



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA - CENTRAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RAFAELA PATRÍCIA MENDES DE ARAÚJO

TÉCNICAS METALOGRÁFICAS PARA CARACTERIZAÇÃO
MICROESTRUTURAL EM JUNTAS SOLDADAS DO AÇO CR-MO

TERESINA

2017

RAFAELA PATRÍCIA MENDES DE ARAÚJO

TÉCNICAS METALOGRÁFICAS PARA CARACTERIZAÇÃO
MICROESTRUTURAL EM JUNTAS SOLDADAS DO AÇO CR-MO

Artigo científico para Trabalho de Conclusão de Curso como exigência parcial para obtenção do diploma do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina – Central.

Orientador: Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho

Coorientador: Dr. Ayrton de Sá Brandim

TERESINA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A658t Araújo, Rafaela Patrícia Mendes de
TÉCNICAS METALOGRÁFICAS PARA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL
EM JUNTAS SOLDADAS DO AÇO CR-MO / Rafaela Patrícia Mendes de Araújo - 2018.
45 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Bacharelado em Engenharia
Mecânica, 2018.

Orientador : Prof Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho.
Coorientador : Prof Dr. Ayrton de Sá Brandim.

1. Aço A-387. 2. ZTA. 3. Martensita. 4. MIG/MAG. I.Título.

CDD 620

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “TÉCNICAS METALGRÁFICAS PARA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL EM JUNTAS SOLDADAS DO AÇO Cr-Mo”

ALUNA: RAFAELA PATRÍCIA MENDES DE ARAÚJO

MATRÍCULA Nº: 20111EME0333

DATA: 11 de outubro de 2018

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado para obtenção do título de graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí:

Assinado no original

Prof. Msc. Anderson Felipe Chaves Fortes
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

COMISSÃO EXAMINADORA

Assinado no original

Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí
Orientador

Assinado no original

Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí
Avaliador

Assinado no original

Prof. José Matias Ferreira Filho
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí
Avaliador

Teresina, 11 de outubro de 2018

Ao meu filho Theo e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ser meu suporte e me fortificar nos momentos mais difíceis desta trajetória.

Agradeço à minha família pelo apoio que me foi dado, mas especialmente agradeço meu filho Theo Mendes Melo, por ser a criança mais alegre, inteligente e compreensiva que existe: alegre por sempre alegrar os meus dias, inteligente por saber o porquê das minhas ausências e compreensiva por entender. À minha mãe, Maria do Socorro Mendes, ao meu pai Marcos e às minhas irmãs, Pollyana Cristina, Sara Cecília e Sofia, por suportarem a distância e sempre me darem forças para superar esse desafio. À minha avó, Raimunda Maria Mendes, a quem devo muito, agradeço por seu amor, por ser meu abrigo e pelas palavras de sabedoria e à minha tia Edna Mendes, por seu amor incondicional e apoio em todos os momentos de minha caminhada. Também agradeço ao meu tio Etevaldo Mendes e a minha madrinha Graça Campos, por sempre estarem comigo desde o começo de minha vida.

Agradeço imensamente a todos os meus professores, em especial ao meu professor orientador Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho e o professor Dr. Ayrton de Sá Brandim pelos incentivos, amizade e exemplo de competência que sempre me deram desde o começo de minha graduação.

À todos os meus amigos, Andréia, Sérgio, Elizangela, Merlin, que nunca me permitiram desistir.

Ora, a fé é a certeza daquilo que esperamos e a prova das coisas que
não vemos.

Hebreus 11:1

RESUMO

A metalografia é o registro da constituição e estrutura dos metais com o objetivo de relacioná-los com as propriedades mecânicas e processos de fabricação. Essa estrutura revela os agregados e fases de uma liga metálica em função de sua composição química ou processos de transformação aplicados à mesma. Aços de baixa liga são aços com a adição intencional de pequenos teores de outros elementos de liga, com o objetivo de se obter propriedades diferenciadas. São amplamente utilizados devido ao baixo custo e versatilidade de suas propriedades. O presente trabalho tem como objetivo abordar e discutir os conhecimentos e procedimentos experimentais necessários para a observação e a análise dos aços utilizando as técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura, permitindo identificar os microconstituintes existentes. O processo consistiu na avaliação do aço A-387 (1,25Cr-0,5Mo) submetidos à soldagem MIG/MAG com variação do parâmetro de corrente (136A, 180A e 200A). Todos os procedimentos experimentais foram baseados nas normas NBR 13284, NBR 15454 E NBR 14842. Os resultados das microscopias apresentaram uma grande quantidade de martensita na Zona Termicamente Afetada, sendo constatada uma elevada dureza nessa região pelo ensaio de dureza Vickers.

Palavras-chave: Aço A-387, ZTA, Martensita, MIG/MAG

ABSTRACT

Metallography is the record of the constitution and structure of metals in order to relate them to the mechanical properties and manufacturing processes. This structure reveals the aggregates and phases of a metal alloy depending on their chemical composition or transformation processes applied to it. Low alloy steels are steels with the intentional addition of small contents of other alloying elements, in order to obtain differentiated properties. They are widely used due to the low cost and versatility of their properties. The objective of this work is to discuss and discuss the experimental knowledge and procedures required for the observation and analysis of steels using optical microscopy and scanning electron microscopy techniques, allowing the identification of existing microconstituents. The process consisted in the evaluation of A-387 (1,25Cr-0,5Mo) steel submitted to MIG / MAG welding with variation of current parameter (136A, 180A and 200A). The norms NBR 13284, NBR 15454 and NBR 14842 based all the experimental procedures. The results of the microscopies presented a great amount of martensite in the Thermally Affected Zone, the Vickers hardness test verified a high hardness in this region.

Keywords: Steel A-387. ZTA. Martensite. MIG / MAG

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seleção do corpo de prova (Seção transversal)	21
Figura 2 - Resina Acrílica para embutimento	23
Figura 3 - Modelo esquemático de uma lixa para desbaste	23
Figura 4 - Representação do método de lixamento.....	24
Figura 5 - Politriz do LabMat do IFPI	24
Figura 6 - Alumina utilizada no processo de polimento	25
Figura 7 - Método para secagem das amostras	26
Figura 8 - Reagente Nital 2%	27
Figura 9 - Reflexão da luz nas amostras atacadas	27
Figura 10 - Microscópio Óptico do LabMat do IFPI	28
Figura 11 - Microscópio Eletrônico de Varredura	30
Figura 12 - Metal de base com aumento de 500x	30
Figura 13 - Fronteira entre o Metal base (a esquerda) e a ZTA (à direita) com aumento de 200x.....	31
Figura 14 - ZTA da amostra com aumento de 200x	32
Figura 15 - Interface da ZTA com a Zona fundida com aumento de 200x	32
Figura 16 - Área de interação do metal de base com a ZTA da amostra 2	33
Figura 17 - ZTA da amostra 2 aumento de 500x.....	33
Figura 18 - Interface do metal base com a ZTA da amostra 3 com aumento de 100x	34
Figura 19 - ZTA da amostra 3 com aumento de 500x	34
Figura 20 - Interface da ZTA com a zona fundida da amostra 3 com aumento de 50x	35
Figura 21 - Interface do material de base, ZTA e zona fundida	35
Figura 22 - Interface da ZTA com a zona fundida com aumento de 500x.....	36
Figura 23 - Metal de base como recebido	37
Figura 24 - ZTA da amostra 1	38
Figura 25 - ZTA da amostra 2	38
Figura 26 - ZTA da amostra 3	39
Figura 27 - ZTA da amostra 4	39
Figura 28 - ZTA da amostra 5	40
Figura 29 - ZTA da amostra 6	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do aço segundo fabricante.	20
Tabela 2 - Ensaio de Dureza Vickers.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
CCC	Cúbico de Corpo Centrado
CFC	Cúbico de Face Centrada
d.C.	Depois de Cristo
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
IFPI	Instituto Federal do Piauí
LabMat	Laboratório de Mestrado em Engenharia de Materiais
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MB	Metal de Base
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MIG	<i>Metal Inactive Gas</i>
MO	Microscopia Óptica
NBR	Norma Brasileira
PWHT	Tratamento Térmico Pós-Soldagem
TIG	Gás Tungstênio Inerte
ZF	Zona Fundida
ZTA	Zona Termicamente Afetada

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
α	Alfa
δ	Delta
γ	Gama
μm	micrometro
C	Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
Fe	Ferro
Mo	Molibidênio
Mn	Manganês
O	Oxigênio
P	Fósforo
S	Enxofre
Si	Silício

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	20
3.2 ENSAIOS METALOGRAFICOS.....	28
3.2.1 Microscópio óptico	28
3.2.2 Microscópio Eletrônico de Varredura	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5 CONCLUSÃO	42
REFÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

A humanidade está em constante relação com os materiais a qual domina. De fato, as civilizações antigas foram denominadas de acordo com o desenvolvimento de conhecimento a respeito dos materiais, como idade da pedra, idade do bronze, idade do ferro (CALLISTER, 2007). À medida que esse conhecimento aumentava, desenvolvia-se mais materiais, com características melhores do que encontrava-se à disposição.

Com o surgimento de novos materiais, estudos de seus comportamento tornavam-se necessários, bem como tratamentos e processo de melhorias e a melhor forma de trabalhar com os mesmos. A composição química dos materiais, bem como os tratamentos térmicos realizados, são fatores que têm grande influência nas propriedades mecânicas finais. O carbono é tão importante neste aspecto que a própria denominação da classe de aços pode ser realizada através da quantidade de carbono presente no material (EILISES, 2008). Ligas de Ferro-Carbono com quantidades de carbono inferiores a 2,1% são denominados aços e ligas Ferro-Carbono com carbono superior a 2,1% são os ferros fundidos.

O processo de soldagem, surgiu com a necessidade de se fabricar produtos complexos com a união de materiais. Geralmente se define soldagem como meio de união de metais por fusão. Barbosa (2007) define a soldagem como um procedimento que visa a obtenção de união de duas ou mais peças certificando a continuidade das propriedades químicas, físicas e metalúrgicas da junta, que são propriedades essenciais para as atividades a que se destina. Entretanto, Marques et. al (2009) destacaram que não é exclusiva para metais a soldagem, além de não ser única opção o processo de fusão.

Para manter a qualidades dos produtos metalúrgicos, aplicam-se métodos de controle estrutural e dimensional. A metrologia é responsável pelo controle das dimensões físicas do produto, enquanto o controle estrutural preocupa-se com o material que forma a peça ou produto, sua composição, propriedades, estrutura, aplicação, entre outros. Este controle pode ser físico, químico, metalográfico e especial (ROHDE, 2010). A metalografia, se for encarada como o uso de aspectos visuais do metal para o controle de suas propriedades, surge no Oriente por volta de 800 d.C.. Nesta época, metalurgistas usavam materiais

compósitos (aço alto carbono altamente segregado ou uma combinação de aço e ferro) para produção do aço por forjamento, produzindo uma macroestrutura visível a olho nu (AZEVEDO, 2010).

As técnicas metalográficas, de acordo com a norma, avalia a microestrutura dos aços. Os ensaios não destrutivos determinam as características dos aços, uma vez que identificam seus componentes. O presente artigo tem como objetivo abordar e discutir os conhecimentos e procedimentos experimentais necessários para a caracterização e análise dos aços utilizando as técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura, permitindo identificar os microconstituintes existentes. Os materiais para análise foram placas soldadas do aço Cr-Mo, através dos processos MIG e MAG. O projeto foi realizado concomitantemente com o mestrando Márcio Davi Tenório Correia Alves na produção de sua dissertação em 2014, “ Caracterização da ZTA da Junta Soldada do aço 1,25 Cr-0,5Mo Obtida pelos processos MIG/MAG”.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A definição de micrografia pela norma NBR 15454 (ABNT, 2007) é o “aspecto ou reprodução gráfica de uma amostra do material devidamente preparada com aumento linear maior que dez vezes. O termo também é utilizado para designar a técnica micrográfica”.

A metalografia de acordo com a mesma norma é definida como o “registro da constituição e da estrutura dos metais, ligas, produtos e compósitos metálicos, com o objetivo de relacioná-lo com as propriedades e processos de fabricação” (ABNT, 2007).

A microestrutura é a “morfologia apresentada pelos agregados e/ou fases de uma liga metálica em função de sua composição química, processo de transformação e tratamento térmico empregados” (ABNT, 2007).

Durante o processo de solidificação dos aços identificam-se o aparecimento de microconstituintes como ferrita, cementita, perlita e austenita. O ferro puro, à temperatura ambiente, encontra-se em uma forma estável, conhecida como Ferrita (ferro α). Possui uma estrutura cristalina Cúbica de Corpo Centrado (CCC), é dútil e pouco resistente quando comparado a outros constituintes devido à sua estrutura cristalina (CALLISTER, 2008; ABNT, 2007).

À uma temperatura de 912°C a ferrita experimenta uma transformação polimórfica para austenita, com estrutura cristalina Cúbica de Face Centrada (CFC), conhecido como ferro γ . Esta austenita persiste até uma temperatura de 1394°C, onde a austenita CFC reverte novamente para uma fase com estrutura CCC, ferrita δ , a qual finalmente se funde a uma temperatura de 1538°C (CALLISTER, 2008; ABNT, 2007).

Quando um aço é resfriado rapidamente a partir de sua estrutura austenítica, pode apresentar uma dureza mais elevada, acarretando em uma elevação da resistência mecânica, em comparação com aços que são resfriados lentamente (ZEPTER; COUTO; ANDRADE, 2006). O que ocorre é que a estrutura austenítica, que foi obtida no aquecimento, ao ser resfriada, transforma-se em uma estrutura acicular, que é conhecida como martensita, que se cristaliza sob a forma tetragonal. Pode haver ainda austenita não transformada (austenita retida), além de carbeto não dissolvidos. Quanto maior o teor de carbono, níquel e manganês, maior será a quantidade de austenita

retida na estrutura. Todas as estruturas intermediárias que possam aparecer são misturas de ferrita e de cementita, enquanto que a martensita consiste de uma solução supersaturada de carbono num reticulado tetragonal de corpo centrado de átomos de ferro (ROTHERY, 1996 apud ZEPTER; COUTO; ANDRADE, 2006).

A bainita é o “termo utilizado para designar os produtos de transformação da austenita, constituídos por agregados de ferrita e cementita e formados numa faixa de temperatura situada entre a de formação de perlita fina e a de formação de martensita” (ABNT, 2007).

Os componentes que normalmente são encontrados nos aços carbono são fósforo, enxofre, manganês e silício. Os dois primeiros são impurezas, sendo prejudiciais, deseja-se que seus teores sejam baixos (máximo 0,04 - 0,05%). O manganês, em pequenas e controladas quantidades (0,6 – 0,9%) conferem características como maior temperabilidade e soldabilidade, além de uma resistência a tração mais elevada. O Silício é utilizado como desoxidante no processo de produção, aumenta a resistência da ferrita mas em teores acima de 1% diminui consideravelmente a ductibilidade e a tenacidade do aço (o teor recomendado é 0,35%).

Quando percebeu-se que a inclusão de elementos de liga aos metais puros poderiam alterar as propriedades mecânicas dos aços, essa prática de difundiu consideravelmente (ALVES, 2014). Os aços-liga são aços que tem em sua composição a inclusão de elementos químicos para melhorar suas propriedades, e o somatório, para aço de baixa liga, é de máximo 8% e, para aços de alta liga, o valor é superior a 8%, de acordo com a ABNT. Os Aços Cr-Mo, são aços de baixa liga (1 a 3% de Cromo e 0,5 a 1% de Molibdênio) e são normalmente selecionados para fabricação de trocadores de calor e reatores (DILINGER HUTTENWERKE, 2007).

Uma vez que o trabalho será a análise de juntas soldadas, o conhecimento sobre os processos de união faz-se necessário, para uma compreensão prévia da maneira que tais processos afetam o material de base.

Os tipos de processos de soldagem por fusão são: soldagem a arco, processo TIG (Gás Tungstênio Inerte), arame tubular e o processo MIG/MAG (ALVES, 2014). De maneira simplificada, pode-se caracterizar tais processos da seguinte maneira: o processo a arco utiliza um arco elétrico para realizar a fusão,

onde o mesmo se localiza entre o metal base e o eletrodo ou arame; o processo TIG realiza a união de metais através de um arco elétrico, por onde ocorre o aquecimento e fusão entre o eletrodo e o material, utilizando como proteção do arco um gás inerte (argônio ou hélio); o processo de arame tubular consiste em um método no qual a união dos metais ocorre através do aquecimento provocado pela passagem da corrente elétrica pelo arame (ALVES, 2014).

Por fim, o processo MIG foi uma evolução do processo TIG, onde o eletrodo de tungstênio foi trocado por um arame consumível. Devido ao elevado preço do argônio em meados dos anos 50, o gás inerte foi substituído por um ativo de dióxido de carbono CO_2 , como opção para a atmosfera protetora. Desta forma surgiu o processo MAG (*Metal Active Gas*) ou Metal Gás Ativo. Os processos MIG/MAG ficaram conhecidos como GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

No processo de união por fusão, a fusão do material de adição com o material de base ocorre de forma localizada, de maneira que a microestrutura inicial e as propriedades na região próxima ao metal de solda são alteradas. A parte transformada do metal de base que não se funde mas tem sua estrutura alterada é conhecida como Zona Termicamente Afetada – ZTA (SILVA, 2010)

De acordo com Fuentes (2006), em seu trabalho “*Effect of in Service Weld Repair on the Performance of CrMo Steel Steam Pipelines*” (Efeito do reparo de solda em serviço no desempenho de tubulações de vapor de aço CrMo), afirma que a soldagem (no caso o método de soldagem foi TIG) conduz à precipitação de carbeto do tipo Fe_2MoC e diminui a concentração de soluto da ferrita no metal base adjacente à junta soldada, reduzindo consideravelmente a vida remanescente dos tubos, uma vez que o tempo de ruptura (idade de serviço do material) é 3,6 vezes o estimado para a junta reparada por solda.

Levando em conta as condições de trabalho no qual tal liga é submetida, de acordo com Viswanathan (1989), a falta de integridade em um reparo com soldagem (reparos mal executados) pode resultar em falta de segurança no serviço e perdas econômicas substanciais ocasionadas pelas paradas não programadas.

Segundo Arnswald et. al. (1986), em seus trabalhos, concluíram que a soldagem no aço Cr-Mo causou uma redução em sua vida remanescente em 30% através de teste de ruptura sob condições de fluência realizados. Segundo conclusão do referido trabalho de Fuentes (2006), o reparo por soldagem pode

levar em uma redução de até 70% da vida remanescente no material soldado. A redução da fluência se deve à perda de soluto pela ferrita e aumento da distância entre precipitados ocorrendo em consequência da precipitação de Fe_2MoC induzida por PWHT (Tratamento Térmico Pós-Soldagem – processo que visa garantir que a resistência do material de uma peça seja mantida após a soldagem).

Diante do exposto, observa-se a importância de uma análise microestrutural bem executada, bem como o conhecimento a respeito dos microconstituintes do material, e de que forma eles se comportam sob condições críticas, como o processo de soldagem

Em vista do objetivo do trabalho, buscou-se uma melhor forma de estruturar o procedimentos de análises. Por Fonseca (2002), *Methodos* significa organização, e *logos*, estudo sistemático, pesquisa, investigação. Partindo desse pressuposto, a metodologia pode ser definida como estudo da organização dos procedimentos e atividades a serem realizadas em uma pesquisa, ou seja, é o melhor caminho a ser percorrido para se alcançar um objetivo (estudo, pesquisa). Em vista do conceito, uma metodologia se faz necessária para organizar um sequenciamento sistemático de atividades para chegar a um melhor resultado, de forma mais eficiente.

Com o objetivo de padronizar tais procedimentos essenciais para análises metalográficas, normas foram desenvolvidas. Dentre as normas para ensaios metalográficos, estão a NBR13284 (Preparação de corpos de prova para análise metalográfica), NBR15454 (Metalografia das ligas de ferro-carbono – Terminologia), NBR8108 (Ataque com reativos metalográficos em ligas ferrosas), NBR7555 (Aço revelação do grão austenítico), entre outras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para se estabelecer uma metodologia de análise metalográfica, é necessário um conhecimento a respeito dos equipamentos e procedimentos, bem como das normas que os regem. Durante trabalhos realizados no laboratório de Mestrado em Engenharia de Materiais (LabMat) do Instituto Federal do Piauí (IFPI), foram desenvolvidas técnicas de metalografia e realizados ensaios mecânicos nos mais diferentes tipos de materiais, de forma que o conhecimento e domínio das ferramentas foram adquiridas.

O sequenciamento sistemático para o processo metalográfico pode ser apresentado como: a análise da situação/problema; preparação de um corpo de prova objetivando a obtenção de uma superfície plana e polida (escolha da secção a ser estudada, seccionamento ou corte, embutimento, lixamento de desbaste e de acabamento, polimento); realce da microestrutura (ataque químico); exame ao microscópio; interpretação dos resultados e documentação (fotografias, filmes, relatórios, entre outros).

3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

De acordo com a norma NBR 14842 (ABNT, 2003), corpo de prova é uma porção identificada, retirada da peça teste, ou da peça teste de produção, geralmente com forma e dimensões padronizadas, para a execução de ensaios mecânicos, não destrutivos, químicos ou metalográficos. No processo de soldagem foram utilizadas três chapas de espessura 0.6mm de aço ferríticos de baixa liga do tipo Cr-Mo A 387, grau 11 – classe 2 (1,25Cr-0,5Mo).

Tabela 1 - Composição química do aço segundo fabricante.

Aço	%C	%Mn	%Si	%Cr	%P	%S	%Mo
A387	0,15	0,53	0,60	1,14	0,011	0,02	0,47

Fonte: Certificado de Qualidade, MULTIALLOY METAIS E LIGAS ESPECIAIS LTDA Nº46874 de 23/02/2012

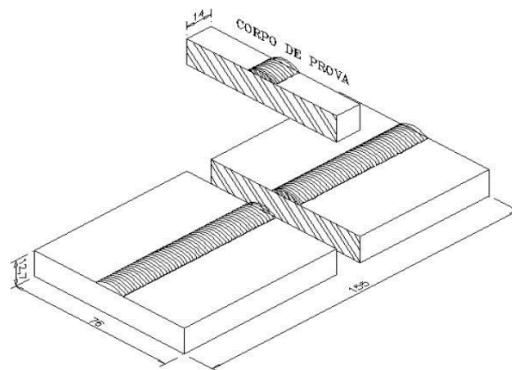
Para os processos de soldagem, realizado por Alves (2014), foram utilizados os gases de proteção fornecidos pela empresa UNISOLDAS: a mistura de 75% de Argônio e 25% de CO₂, para a soldagem MIG; e o dióxido de carbono (CO₂), para a soldagem MAG (designados sob a norma American Welding Society (AWS A5.29)).

Como consumíveis de soldagem, foram utilizados arames AWS ER-80S-B2 com 1,6 mm de diâmetro, designados sob a norma American Welding Society (AWS A5.28).

A norma NBR 13248 (ABNT, 1995) define que o tipo de análise metalográfica determina a localização dos corpos de prova a serem estudados, que representam o lote examinado. As seções transversais, retiradas perpendicularmente ao eixo principal do material, revelam informações como: variações na estrutura do material do centro à superfície; distinção de impurezas não metálicas; descarbonetação na superfície de um material ferroso; profundidade da corrosão; tamanho do grão; etc. As seções longitudinais retiradas paralelamente ao eixo principal do material revelam: impurezas não metálicas; grau de deformação plástica, observada pela distorção do grão; perfeição alcançada por qualquer tratamento térmico; etc.

O presente trabalho visa analisar a junta soldado do aço, analisando a microestrutura ao longo de toda a junta, ou seja, no metal de base, na zona termicamente afetada e no metal de solda. O processo de soldagem foi realizado no sentido longitudinal das chapas, desta forma a seleção do corpo de prova para análise foi a seção transversal (Figura 1). As dimensões dos corpos de prova ideais para análise, de acordo com a norma NBR 13284 (ABNT, 1995), é entre 12mm e 15mm nas laterais, e 15mm a 20mm de altura.

Figura 1 - Seleção do corpo de prova (Seção transversal)



Fonte: Sábio (2007).

O corte é realizado por meio de um disco abrasivo, onde qualquer dano gerado no corte (defeitos no corte ou aquecimento da seção da amostra) deve ser removido através dos processos de desbaste (ABNT, 1995).

Normalmente durante a preparação dos corpos de prova para metalografia, realiza-se o embutimento para facilitar o manuseio de pequenas peças, evitar que as amostras com arestas rasguem a lixa ou pano de polimento, bem como o abaulamento das mesmas durante o processo (ROHDE, 2010).

Os corpos de prova foram embutidos a frio, onde os mesmos foram colocados em um molde, posteriormente foi preenchido com resina sintética de polimerização rápida da AROTEC (Figura 2), juntamente com um catalisador, adquiridas pelo Laboratório de Engenharia de Materiais do IFPI. O embutimento também pode ser feito a quente, utilizando baquelite sob calor e pressão para aderir a amostra.

Figura 2 - Resina Acrílica para embutimento

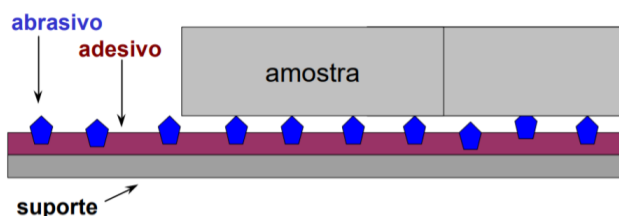


Fonte: Autoria Própria

A reação de polimerização é fortemente exotérmica, atingindo temperaturas entre 50 a 120° C, e o tempo de endurecimento varia de 0.2 a 24 horas, dependendo do tipo de catalizador utilizado (ROHDE, 2010).

É essencial que cada etapa da preparação metalográfica seja executada cautelosamente. O lixamento é um dos processos mais demorados da preparação, devido ao grau de perfeição requeridas no acabamento das amostras. A técnica consiste em se lixar a amostra sucessivamente com lixas d'água de granulometria cada vez menor (ROHDE, 2010). A Figura 3 representa um modelo esquemático de uma lixa para desbaste, onde o abrasivo é fixado ao suporte por meio de um elemento adesivo, de modo a submeter a amostra ao processo.

Figura 3 - Modelo esquemático de uma lixa para desbaste

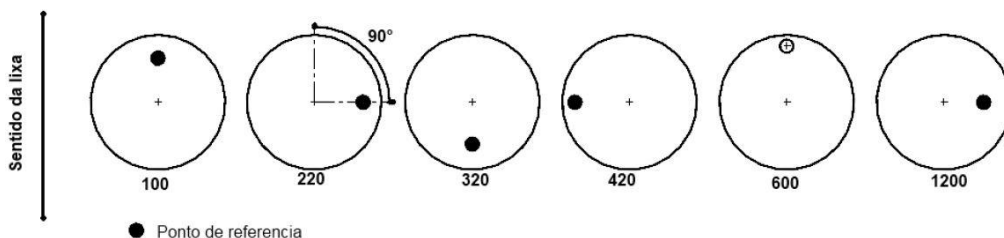


Fonte: Gallego (2005).

A Figura 4 apresenta a sequência mais adequada, e normalmente utilizada, para trabalhos metalográficos com aços. É necessária a alteração da

direção em 90° para cada lixa subsequente utilizada no processo, até que os traços da lixa anterior desapareçam.

Figura 4 - Representação do método de lixamento



Fonte: ROHDE, 2010.

De acordo com Rohde (2010), para evitar imagens falseadas das amostras, os seguintes cuidados devem ser executados:

- Escolha adequada dos material de lixamento em relação à amostra e o tipo de exame final (o que será analisado);
- A superfície deve estar limpa, isenta de líquidos e graxas que possam provocar reações químicas na superfície;
- Riscos profundos que surgem durante o lixamento devem ser eliminados por novo lixamento;
- Metais diferentes não devem ser lixados com a utilização da mesma lixa.

Tais procedimentos foram executados durante o processo de preparação. A Figura 5 apresenta a Politriz do LabMat do IFPI, equipamento utilizado para o processo de lixamento. O equipamento foi utilizado com as lixas de granulometrias 150, 220, 320, 400, 600 e 1200, em formato circular, para a preparação das amostras.

Figura 5 - Politriz do LabMat do IFPI



Fonte: Autoria Própria

Pra a realização do processo, foi executada a metodologia a seguir, sugerida por Rohde (2010):

1. Adquirir todas as lixas necessárias para a preparação das amostras;
2. Verificação do equipamento (Politriz) bem como a certificação da presença de água;
3. Marcação do ponto de referência nas amostras embutidas;
4. Início do processo de lixamento de desbaste;
5. Lixar até que só restem os riscos da última lixa utilizada;
6. Troca de lixa no equipamento e mudança de direção da amostra (girar a peça 90°);
7. Repetir as etapas 5 e 6 até atingir a lixa 1200.

A operação pós lixamento é o processo de polimento, que visa um acabamento superficial polido, isento de marcas, utilizando abrasivos como óxido de cromo (Cr_2O_3), óxido de magnésio (MgO), óxido de alumínio (Al_2O_3) ou diamante natural ou sintético (GALLEGO, 2005). Tais abrasivos podem ser aplicados em pó, pasta ou em suspensão. O abrasivo utilizado para o polimento das amostras do presente trabalho foi o óxido de alumínio em pasta (solução alumina diluída em água), conhecido como alumina (Figura 6).

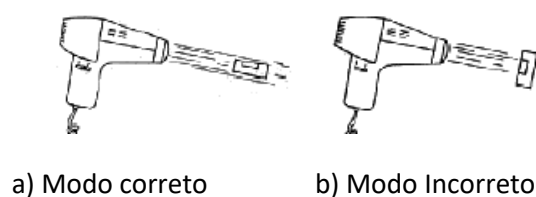
Figura 6 - Alumina utilizada no processo de polimento



Fonte: Autoria própria.

Para a análise da microestrutura no microscópio óptico, após o polimento é realizado o ataque químico. Entretanto, antes da amostra ser submetida ao ataque, a mesma deve estar perfeitamente limpa e seca, utilizando-se líquidos de baixo ponto de ebulição como álcool, éter, etc., os quais são posteriormente secados através de um jato de ar quente com auxílio de um secador para tal procedimento.

Figura 7 - Método para secagem das amostras



Fonte: Rohde (2010).

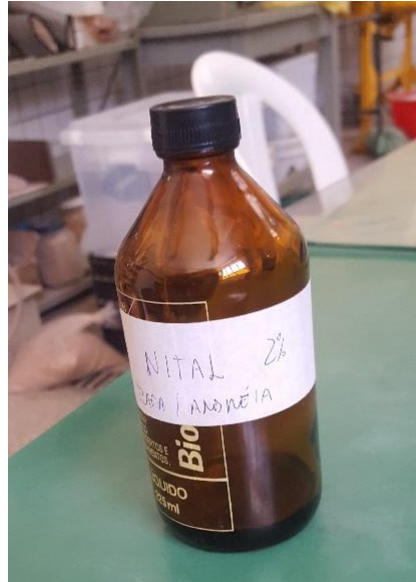
A Figura 7 representa a forma correta (a) e incorreta (b) para secagem das amostras. Na figura 7a o jato está paralelo à superfície da amostra, auxiliando da remoção das gotículas do líquido, enquanto que na Figura 7b o jato está perpendicular à superfície, gerando aquecimento e possíveis danos a mesma.

Existem diversos métodos de ataques químicos, alguns deles, por exemplo, é o método de imersão, onde a amostra é imersa no reagente; por lavagem, método em que a superfície da amostra é enxaguada com a solução, usado quando a amostra é muito grande ou quando existe um grande desprendimento de gases durante o ataque; e por aplicação, onde a solução de ataque é embebida em um chumaço de algodão ou pano, e é esfregada sobre a superfície da amostra (ROHDE, 2010). O tipo de reagente e o tempo de aplicação depende do que se deseja analisar e do tipo de material.

O reagente Nital é utilizado para aços-carbono, e fornece contraste máximo entre os contornos de perlita, ferrita ou cementita, e diferencia ferrita de martensita. É um excelente reagente para delinear contornos de grão ferríticos. Uma vez que o aço sobre análise é um aço-carbono, e deseja-se avaliar os seus microconstituintes, foi utilizado o reagente Nital com 2% de concentração (Figura

8), e o tempo de aplicação, de acordo com a norma NBR 13284 (ABNT, 1995), foi de poucos segundos a um minuto.

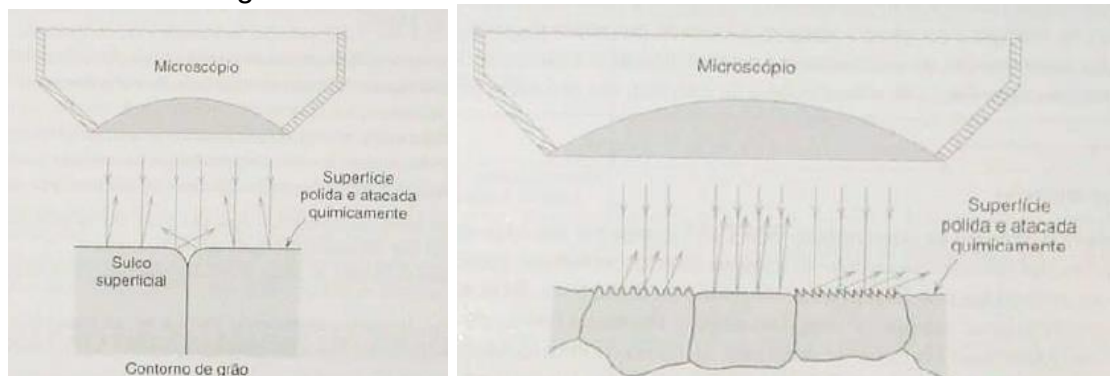
Figura 8 - Reagente Nital 2%



Fonte: Autoria Própria.

Em amostras policristalinas, as características do ataque químico muda de acordo com o grão. Ao longo do contorno dos grãos, pequenos sulcos são formados, onde os átomos localizados nessa região são quimicamente mais reativos, ou seja, eles se dissolvem a uma velocidade superior àqueles localizados no interior dos grãos. Desta forma, esses sulcos se tornam identificáveis quando vistos ao microscópio, pois refletem a luz em ângulos diferentes daqueles dos grãos propriamente ditos (Figura 9).

Figura 9 - Reflexão da luz nas amostras atacadas



Fonte: Callister (2007)

3.2 ENSAIOS METALOGRAFICOS

Todas as etapas anteriormente citadas são cruciais e devem ser realizadas com rigor, seguindo as normas NBR 13284 (ABNT, 1995), em vista da alta influência nos resultados dos ensaios. Para a fase de ensaios metalográficos, foram utilizados o Microscópio Ótico (MO) e o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), equipamentos disponíveis para os experimentos no LabMat do IFPI. Foi realizado também o ensaio de dureza, para verificação da influência dos constituintes na dureza dos corpos de prova.

3.2.1 Microscópio óptico

O tipo mais simples de microscópio é normalmente utilizado para observação de grãos e minérios, superfícies de fratura de metais, amostras têxteis, papel e outros produtos da indústria química e metalúrgica. Entretanto, os microscópios compostos são instrumentos mais poderosos, utilizando aumentos de algumas dezenas de vezes até um máximo de 1500 a 2000 vezes para observação, que é da observação com luz visível.

Figura 10 - Microscópio Óptico do LabMat do IFPI



Fonte: Autoria Própria

O microscópio utilizado para o experimento foi o Microscópio Olympus Digital CX31 (Figura 10), com aumentos de 50, 100, 200 e 500 vezes, para observação da junta soldada, comparando as regiões de metal de base, da zona termicamente afetada e do metal de solda.

3.2.2 Microscópio Eletrônico de Varredura

De acordo com a mecânica quântica, um elétron a alta velocidade terá características ondulatórias, possuindo um comprimento de onda que é inversamente proporcional à sua velocidade. Quando acelerado por meio de uma grande voltagem, os elétrons podem adquirir comprimentos de onda de 0,003nm (3pm). As grandes aplicações e poder de resolução destes microscópios são consequência dos curtos comprimentos de onda dos feixes de elétrons. O feixe de elétrons é focado e a imagem é formada por lentes magnéticas; em todos os demais aspectos, a geometria dos componentes do microscópio é essencialmente a mesma dos sistemas ópticos (CALLISTER, 2007).

Nos microscópios eletrônico de varredura (MEV) a superfície da amostra a ser examinada é varrida com o feixe de elétrons e o feixe refletido é coletado e exibido, na mesma taxa de varredura, sobre um tubo de raios catódicos. A imagem apresentada na tela representa as características da superfície da amostra.

Para a microscopia eletrônica de varredura não é necessário que a amostra esteja polida e atacada quimicamente, contudo a mesma deve ser condutora de eletricidade (CALLISTER, 2007). Para materiais não condutores, um revestimento metálico muito fino deve ser aplicado. As ampliações variam entre 10 e 50.000 vezes, sendo possível também profundidades de campo muito grandes.

As amostras, após a análise no MO, foram novamente preparadas para submissão no MEV. Independentemente da necessidade do polimento e ataque químico, esses procedimentos foram executados novamente, onde o ataque químico foi o mesmo utilizado para o MO. Para a captura das imagens através de MEV, foi utilizado o equipamento SHIMADZU, modelo SSX – 550 (Figura 11).

Figura 11 - Microscópio Eletrônico de Varredura



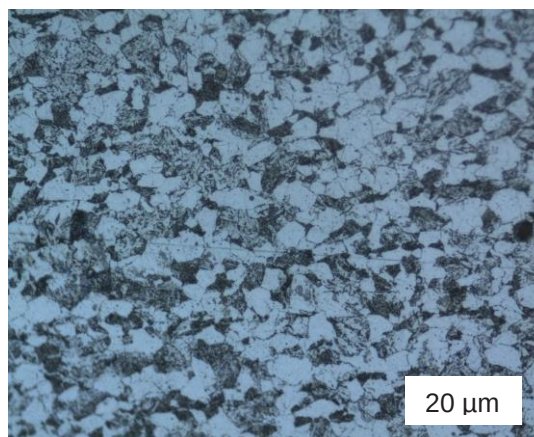
Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização microestrutural visa identificar os elementos e fase de um dado material, a fim de verificar as características do componente em análise. A seguir são apresentadas as imagens capturadas na metalografia com microscopia óptica. A primeira análise realizada avaliou as amostras soldadas pelo processo MIG, com variação no parâmetro de corrente; a segunda análise avaliou as amostras soldadas pelo processo MAG, variando-se os mesmos parâmetros.

Na Figura 12, apresentada à seguir, metal de base como recebido da empresa fornecedora, observa-se uma estrutura com matriz ferrítica com grãos de perlita.

Figura 12 - Metal de base com aumento de 500x

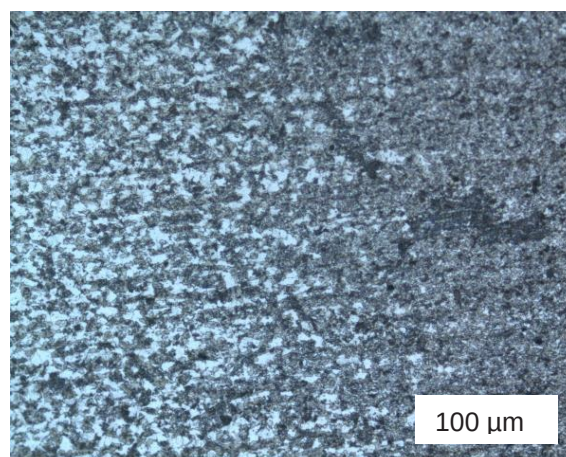


Fonte: Adaptado de Alves (2014).

Como dito anteriormente, o ataque químico auxilia a revelar os microconstituintes do material na microscopia óptica. É possível observar na Figura 12 os contornos de grão, pois os sulcos ao longo dos contornos refletem a luz do microscópio de forma diferente da região do grão propriamente dito. Observa-se os contornos de grão da matriz ferrítica, representada pelas partes claras, e os grãos de perlita (ferrita + cementita), caracterizada pelas partes escuras. Esta presença de ferrita com perlita evidencia a característica do aço CrMo, como afirma Barbosa (2014).

Para o processo MIG, utilizando a condição de corrente de 136A, obteve-se imagens (Figura 13), onde observa-se que à medida que se aproxima da ZTA, a matriz ferrítica gradativamente se torna perlita.

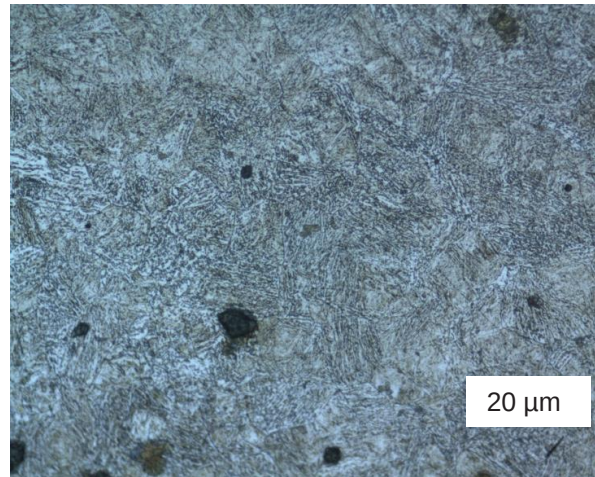
Figura 13 - Fronteira entre o Metal base (a esquerda) e a ZTA (à direita) com aumento de 200x



Fonte: Adaptado de Alves (2014).

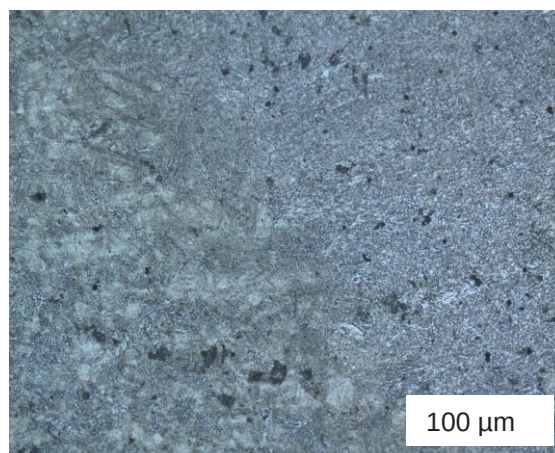
Na ZTA é possível identificar o surgimento de martensita (caracterizada por possuir um formato acicular), representada nas Figura 14 e 15, evidenciando que o material sofreu uma mudança brusca de temperatura ocasionado pelo processo de soldagem (VISWANATHAN, 1989).

Figura 14 - ZTA da amostra com aumento de 200x



Fonte: Adaptado de Alves (2014).

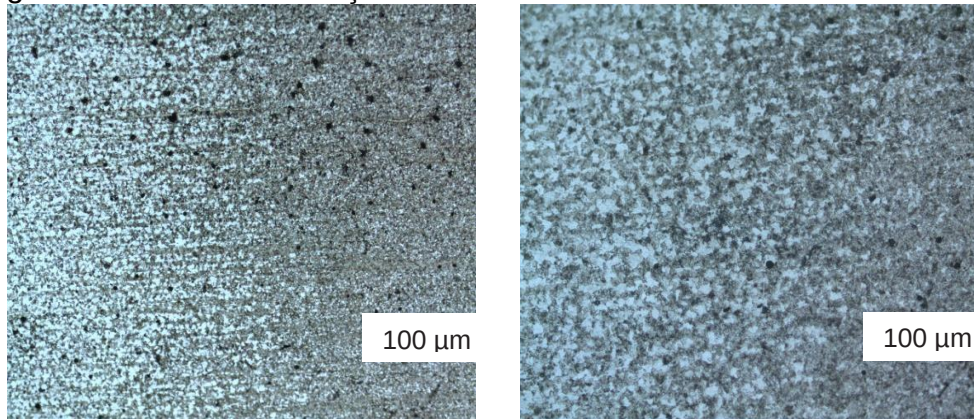
Figura 15 - Interface da ZTA com a Zona fundida com aumento de 200x



Fonte: Adaptado de Alves (2014).

A posterior amostra avaliada foi o corpo de prova do aço submetido ao processo MIG, com as mesmas características do processo anterior, apenas com variação na corrente de 180A (amostra 2).

Figura 16 - Área de interação do metal de base com a ZTA da amostra 2



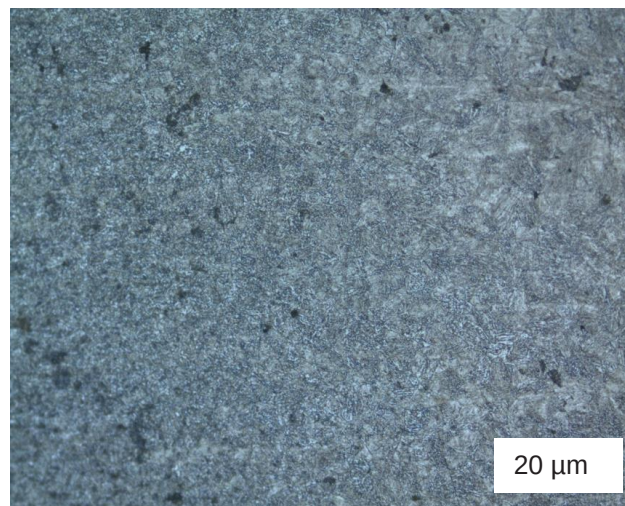
a) Amostra 2 com aumento de 100x

b) Amostra 2 com aumento de 200x

Fonte: Adaptado de Alves (2014).

As Figuras 16 (a) e (b) representam a área compartilhada pelo metal de base com a área termicamente afetada. Observa-se grande quantidade de perlita à medida que se aproxima da ZTA.

Figura 17 - ZTA da amostra 2 aumento de 500x

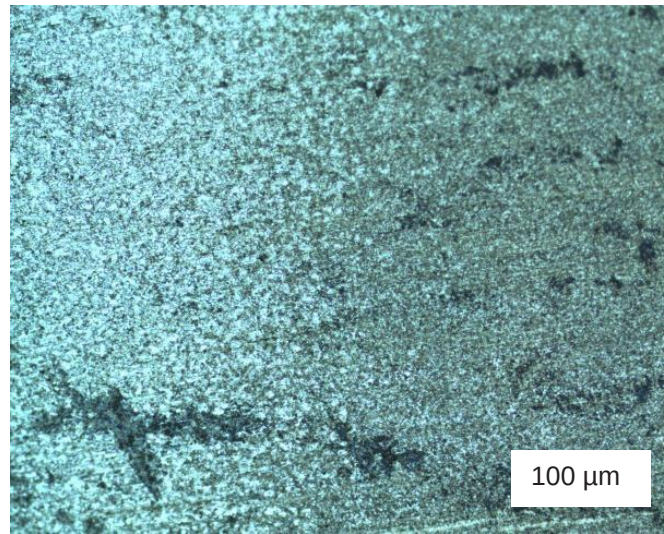


Fonte: Adaptado de Alves (2014).

A Figura 17 apresenta a ZTA da amostra 2, onde é possível observar o surgimento de martensita (estrutura acicular) originada pelo rápido resfriamento no processo de soldagem, e a presença de perlita (parte escura).

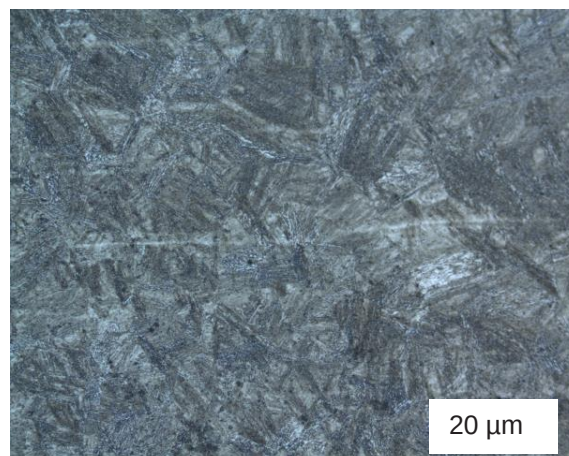
A terceira amostra do aço foi submetido ao mesmo processo de soldagem MIG, com alteração no parâmetro de corrente para 200A.

Figura 18 - Interface do metal base com a ZTA da amostra 3 com aumento de 100x



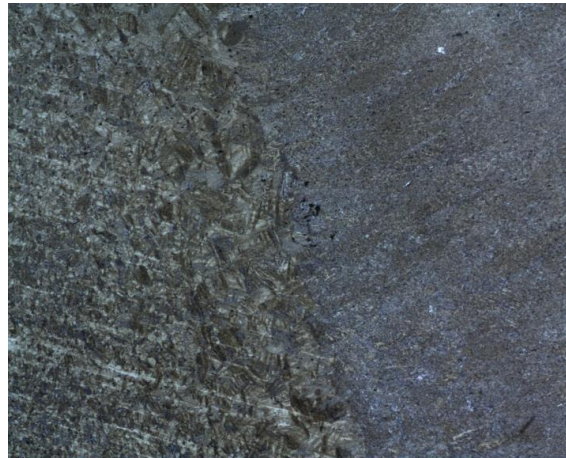
Fonte: Adaptado de Alves (2014).

Figura 19 - ZTA da amostra 3 com aumento de 500x



Fonte: Adaptado de Alves (2014).

Figura 20 - Interface da ZTA com a zona fundida da amostra 3 com aumento de 50x

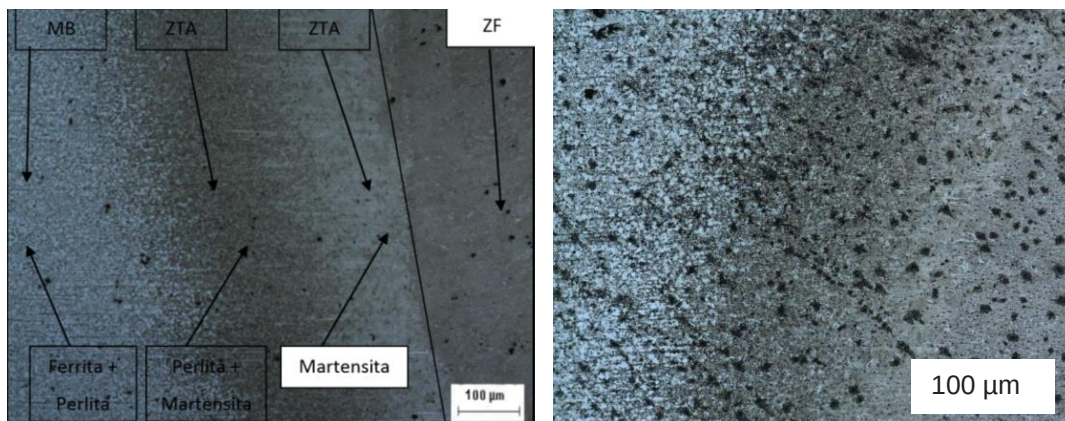


Fonte: Adaptado de Alves (2014).

Nas Figuras 18, 18 e 20 é possível observar que a medida que o parâmetro de corrente é aumentado no processo MIG, eleva-se os grãos de martensita na ZTA.

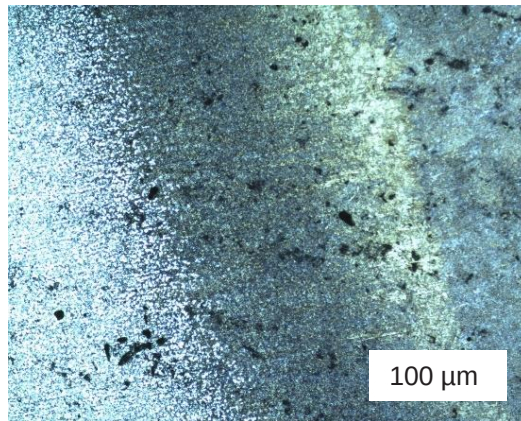
Para a segunda análise, utilizou-se as amostras das placas do aço submetidos ao processo de soldagem MAG, aplicando os mesmos parâmetros de 136A, 180A e 200A. Para auxiliar a comparação das imagens das três amostras submetidas às três condições de corrente foram dispostas próximas, facilitando a observação.

Figura 21 - Interface do material de base, ZTA e zona fundida



a) Amostra 4 com aumento de 50x

b) Amostra 5 com aumento de 100x



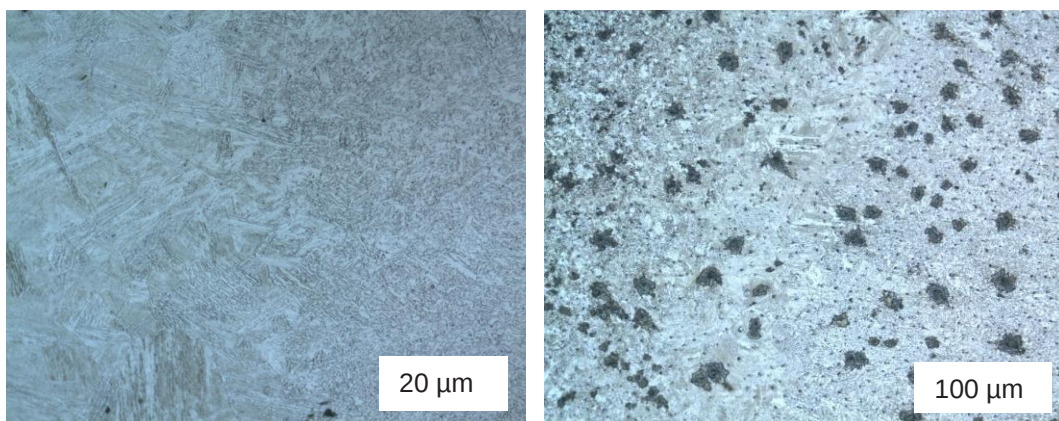
c) Amostra 6 com aumento de 50x

Fonte: Adaptado de Alves (2014)

As Figuras 21 (a), (b) e (c) apresentam as ZTA das amostras do processo MAG, demonstrando que com o aumento da corrente aumenta a dimensão da ZTA. Comparando essas imagens com as imagens das amostras do processo MIG, verifica-se que a ZTA do processo MAG possui tamanho menor.

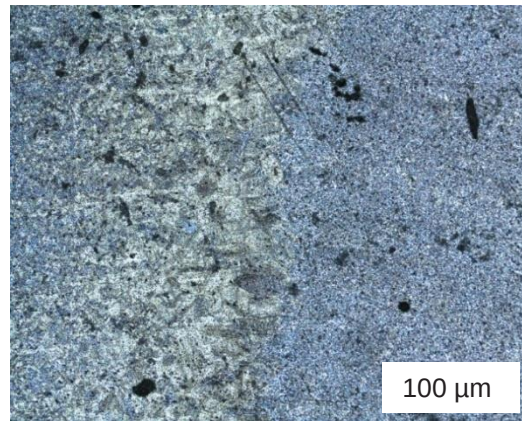
A Figura 22 faz uma comparação entre as interfaces da ZTA com a zona fundida das três amostras do processo MAG. Observando-se as ZTA's é possível perceber pelo menos duas fases, uma com uma estrutura perlítica com presença de martensita e outra contendo basicamente placas de martensita (VISWANATHAN, 1993).

Figura 22 - Interface da ZTA com a zona fundida com aumento de 500x



a) Amostra 4 (aumento de 500x)

b) Amostra 5 (aumento de 200x)



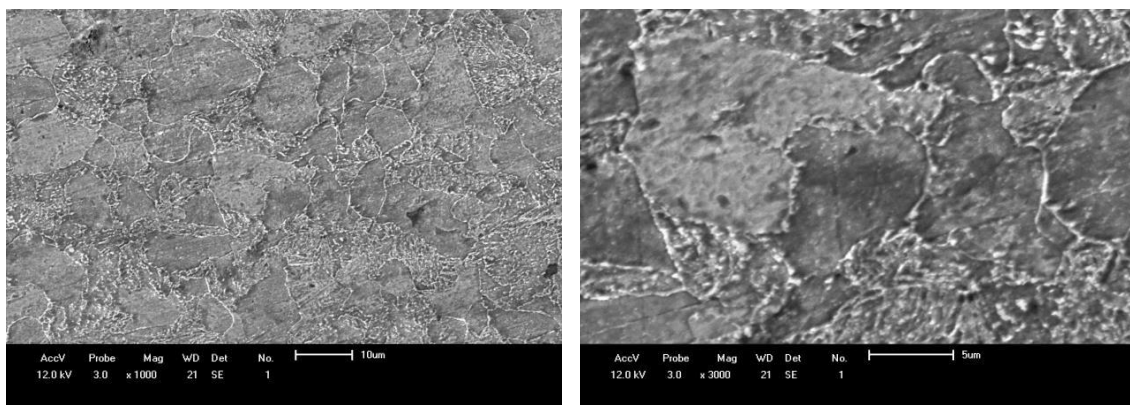
c) Amostra 6 (aumento de 100x)

Fonte: Adaptado de Alves (2014)

A preparação metalográfica foi bem executada, resultando em imagens com boa definição e contrastes das fases. Pode-se observar as formas dos constituintes estruturais e comparar com a literatura. Observando o trabalho de Alves (2014), Sobrinho (2004) e Viswanathan (1993), constatou-se de fato que a elevação do parâmetro de corrente eleva a deposição de material fundido, e consequentemente um cordão de solda maior para o tempo pré-determinado.

Os resultados obtidos com a microscopia eletrônica de varredura, para o metal como recebido e para as amostras dos dois processos de soldagem (MIG/MAG) são apresentados a seguir.

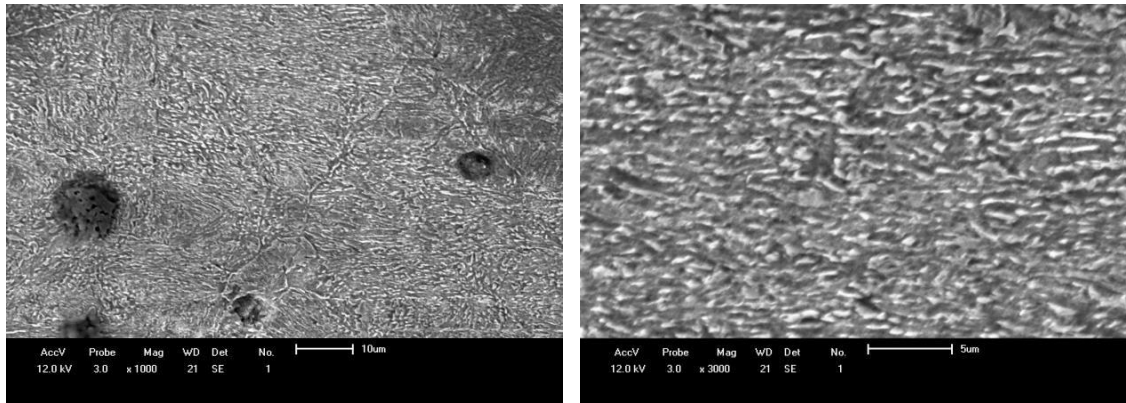
Figura 23 - Metal de base como recebido



Fonte: Alves (2014)

A Figura 23 apresenta o metal de base como recebido, evidenciando uma matriz ferrítica com grãos de perlita, constatado na microscopia óptica.

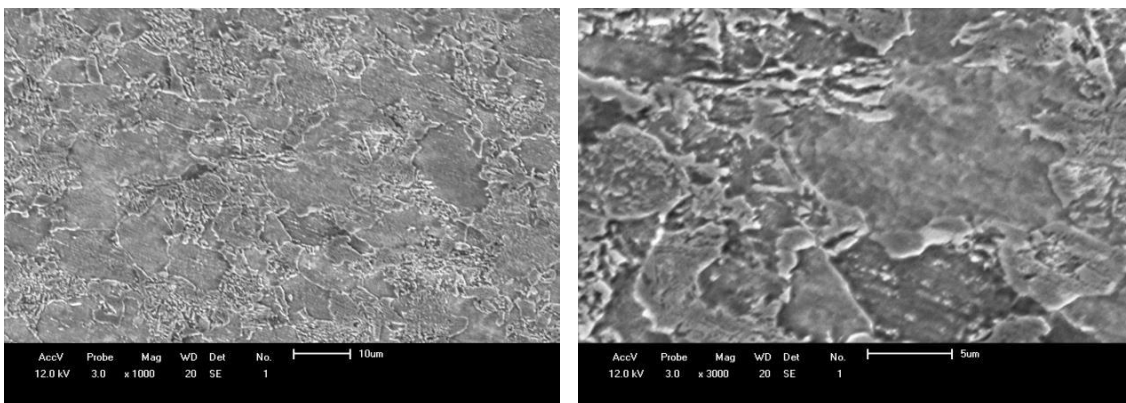
Figura 24 - ZTA da amostra 1



Fonte: Alves (2014)

A Figura 24, representando a amostra submetido ao processo MIG com corrente de 136A, apresenta carbeto nos contornos de grão e a presença de uma estrutura martensítica (SOBRINHO, 2004).

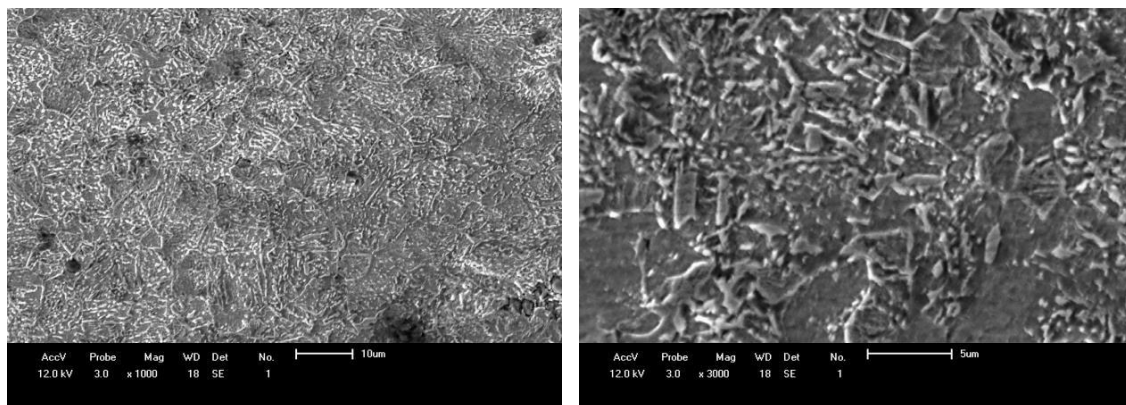
Figura 25 - ZTA da amostra 2



Fonte: Alves (2014)

A Figura 25, que representa a amostra submetido ao processo MIG com corrente de 180A, apresenta também uma estrutura com placas de martensita, em consequência do processo de rápido resfriamento (SOBRINHO, 2004).

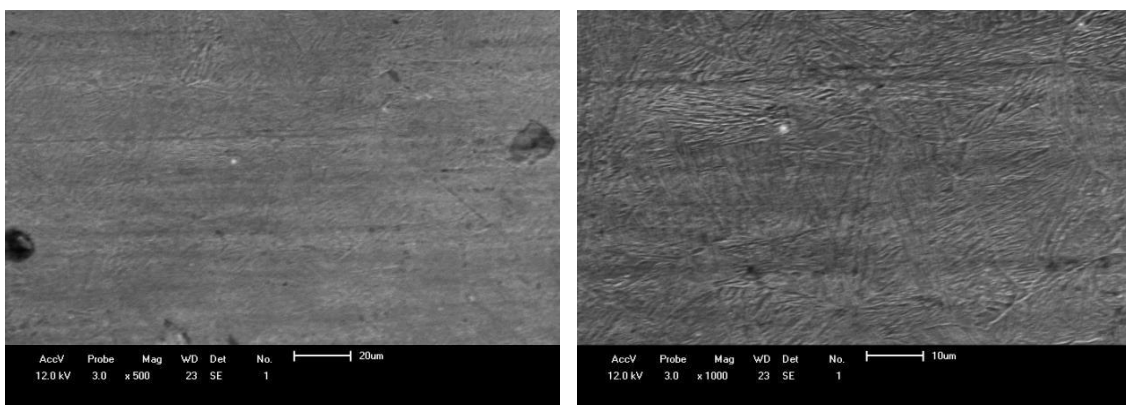
Figura 26 - ZTA da amostra 3



Fonte: Alves (2014)

A Figura 26, que representa a amostra submetida ao processo MIG com corrente de 200A, também apresenta a estrutura com placas de martensita, entretanto percebe-se um aumento da quantidade em comparação com os processos de menor corrente.

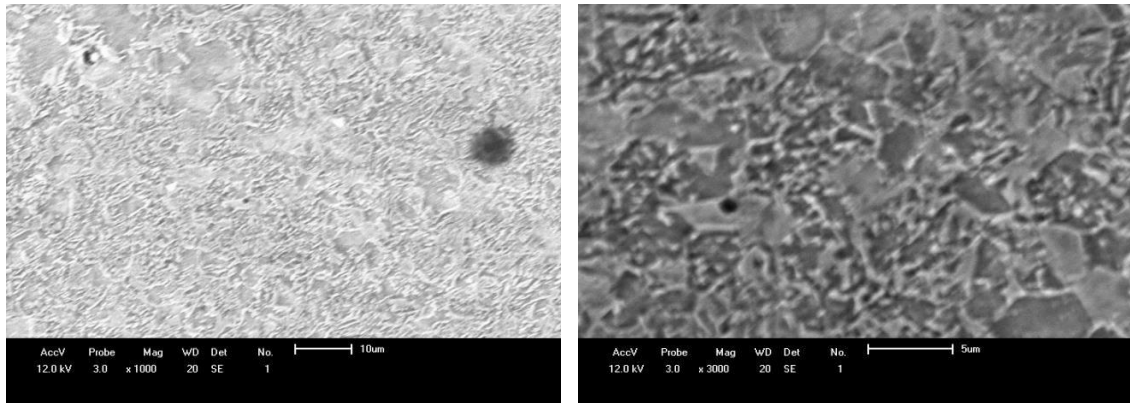
Figura 27 - ZTA da amostra 4



Fonte: Alves (2014)

A Figura 27, representando a amostra submetida ao processo MAG com corrente de 1360A, apresenta a estrutura martensítica característica da ZTA.

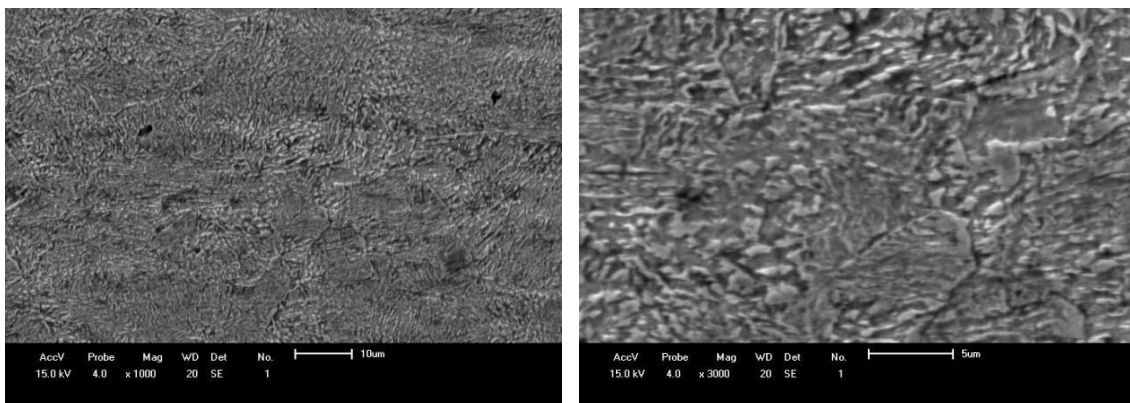
Figura 28 - ZTA da amostra 5



Fonte: Alves (2014)

A Figura 28 representa a amostra submetida ao processo MAG com corrente de 180^a, enquanto a Figura 29 representa a amostra submetida ao processo MAG com corrente de 200A.

Figura 29 - ZTA da amostra 6



A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de dureza. O valores são comparados às imagens capturadas nas microscopias.

Tabela 2 - Ensaio de Dureza Vickers

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	R
MB	234	213	213	213	213	204	234
	228	222	213	222	204	196	222
	234	234	222	213	213	204	222
ZTA1	294	279	327	279	302	272	-
	302	272	336	294	286	243	-
	318	279	372	272	279	302	-
MF	294	266	294	272	222	222	-
	294	279	286	266	243	234	-
	286	266	286	272	204	234	-
ZTA2	318	294	294	279	286	242	-
	302	302	318	310	294	294	-
	336	294	260	318	294	310	-

LEGENDA

ZTA(1 e 2)- Zona Termicamente Afetada (1-lado esquerdo da amostra e 2- lado direito da amostra) ; **ZF**- Zona Fundida;

MB- Material de Base

Fonte: Alves (2014)

Os valores de dureza mais elevados na ZTA são justificados pela análise das microscopias, ou seja, é devido à predominância de uma estrutura martensítica. A estrutura da ZTA possui uma elevada dureza pois sua transformação foi decorrente do aquecimento e do resfriamento brusco, ocasionado no processo de soldagem, tornando esta zona com grande quantidade de martensita e elevando assim a dureza superficial.

5 CONCLUSÃO

Os resultados experimentais do trabalho foram satisfatórios, uma vez que o objetivo de abordagem e conhecimento das técnicas metalográficas foi atingido. A preparação dos corpos de prova para metalografia, executada de forma minuciosa, proporcionou imagens com ótimo contraste, e, conseqüentemente, uma leitura efetiva dos resultados. Logo, a análise da microscopia ótica do aço A387 evidencia a composição do aço composto de uma matriz ferrítica com grãos de perlita.

O trabalho demonstrou como os microconstituintes do aço se apresentam nas microscopias, sendo possível identificar e diferenciar os contornos de grão de perlita, ferrita, martensita. Como explicado anteriormente, uma estrutura martensítica é ocasionada pela mudança brusca de temperatura e é caracterizada por possuir uma alta dureza. Submeter um aço a um processo de soldagem favorece o aparecimento de tal constituinte, verificando-se nos experimento que quanto mais próximo da zona fundida, a ZTA apresenta uma maior quantidade de placa de martensita. Nessa região há pelo menos duas fases da ZTA, uma fase com um número maior de perlita e um incremento de martensita; e outra fase com predominância de martensita.

REFÊNCIAS

AG DER DILLINGER HÜTTENWERKE (Germany). Heavy Plate for Petrochemical Reactors: Sophistication in Chromium-Molybdenum Steel. Dillingen: Ag Der Dillinger Hüttenwerke, 2006. 8 p.

ALVES, Márcio Davi Tenório Correia. **Caracterização da ZTA da junta soldada do aço 1,25Cr-0,5Mo obtida pelo processo MIG/MAG**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Piauí, Teresina-ppi, 2014.

Arnswald W, Blum R, Neubauer B, Poulsen K. Remaining life affected by welds. In: JSME/IMEchE/ASME/ASTM, editors. Creep: International Conference: Papers. *Proceedings of International Conference on Creep; 1986 April; Tokyo: Japan; 1986*. p. 367-372.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13284: Preparação de corpos de prova para análise metalográfica. Rio de Janeiro: 1995. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15454: Metalografia das ligas ferro-carbono – Terminologia. Rio de Janeiro: Cb, 2007. 17 p.

AZEVEDO, Cesar R. F.; CAMPOS, Beatriz A.. **Breve História da Metalografia**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/LCMHC/textos/CENTENARIO%20NA%20METALOGRAFIA%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

BARBOSA, R.P.. **Tecnologia mecânica- Metalurgia da soldagem – soldabilidade dos materiais**. Centro Universitário do Leste de Minas de Gerais – UNILESTEMG, 2007. 109p.

CALLISTER JUNIOR, William D.. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

EILISES, C. C. A. et al. Caracterização mecânica e microestrutural de um aço baixo carbono microligado com estrutura multifásica. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p.398-404, 05 maio 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v13n2/a19v13n2.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

FERRARESI, Valtair Antonio. **Ligas ferro-carbono**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, [200-?]. 57 slides, color.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FUENTES, Alfonso Rafael Fernández et al. Effect of in service weld repair on the performance of CrMo steel steam pipelines. **Materials Research**, [s.l.], v. 9, n. 2,

p.153-158, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-14392006000200008>.

GALLEGO, Juno. **Análise Microestrutural em Aços**. Ilha Solteira, SP: CREEM, 2005. 80 slides, color. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/creem/2005/pdf/b1.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3a ed. Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2009. 363p.

REIS SOBRINHO, J. F. **Correlação entre Comportamentos de Tração a Quente e Fluência do Aço 2,25 Cr – 1 Mo na Faixa de Temperatura de 500 OC a 700 OC**. São Carlos: Departamento de Ciência de Materiais, UFSCar, 2004. Tese (Doutorado).

ROHDE, Regis Almir. **METALOGRAFIA: Preparação de amostras**. Rio Grande do Sul: Lemm - Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais, 2010. 30 p.

SÁBIO, Alberto Dias, **Estudo da viabilidade operacional do processo de soldagem MAG com alimentação adicional de arame frio**, Alberto Dias Sábio, orientador prof. Dr. Eduardo de Magalhães Braga. Belém, 2007. Dissertação de Mestrado.

SILVA, R. R.. **Avaliação da Zona Termicamente Afetada de um Aço Inoxidável supermartensítico**. Dissertação de mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas-Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2010.

Viswanathan R. *Damage mechanisms and life assessment of high temperature components*. Ohio: ASM International, 1989.

ZEPTER, Paulo Gilberto; COUTO, Antônio A.; ANDRADE, Arnaldo Homobono Paes de. Influência da microestrutura nas propriedades mecânicas do aço ABNT 5160 em condições de carregamento monotônico e cíclico. Sinergia, São Paulo, v. 7, p.151-159,dez 2006. Semestral.