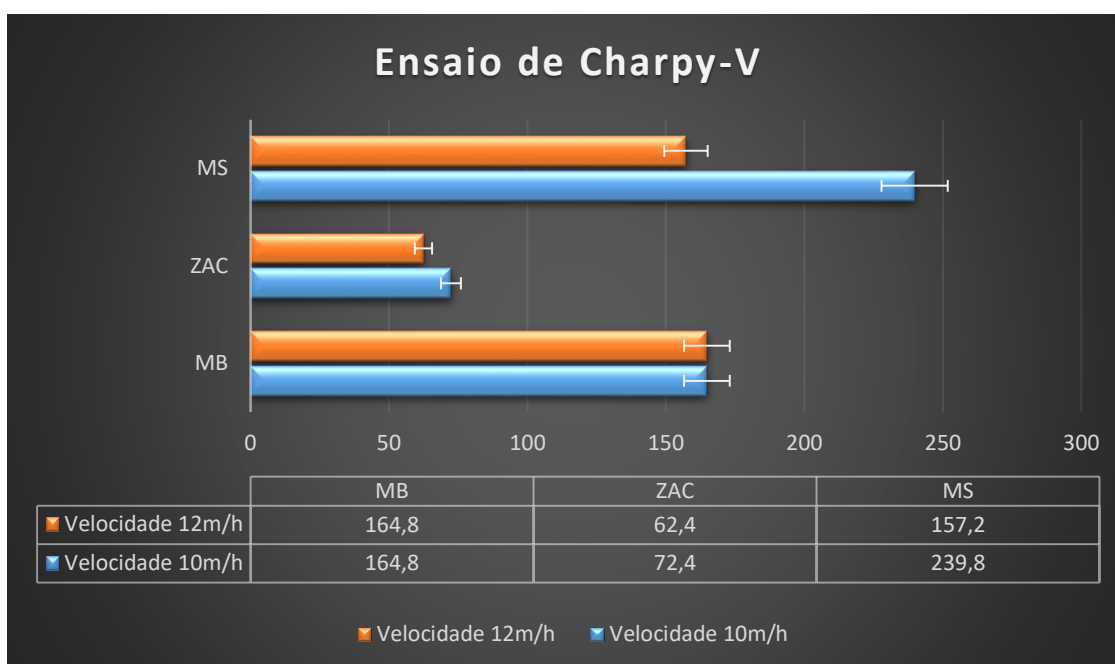
	2	75		64	
	3	60		68	
	4	68		53	
	5	72		57	
MB	1	155	164,8		
	2	190			
	3	175			
	4	140			
	5	164			

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A partir dos resultados obtidos, é possível verificar a influência da velocidade de soldagem no valor de energia absorvida em cada região ensaiada (MS, ZAC e MB). O processo de maior velocidade de soldagem gerou um menor aporte térmico, conseqüentemente uma maior taxa de extração de calor, formando assim fases com maior dureza e com menor tenacidade.

Assim verifica-se a superioridade dos valores de energia absorvida no processo de menor velocidade de soldagem. As médias dos valores de tenacidade podem ser conferidas no Gráfico 03.

Gráfico 03 – Médias da tenacidade do ensaio de *Charpy-V*.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

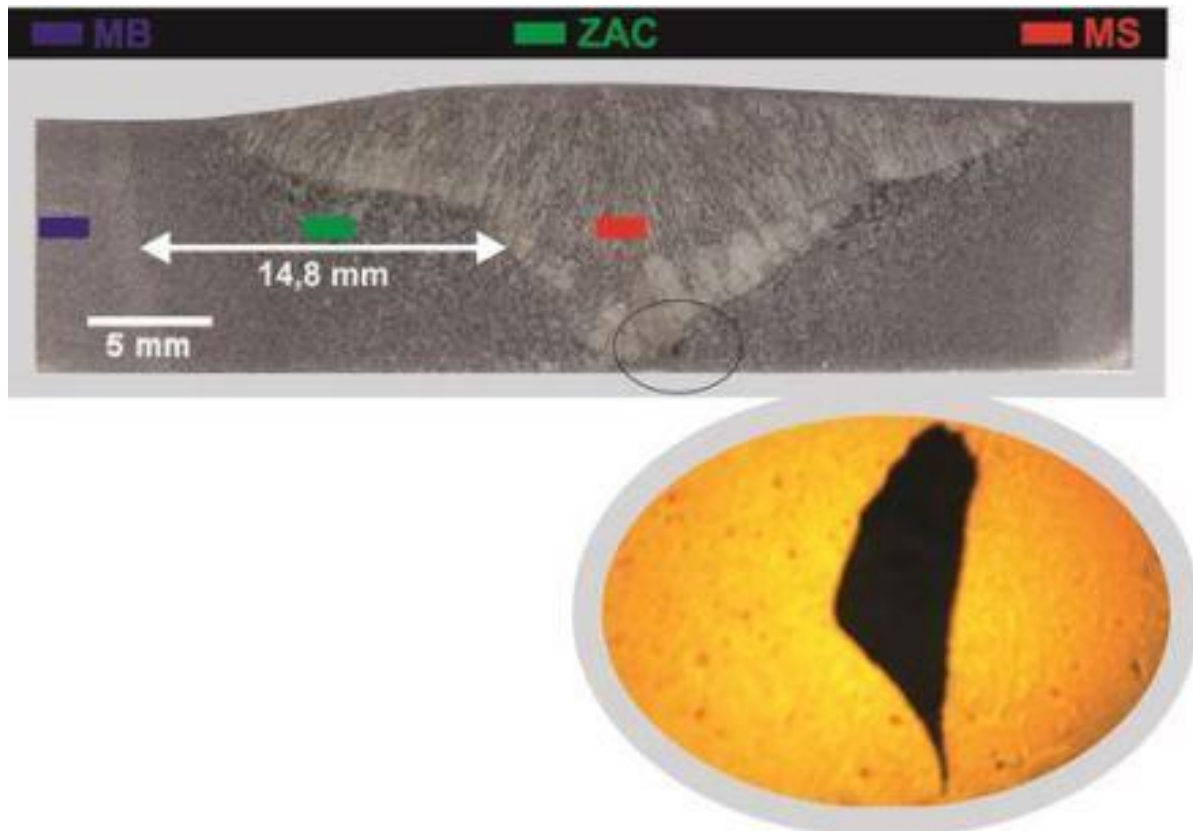
4.4 Macrografias

As Figuras 45 e 46 apresentam as macrografias das juntas soldadas para as diferentes velocidades de soldagem.

Fica evidente as três zonas clássicas de uma junta soldada, metal de solda (MS), zona afetada pelo calor (ZAC) e metal base não afetado (MB). Pode ser observado no metal de solda (MS), uma orientação colunar da microestrutura, com orientação em direção ao fluxo de calor. Também pode ser observado grãos maiores na interface com o MB.

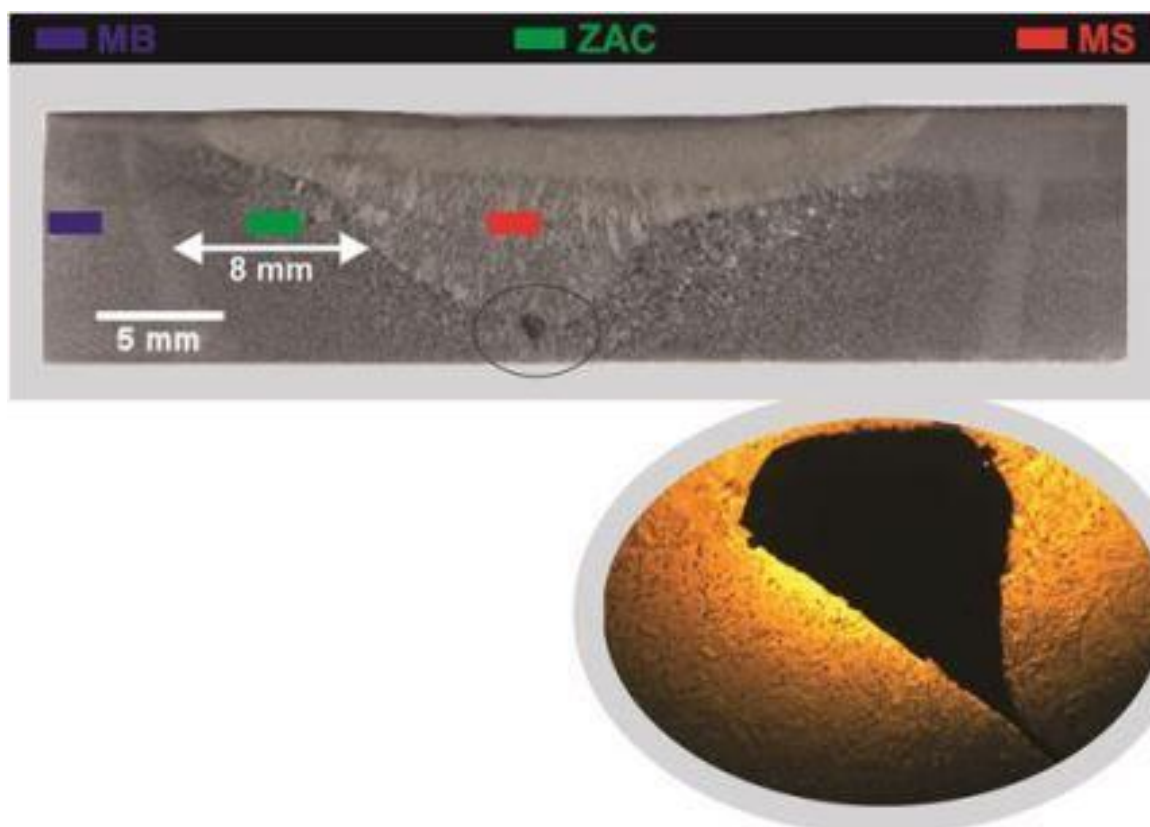
A ZAC também se apresenta bem revelada, com grãos maiores, mais próximos da interface com o MS. Como o previsto, a solda realizada com a menor velocidade de soldagem, ou seja, com maior aporte térmico, foi a solda que apresentou a maior extensão de ZAC, de 14 mm contra 8 mm da solda realizada com velocidade de 12 m/h.

Figura 45 – Macrografia da junta soldada com a velocidade de 10 m/h.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Figura 46 – Macrografia da junta soldada com a velocidade de 12 m/h.



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

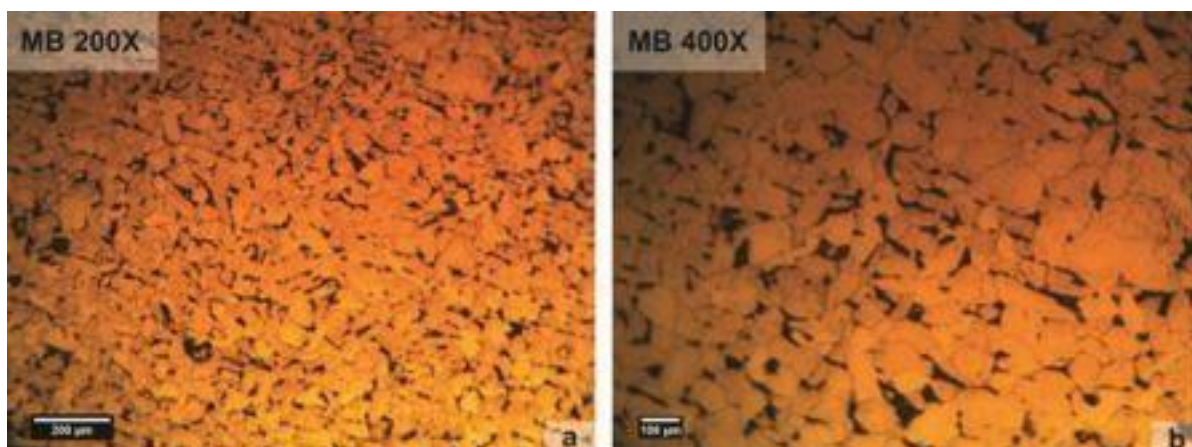
4.5 Micrografias

Para realizar uma caracterização mais completa da junta soldada, foi realizado uma análise da microestrutura nas três regiões clássicas.

Em função das diferentes taxas de resfriamento do metal de solda obtido através do processo de soldagem SAW, onde variou-se a velocidade do processo, observou-se diferentes tipos de microestruturas. As microestruturas de ambas variações podem ser conferidas abaixo para cada região de análise, ou seja, metal base, ZAC e metal de solda.

Na Figura 47 é apresentado a micrografia do metal base. O aço A-36 é composto de uma matriz ferrítica com pequenas colônias de perlita. Também pode-se observar que o tamanho de grão é bastante reduzido, se assemelhando a uma microestrutura de um aço normalizado.

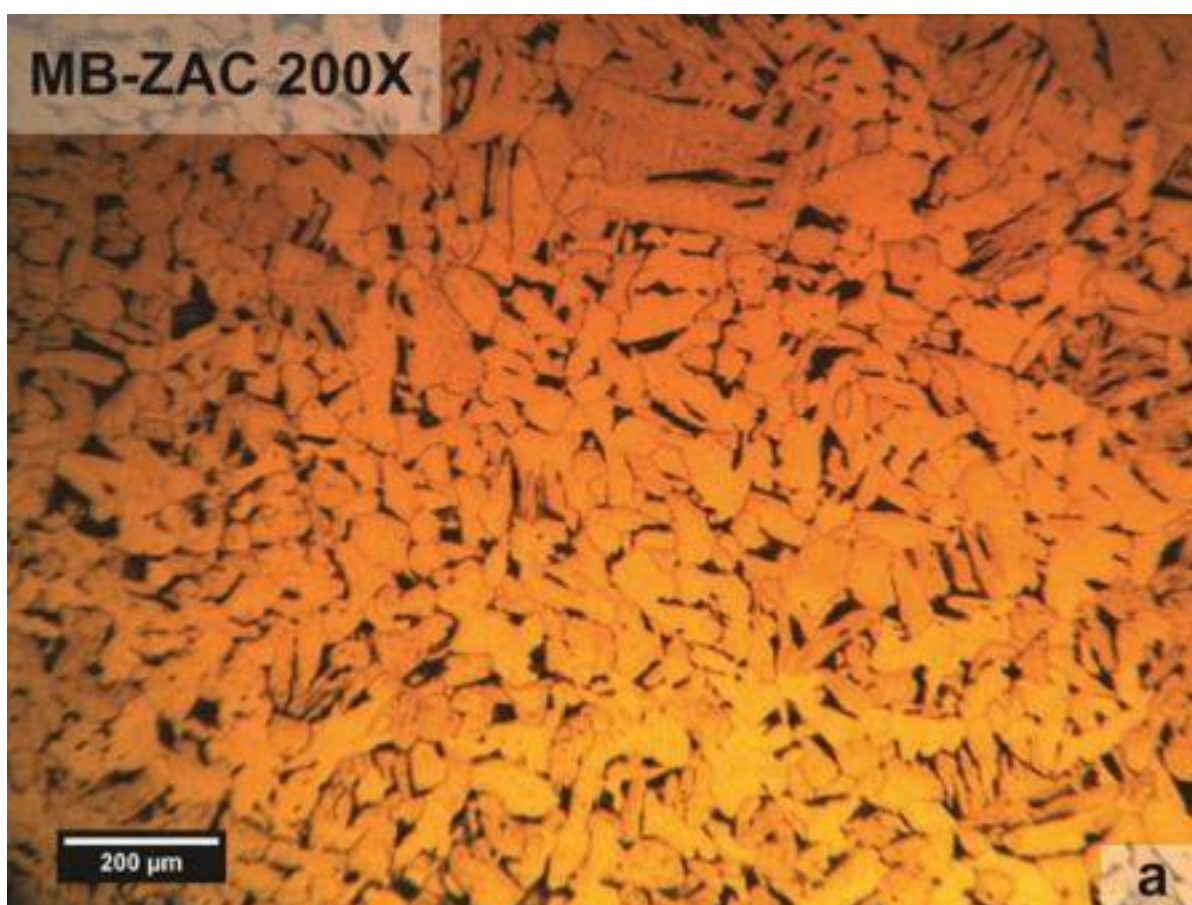
Figura 47 – Micrografias do metal base (200X e 400X).



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Na Figura 48 é apresentado a micrografia da transição do metal base para a zona termicamente afetada (MB-ZAC 200X). Micrografia na qual apresenta um aumento progressivo de tamanho de grão no sentido que se obtém maior fluxo de calor.

Figura 48 – Micrografias da transição do MB para a ZAC (200X).

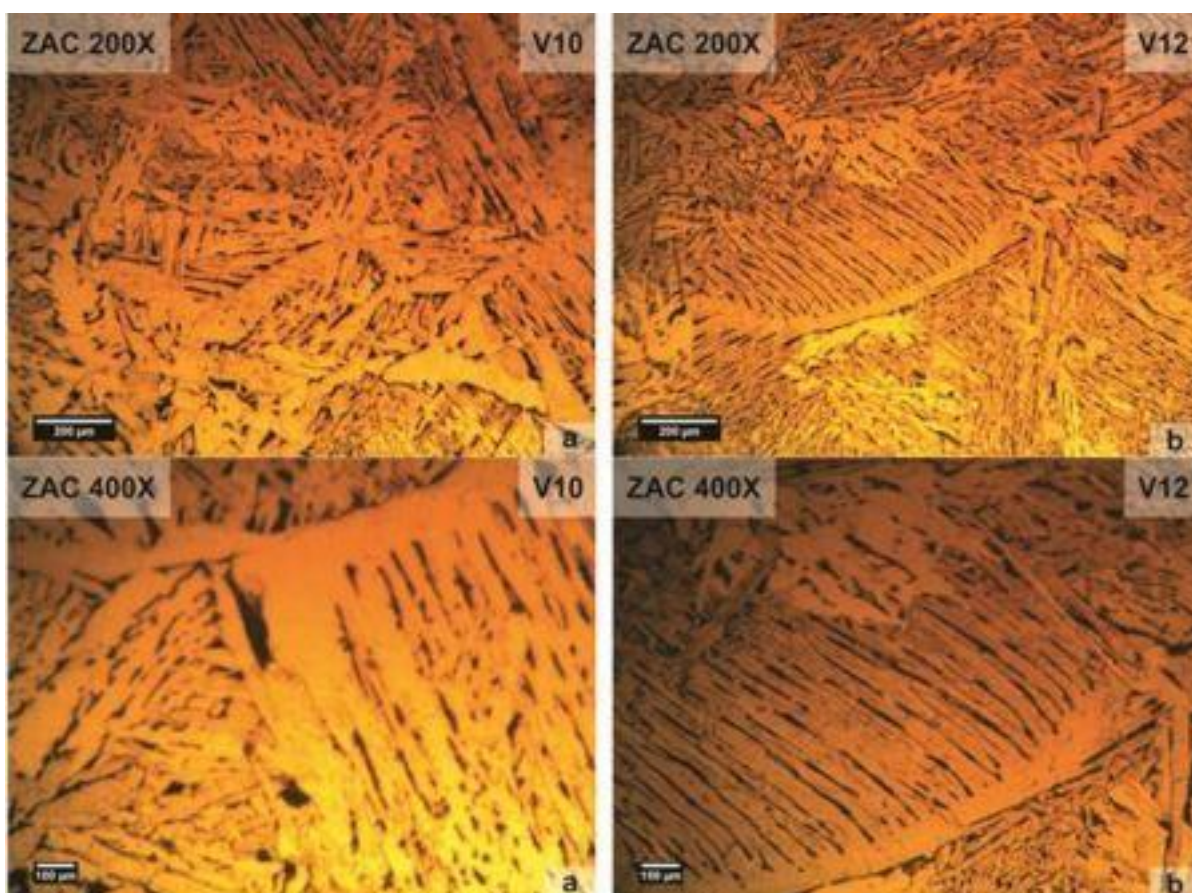


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A Figura 49 apresenta a microestrutura da zona termicamente afetada (ZAC-200X e 400X). Esta região é caracterizada por apresentar grãos grosseiros, resultado do grande aporte térmico recebido. Além disto, é uma região que experimenta grandes taxas de extração de calor. Assim, ocorre significativa mudança microestrutural.

Nesta microestrutura podemos observar a ferrita de Widmanstätten, que é uma fase formada por altas taxas de extração de calor, e pode ser subdividida em ferrita de segunda fase alinhada FS(A) e ferrita de segunda fase não alinhada FS(NA).

Figura 49 – Micrografias da ZAC (200X e 400X).

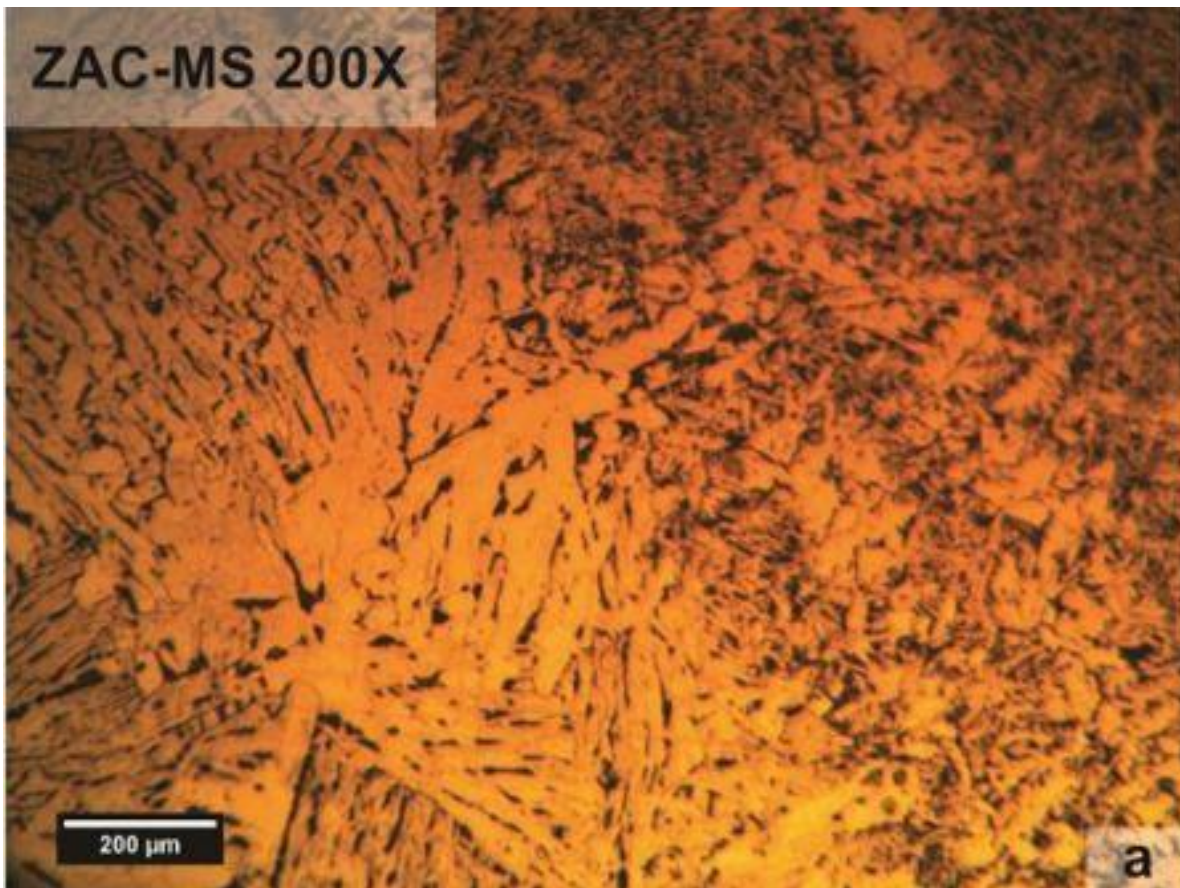


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A Figura 50 apresenta a microestrutura da transição da zona termicamente afetada para a região do metal de solda (ZAC-MS 200X). Esta região é caracterizada por apresentar ferrita de segunda fase não alinhada FS(NA), e no sentido que se obtém maiores taxas de extração de calor, encontra-se o microconstituente agregado à ferrita acicular (AF) e ferrita poligonal (PF), formando

assim o produto final de transformação da austenita sob condições de alta taxa de resfriamento e elevado teor de C.

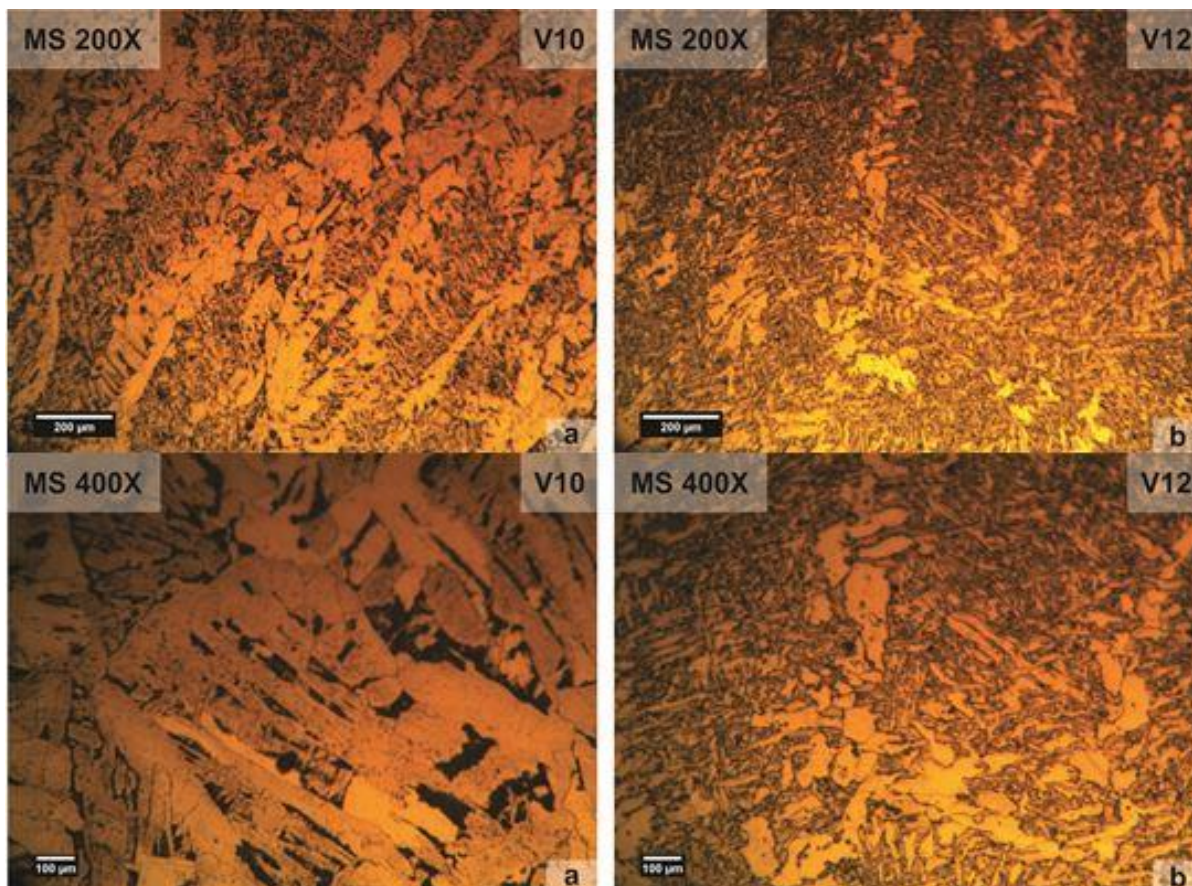
Figura 50 – Micrografia da transição da ZAC para o MS (200X)



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A Figura 51 apresenta a microestrutura do metal de solda (200X e 400X), onde se caracteriza por apresentar ferrita acicular (AF) evidenciada por grãos extremamente finos de ferrita não paralelos, mas também podemos encontrar ferrita poligonal (PF) caracterizado por grãos poligonais.

Figura 51 – Micrografia do metal de solda (200X e 400X)



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

4.6 Ensaio de microdureza Vickers

A avaliação de microdureza foi importante para avaliar a resistência do material nas diferentes zonas das juntas soldadas, indicando possíveis alterações microestruturais decorrentes do processo de SAW.

A dureza da junta soldada pode ser influenciada por diversos fatores, tais como, composição química e o grau de encruamento do material de base, os efeitos metalúrgicos do processo e os parâmetros empregados. A análise de dureza na região soldada e do MB, foram determinantes para indicar a ductilidade.

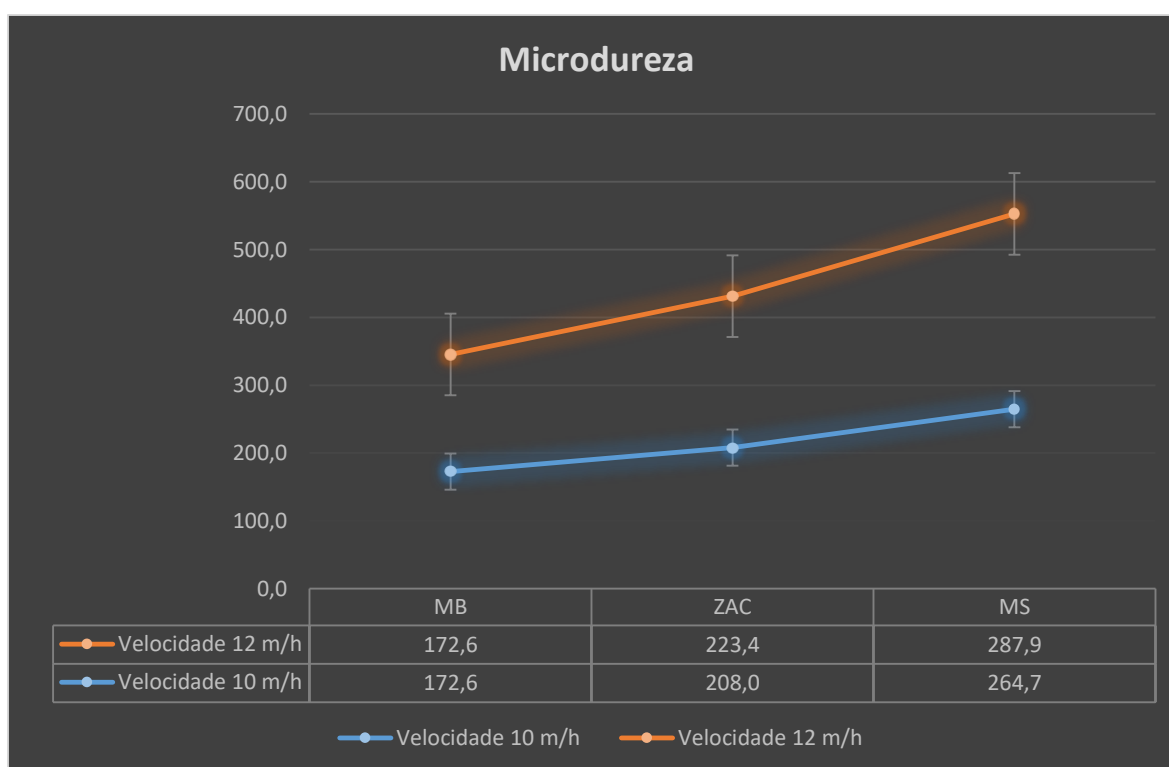
Ensaio de dureza Vickers foram realizados ao longo de uma linha horizontal na seção transversal das soldas, conforme Figura 39, já referenciada neste trabalho. Os valores de dureza são apresentados na da Tabela 13, seguido de um Gráfico 04.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de microdureza

Resultados do Ensaio de Microdureza					
Medida	Local	Velocidade 10 m/h	Média (HV)	Velocidade 12 m/h	Média (HV)
1	MS	250,1	264,7	293,7	287,9
2		285,1		282,5	
3		259,0		287,7	
4	ZAC	212,8	208,0	219,6	223,4
5		203,4		222,4	
6		207,7		228,1	
		Metal Base			
7	MB	184,5	172,6		
8		167,8			
9		165,6			

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Gráfico 04 – Resultados do ensaio de microdureza



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Através do gráfico pode-se observar que a microdureza é menor no metal base, aumenta na ZAC e tem seu valor máximo no metal de solda. Comparando os processos no qual variou-se a velocidade podemos constatar que obtivemos maiores durezas no processo que teve a soldagem realizada com a maior velocidade. Quanto maior a velocidade de soldagem, menor é o aporte térmico e,

conseqüentemente, maior a taxa de resfriamento, que influenciou diretamente na formação das fases, assim formando fases mais duras e com menor tenacidade.

5 CONCLUSÕES

Os parâmetros e procedimentos utilizados para o processo SAW com variadas velocidades de soldagem produziram diferentes aportes térmicos que conseqüentemente, apresentam distintas propriedades mecânicas e microestruturais.

O uso de uma chapa de reforço utilizada no processo de soldagem SAW, causou a retenção de escória na raiz da solda, ocasionando falta de penetração, diminuindo a tensão máxima aplicada no ensaio de tração.

No entanto, foi notória a diferença de resistência mecânica no ensaio de tração para as diferentes velocidades, sendo que através da soldagem com menor velocidade obteve-se um maior aporte térmico, ou seja, 18% superior ao processo de maior velocidade, conseqüentemente uma maior resistência à tração.

O ensaio de macrografia foi essencial para revelar as três zonas clássicas de uma junta soldada, ou seja, metal de solda (MS), zona afetada pelo calor (ZAC) e metal base não afetado (MB). Como o processo de soldagem SAW possui grandes aportes térmicos as três zonas estavam bem representativas.

Os ensaios de micrografia revelaram a constituição de cada fase formada. O metal base composto de uma matriz ferrítica com pequenas colônias de perlita, sendo que a zona termicamente afetada caracterizou-se por apresentar grãos grosseiros, resultado do grande aporte térmico recebido. E o metal de solda por apresentar ferrita acicular (AF) caracterizou-se por grãos extremamente finos de

ferrita não paralelos, mas também ferrita poligonal (PF) caracterizada por grãos poligonais.

A análise de dureza na região soldada e do MB foi determinante para indicar a ductilidade, assim determinando que a menor ductilidade estava presente no metal base, aumenta na ZAC e tendo seu valor máximo no metal de solda. Sendo assim pode-se constatar que obtivemos maiores durezas no processo que teve a soldagem realizada com a maior velocidade, ou seja, quanto maior a velocidade de soldagem, menor é o aporte térmico e, conseqüentemente, maior a taxa de resfriamento, que influenciou diretamente na formação das fases, assim formando fases mais duras e com menor tenacidade.

6 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no desenvolvimento deste trabalho e dos resultados obtidos nos ensaios realizados, sugere-se como trabalhos futuros:

- Estudar a influência nas propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada para as diferentes maneiras de extração dos corpos de prova;
- Estudar a influência nas propriedades mecânicas e metalúrgicas para uma soldagem com pré-aquecimento das chapas de aço ASTM A36;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, S. F., MACIEL, T. M., SANTOS, M. A., BRACARENSE, A. Q., **Avaliação da Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Metais de Solda Obtidos por Processos de Soldagem Manual e Automatizado utilizado na Soldagem de Aço API 5L X80**, Soldag. Insp. São Paulo, Vol.16, No. 4, p.322-332, Out/Dez 2011.

AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Handbook. Test Methods for Evaluation Welded Joints. USA: [s.n.]. 2003. 53p.

ASME E23. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, 2007.

ASTM E384. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials: Annual Book of ASTM Standards. USA: [s.n.]. 2011. 43p

ASTM A36 / 36M. Standard Specification for Carbon Structural Steel: Annual Book of ASTM Standards. USA: [s.n.]. 2008. 4p.

ASTM E8 / 8M. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2011.

BRANDI, Sergio Duarte. **Soldagem: Processos e Metalurgia** – 2ª edição – São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

EBAH(a). Disponível em: <<http://ec2-107-21-65-169.compute-1.amazonaws.com/content/ABAAAg4FAAJ/solda?part=2>>. Acesso em: 05 set. 2016.

EBAH(b). Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABDbEAI/diagrama-fases-fe-c>>. Acesso em: 22 set. 2016.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. atual. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

METALPLAN. Disponível em:

<www.metalplanestruturas.com.br/processos/fabricacao/aco-estrutural>. Acesso em: 06 set. 2016.

MOREIRA, A. F. **Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW**. 2008. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

SABESP-NTS 034. Norma Técnica Interna SABESP NTS 034. 1999. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts034.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2016.

SUMIG. Disponível em: <https://www.sumig.com/arquivo-catalogo/05_Consumiveis_para_Soldagem/01_Arames_para_Soldagem/barrica_arma_arco_submerso_fluxo_arco_submerso.pdf>. Acesso em: 09 out. 2016.

THEWLIS. **Materials perspective: Classification and quantification of microstructures in steels**, 2004.

ZEEMANN, Annelise. **Energia de Soldagem**. Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/artigos/metalurgia/408-energia-de-soldagem.html>>. Acesso em: 18 set. 2016.

ZENONI, Luiz Carlos. **O maravilhoso mundo da informação: o marketing agradece**. [2001]. Disponível em: <<http://www.varejista.com.br/artigos/marketing/74/o-maravilhoso-mundo-da-informacao-o-marketing-agradece>>. Acesso em: 05 set. 2016.