



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
MESTRADO EM MATERIAIS



ESTRUTURAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA REPARO EM TUBULAÇÕES DE FERRO FUNDIDO E AÇO UTILIZANDO SOLDAGEM COM ELETRODO ESPECIAL

Carlos Henrique Reis dos Santos

Orientador Prof^o. Dr. Alexandre Fernandes Habibe
Coorientador Prof^o. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

Volta Redonda
2019

ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO:

1. INTRODUÇÃO
2. OBJETIVOS
3. REFERENCIAL TEÓRICO
4. MATERIAIS E MÉTODOS
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO
6. CONCLUSÕES

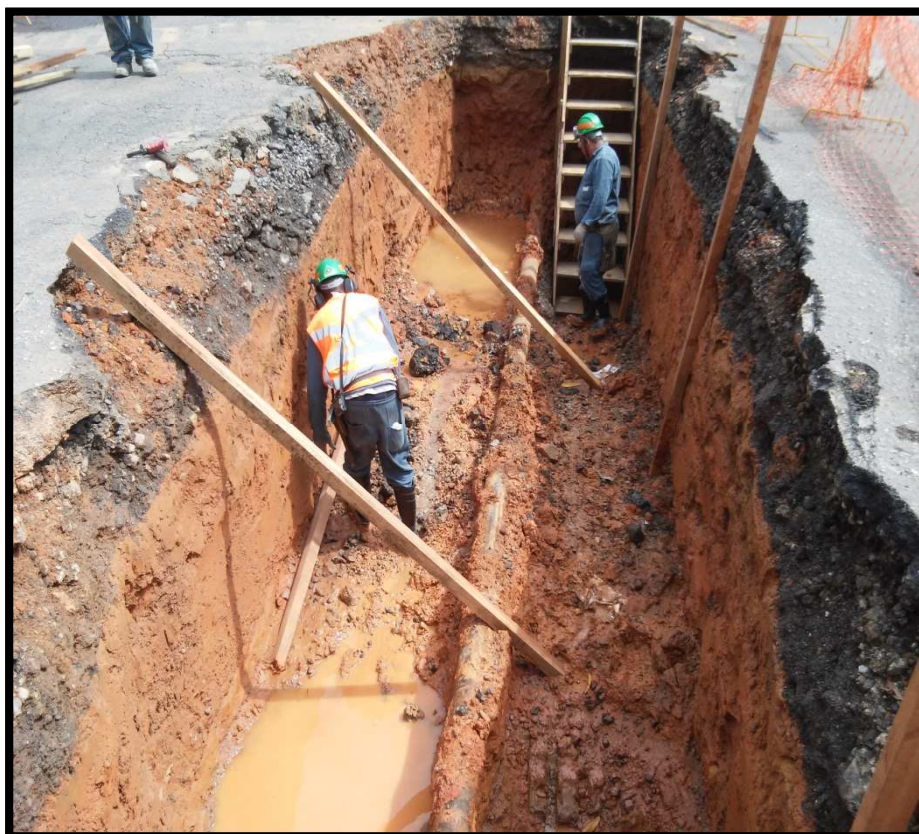
1. INTRODUÇÃO

- ✓ Dificuldades nas soldas em Ferro Fundido **Cinzeno**.
 - ✓ Obtenção grau satisfatório.

- ✓ Substituição das junções com chumbo.
 - ✓ Substituição para processo com arco elétrico.

- ✓ Situação atual.
 - ✓ Maioria de tubulação em Ferro Fundido Cinzeno.

- ❑ Após a escavação, é montado a infraestrutura de acesso a tubulação.
- ❑ Com a infraestrutura, é posicionado o escoramento para evitar o desmoronamento do local.



- ❑ A Contratada na oficina, faz a fabricação das bolsas e todos acessórios necessários para o reparo da tubulação.



□ Em seguida é processado o acabamento do chumbo derretido na bolsa;



- ❑ Derretimento do Chumbo e acabamento na bolsa;



2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver um procedimento operacional, como ferramenta para **modificar** o processo hoje existente (Brasagem) de reparo de tubulações de ferro fundido **Cinzento** de forma a **umentar a confiabilidade** no reparo e **reduzir os custos** com o retrabalho nas bolsas de chumbo utilizadas na Brasagem.

2.2 Específicos

- ✓ Apresentar conceitos da **estrutura e propriedades** do ferro fundido, especificamente do **cinzento**, usado nas tubulações da planta siderúrgica estudada, voltados para a soldagem deste tipo de material.

- ✓ Desenvolver o fluxograma do processo de soldagem utilizando consumível apropriado na soldagem, de forma a buscarmos **novo patamar** neste processo de reparo, tendo em vista as tentativas de soldagem com **eletrodos E8018**.

- ✓ Caracterização das soldas: **Ferro Fundido X Ferro Fundido cinzento**
Ferro fundido cinzento X Aço
através da **Microscopia Eletrônica de Varredura e Microdureza Vickers** das amostras de soldas.

- ✓ Comparar estes resultados obtidos com as necessidades existentes, de forma a garantir uma maior **qualidade** nos reparos destas tubulações.

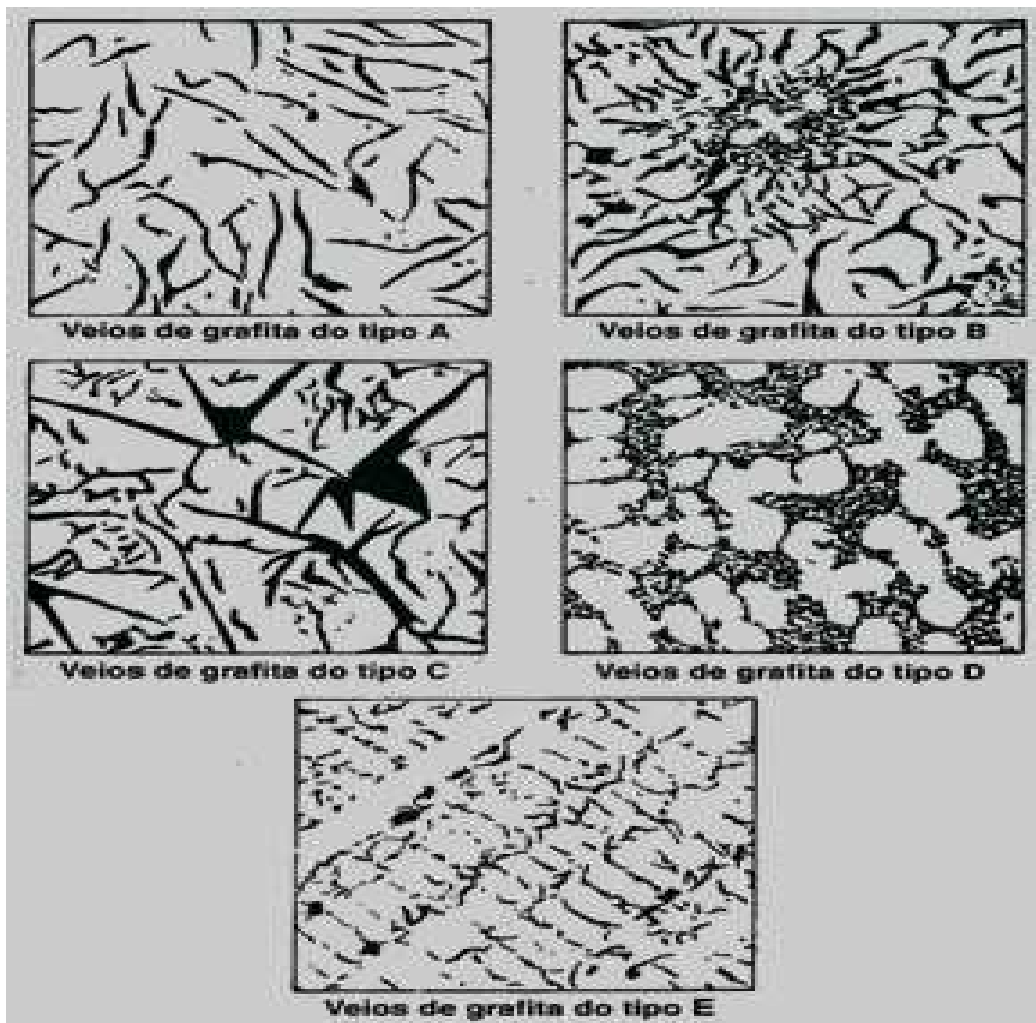
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ferro Fundido Cinzento

- A definição de ferro fundido :
- Família de Ferro Fundido Cinzento.

Tipo	Composição química, %				
	C	Si	Mn	S	P
Branco	1,8 / 3,6	0,5 / 1,9	0,25 / 0,80	0,06 / 0,20	0,06 / 0,20
Maleável	2,2 / 2,9	0,9 / 1,9	0,15 / 1,20	0,02 / 0,20	0,02 / 0,20
Cinzento	2,5 / 4,0	1,0 / 3,0	0,20 / 1,00	0,02 / 0,25	0,02 / 1,00
Nodular	3,0 / 4,0	1,8 / 2,8	0,10 / 1,00	0,01 / 0,03	0,01 / 0,10
Grafita compactada	2,5 / 4,0	1,0 / 3,0	0,20 / 1,00	0,01 / 0,03	0,01 / 0,10

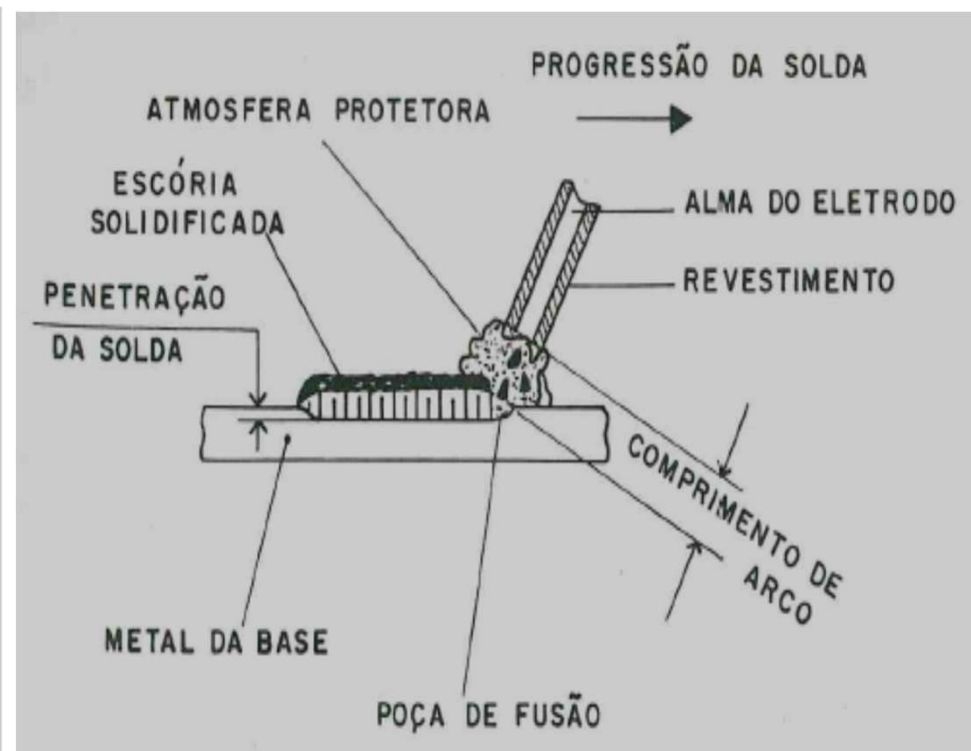
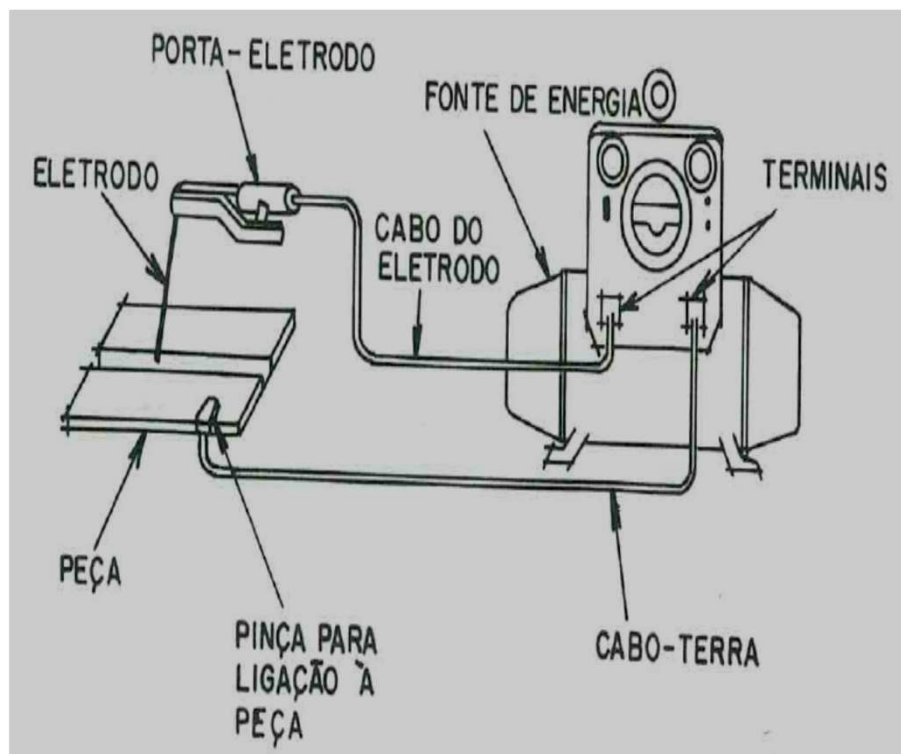
Microscopia do Ferro Fundido Cinzento e suas categorias dos veios de grafita (Norma ASTM A247)



Fonte: Vicente Chiaverini, 2008 [29]

3.2 Processo de Soldagem com Eletrodo Revestido

- ❑ Soldagem em arco elétrico com eletrodo Revestido (Shielded Metal Arc Welding – SMAW)
 - ❑ Conhecida também como soldagem manual a arco elétrico(MMA)



3.3 Variáveis Elétricas na Soldagem

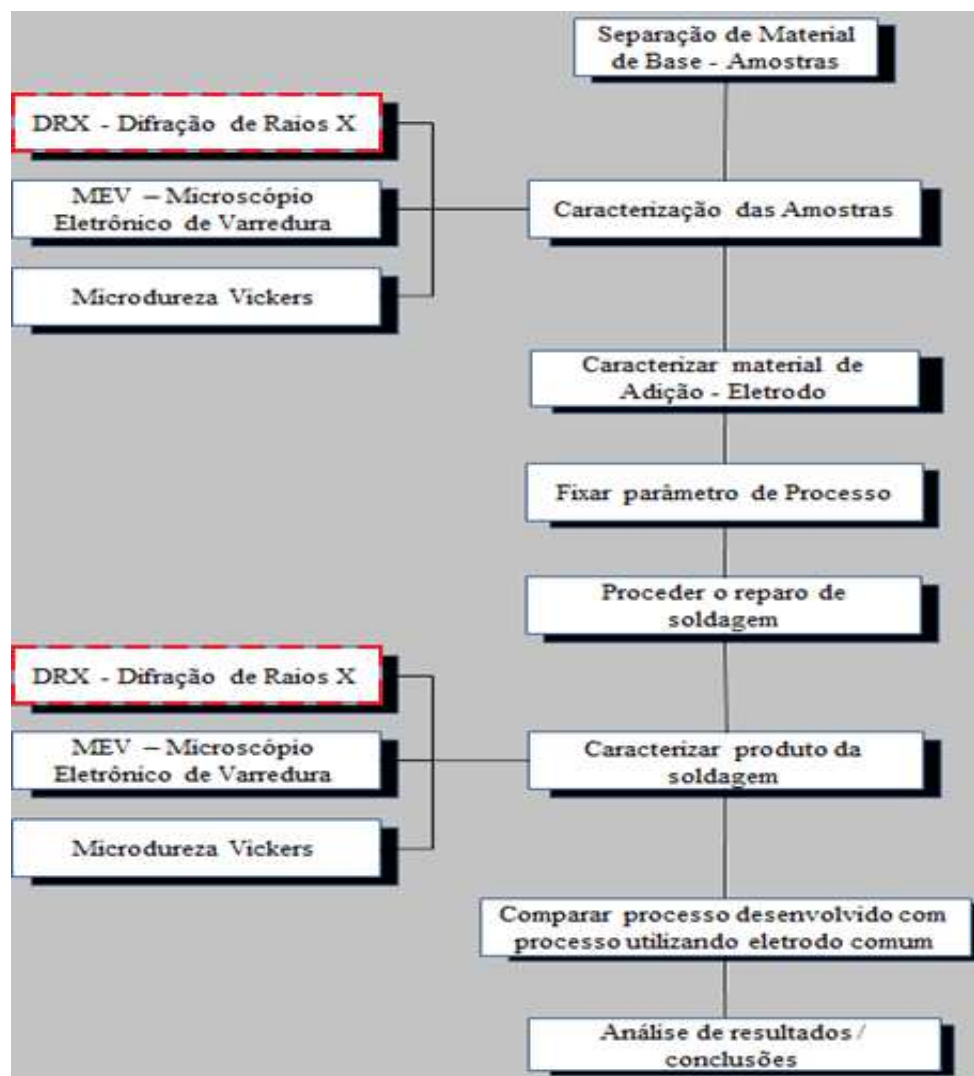
- ❖ Para obtermos a qualidade de soldagem, precisa-se considerar as variáveis de processo:
 - ❖ A Tensão de Arco.
 - ❖ A corrente de soldagem.
 - ❖ A velocidade de avanço.
 - ❖ As dimensões do eletrodo.
 - ❖ O ângulo do eletrodo em relação à peça.

3.4 Formação de trincas em soldas

- **Características prejudiciais que aparecem nas junções.**
 - Em Ferro Fundido: Aumenta devido a **Formação de martensita** metal de adição, na zona afetada pelo calor (ZTA), assim como o **aparecimento de carbonetos de ferro** na interface que permeiam o metal base e o rebordo.
 - **Motivações para aparecimento de trincas:**
 - Tensões de tração em material **fragilizado**, incapaz de se deformar plasticamente para absorver estas tensões (tratamentos térmicos ou elementos nocivos - hidrogênio).
 - Tensões de tração elevadas devido as **expansões e contrações térmicas** localizadas (ciclo térmico de soldagem).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

✓ Plano de Trabalho



Materiais

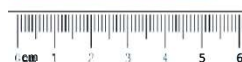
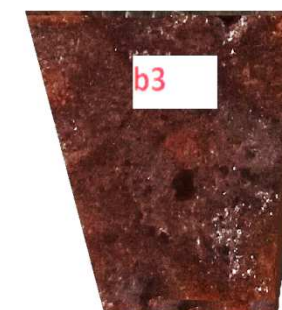
15

4.1 Obtenção das amostras

Identificação com Alfa-Numérico	Características Supostas	Observações
a1	Aço Carbono	Retirada das tubulações
a2	Ferro Fundido (FoFo)	Retirada das tubulações
a3	Ferro Fundido (FoFo)	Retirada das tubulações
b1	Aço Carbono	Retirada das tubulações
b2	Ferro Fundido (FoFo)	Retirada das tubulações
b3	Ferro Fundido (FoFo)	Retirada das tubulações

4.2 Obtenção das amostras

- **Material utilizado.**
 - **Amostra de Aço Carbono:**
 - a1 e b1
 - **Amostra de Ferro Fundido:**
 - a2 e a3
 - b2 e b3



4.3 Eletrodo de Níquel - Xyron 2224

Elemento	(%)
C	1.00 - 1.50
Si	1.00 máx
Mn	1.00 máx
P	0.00 - 0.04
S	0.00 - 0.02
Fe	8.00 – 9.00
Ni	Resto

4.4 Eletrodo AWS E8018 - Baixa Liga

Elemento	(%)
C	0.06
Si	0.45
Mn	0.7
Mo	0.5
Cr	1.0
Fe	Resto

Métodos

4.5 Procedimento de Soldagem das Amostras

- Limpeza da área:
 - ✓ Usar solução clorada para retirada de graxa, vestígio de areia ou outras impurezas;
 - ✓ Retirar/queimar óleo ou outros fatores que prejudicam a solda e sua qualidade;
- Se necessário realizar chanfro:
 - ✓ Com esmerilhadeira para trincas pequenas;
 - ✓ Eletrodo de chanfro – Chanfer Trode 03 (eletrodo de corte);

4.5.1 Procedimento de Soldagem das Amostras

- **Usar eletrodo Xyron 2224 :**
 - Soldagem a “ **frio** ” (Baixo aporte térmico) com cordões
 - ✓ Realizar pré aquecimento entorno de 100°C retirando a umidade;
 - ✓ Realizar passes curtos;
 - ✓ Alternados;
 - ✓ Martelados;
- Este tipo de eletrodo possibilita soldagem em todos as posições;
- Manter a temperatura adjacente baixa;
- Soldar abrigado de correntes de ar de forma a proporcionar o pós aquecimento com resfriamento bem lento;
- Dar ênfase nos cordões de solda que deverão ser curtos e martelados entre eles;
- Antes de dar o segundo passe limpar a escoria e remover toda escoria para que a região fique limpa antes de abrir o arco de solda.

4.6 Soldagem das Amostras

- ✓ Após caracterizações nas amostras foram efetuadas as soldagens.

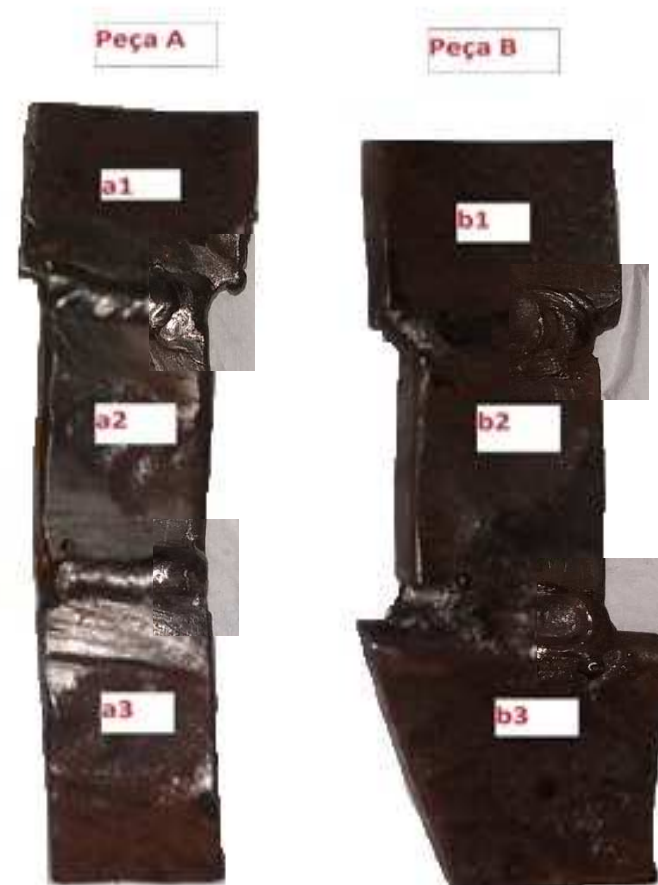
- ✓ **Parâmetros Utilizados:**
 - ✓ Tensão: 10 Vac
 - ✓ Corrente: 60 A
 - ✓ Velocidade: adequada
 - ✓ Eletrodo de 2,5 mm



4.6.1 Soldagem das Amostras

➤ Produto final obtido com as amostras.

Identificação com Alfa-Numérico	Características Supostas	Observações
a1 X a2	União Aço Carbono com FoFo	Soldagem com eletrodo de Níquel Xyron – 2224
a2 X a3	União Fofo com FoFo	Soldagem com eletrodo de Níquel Xyron – 2224
b1 X b2	União Aço Carbono com FoFo	Soldagem com Eletrodo Baixa Liga E 8018
b2 X b3	União Fofo com FoFo	Soldagem com Eletrodo Baixa Liga E 8018



4.7 Obtenção das Amostras

- Depois que as amostras foram limpas e cortadas em tamanhos apropriadas, estas foram embutidas para realização dos ensaios metalográficos.



4.8 Cortadora Metalográfica

Condições:

- ✓ Foi utilizado uma Cortadora Metalográfica Teclago C M40 com disco abrasivo.



4.9 Embutidora Metalográfica

Condições:

- ✓ Embutidora Metalográfica Arotec PRE 30Mi, num processo de vinte e dois minutos de aquecimento até atingir 165°C com uma pressão de trabalho de 130 Kgf/cm² e num outro processo de dezoito minutos de resfriamento até atingir 40°C.
- ✓ Embutidas a quente, utilizando um pó preto baquelite, cuja composição é resina fenólica, hexametileno, serragem, talco, estearato de cálcio e pigmento.



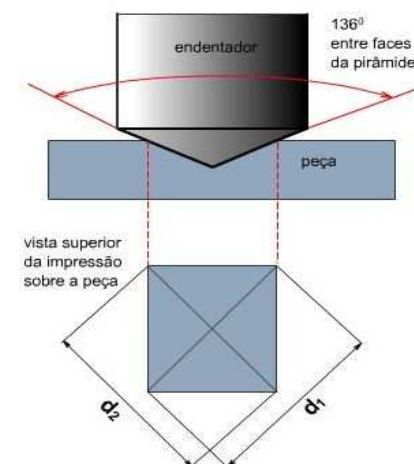
4.10 Microdureza Vickers

Condições:

- ✓ Utilizamos o Microdurômetro Time DHV-1000
- ✓ Endentador piramidal de diamante de base quadrada com ângulo de 136° entre as faces e uma objetiva de 400x para endentar e visualizar os pontos de micro dureza Vickers.



Impressão do endentador Vickers



4.11 Microscopia Eletrônica de Varredura

Condições:

- ✓ Utilizamos o Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi TM3000 e um software TM-3000.
- ✓ Caracterizar micro estruturalmente os materiais com ampliações maiores e mais detalhadas dos ferros fundidos e dos aços carbonos.



5. RESULTADOS e DISCUSSÃO


5.1 Avaliação das modificações Microestruturais promovidas pela Soldagem

5.1.1 - Avaliação das Microdurezas

5.1.2 - Avaliação das Microestruturas através do MEV

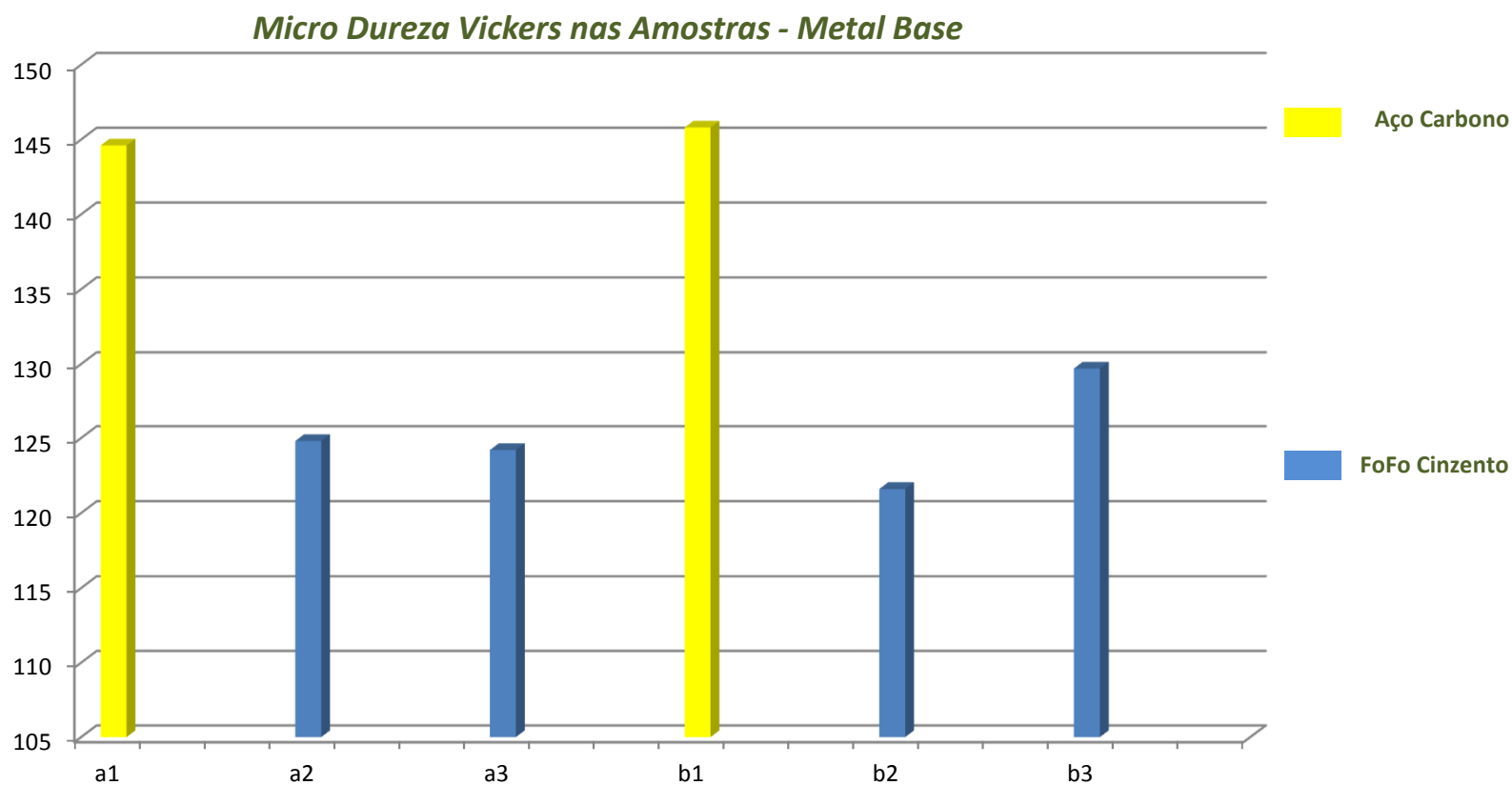
5.1.1 Avaliação das Microdurezas promovidas pela Soldagem

5.1.1.1 Microdureza Vickers no metal base (amostras colhidas).



Amostra	Carga (N)	Identação (15 s)	Micro Dureza Vickers (HV 0,3)	
			Medições Metal Base	Média
a1	2,94 N	1	147,1	144,6
		2	143,3	
		3	143,3	
a2	2,94 N	1	122,1	124,8
		2	124,9	
		3	127,3	
a3	2,94 N	1	123,5	124,2
		2	125,4	
		3	123,7	
b1	2,94 N	1	143,9	145,8
		2	147,1	
		3	146,5	
b2	2,94 N	1	122,8	121,6
		2	121,5	
		3	120,6	
b3	2,94 N	1	128,0	129,7
		2	130,7	
		3	130,5	

5.1.1.2 Microdureza Vickers no metal base (amostras colhidas).

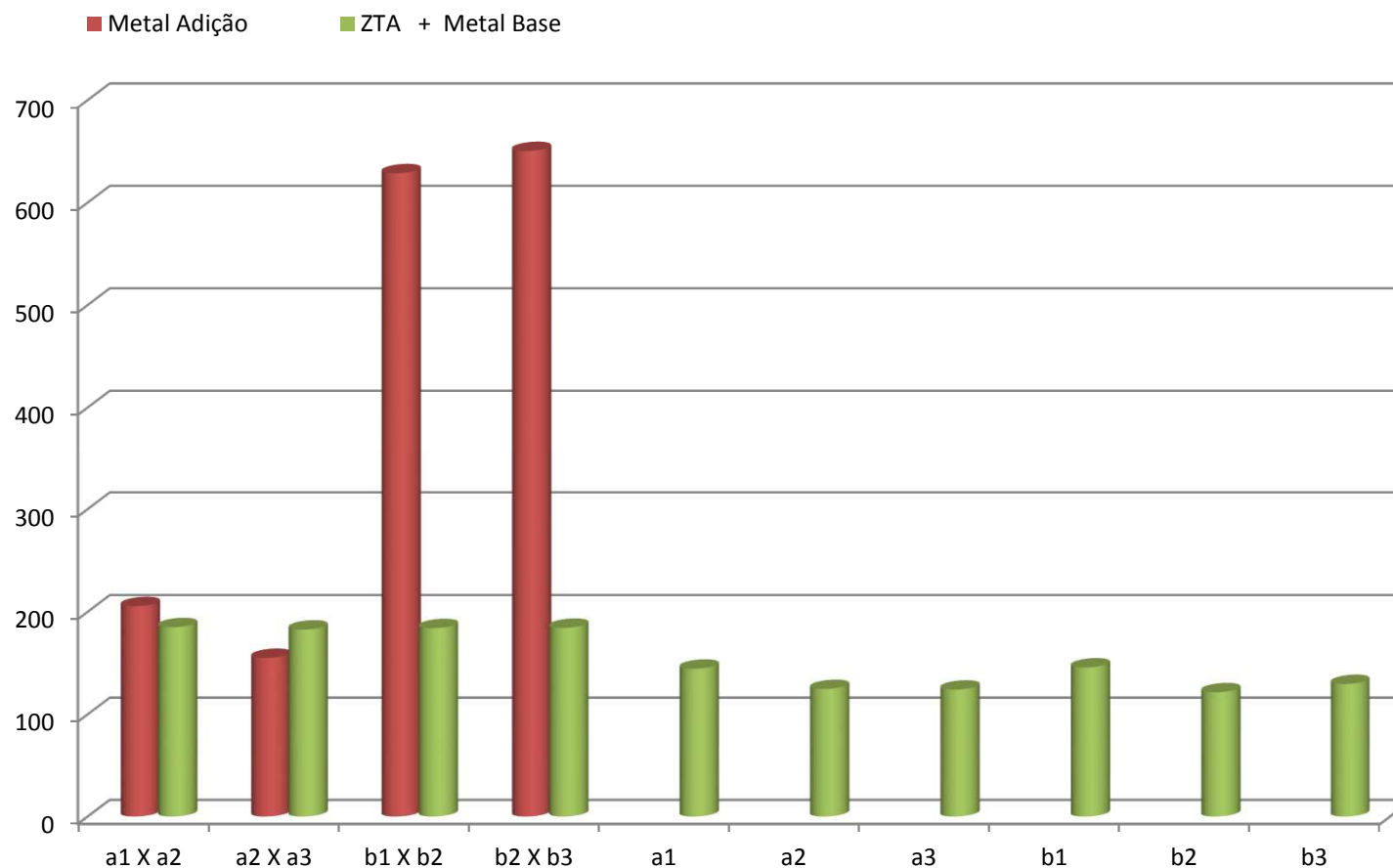


5.1.1.3 Microdureza Vickers na Região da solda



Amostras das Soldas	Medições		Média	Desvio Padrão (DP)	
Eletrodo Níquel XYRON 2224	Micro Dureza Vickers (HV 0,3) ---soldagem com procedimento				
a1 X a2 (aço x FoFo)	Metal Adição	207,8	Metal Adição	205,5	2,9
	Metal Adição	201,4			
	Metal Adição	207,3			
	ZTA	186,9	ZTA	185	1,7
	ZTA	182,7			
	ZTA	185,5			
a2 X a3 (FoFo x FoFo)	Metal Adição	156,5	Metal Adição	155,1	1,0
	Metal Adição	154,3			
	Metal Adição	154,6			
	ZTA	187,2	ZTA	182,7	3,2
	ZTA	180,7			
	ZTA	180,2			
Eletrodo E 8018	Micro Dureza Vickers (HV 0,3)				
b1 X b2 (aço x FoFo)	Metal Adição	628,6	Metal Adição	628,6	2,2
	Metal Adição	631,2			
	Metal Adição	625,9			
	ZTA	187,3	ZTA	184,1	2,3
	ZTA	183,1			
	ZTA	181,9			
b2 X b3 (FoFo x FoFo)	Metal Adição	647,5	Metal Adição	650,3	2,3
	Metal Adição	653,1			
	Metal Adição	650,2			
	ZTA	189,4	ZTA	184,4	3,8
	ZTA	180,2			
	ZTA	183,5			

5.1.1.4 Microdureza Vickers na região da solda



- Diminui pico temperatura zona fundida;
- Elemento grafitizante;
- Melhora tenacidade solda;

Quantidade de martensita e carbonetos : Composição química e do ciclo térmico de soldagem.

5.1.1.5 Microdureza Vickers nas soldagem das amostras

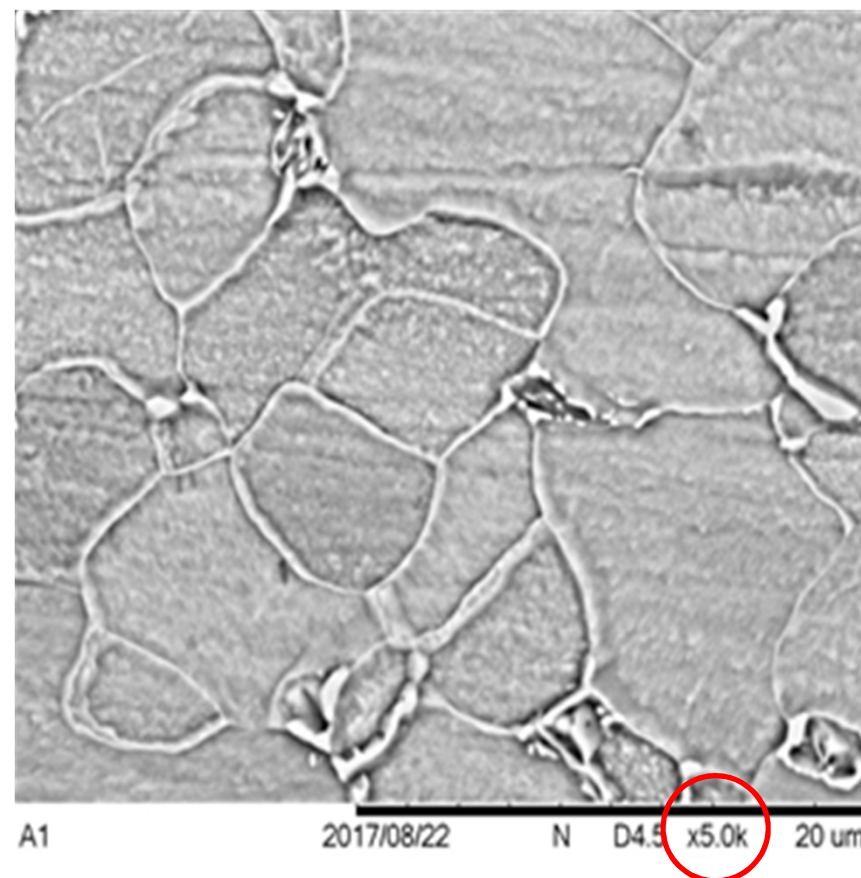
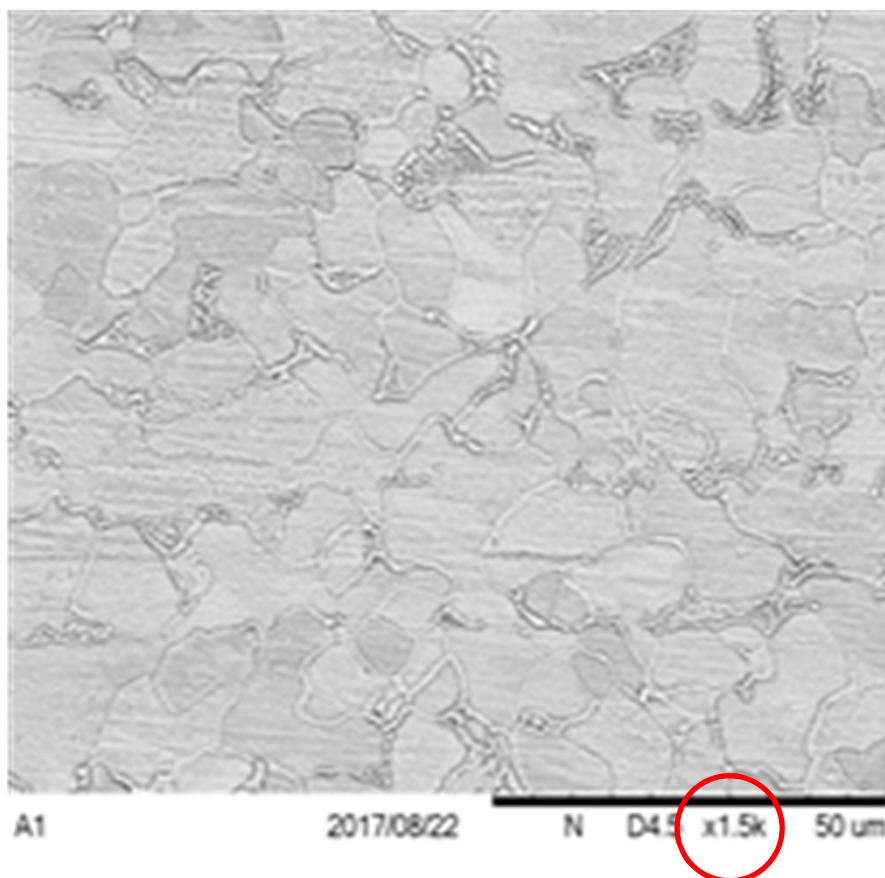
Características do ferro fundido Cinzento e Aço 1020 / 1045

Tipo de Ferro Fundido	Composição Química (% peso)					Propriedades Típicas		
	C	Si	Mn	P	S	Dureza (HB)	Limite de Resistência	Ductilidade
Cinzento Norma DIN. GG 10	3,40	2,30	0,50	0,25 Max.	0,15 Max.	Máx. entre 100 e 150	20 a 60 ksi (130 a 410 Mpa)	Muito baixa
	3,70	2,80	0,80					

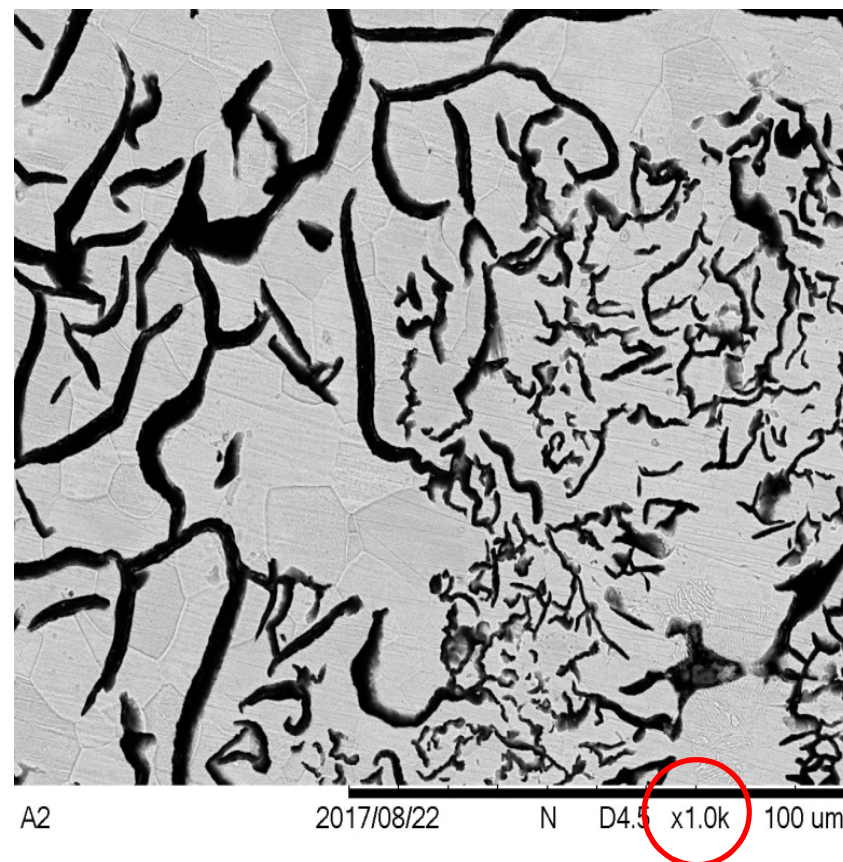
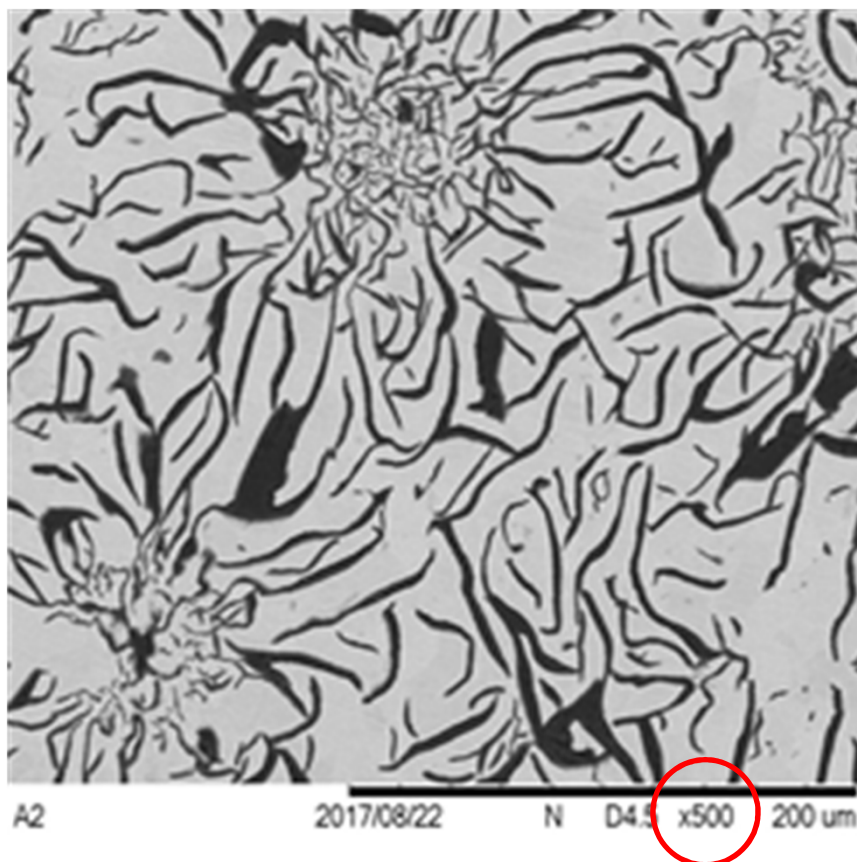
CLASSIFICAÇÃO	AWS A5.5 ASME SFA-5.5 (Ed.2013)		DIN 8575			ELETRODO REVESTIDO	
	E8018-B2		E CrMo 1 B 26				
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	C	Mn	Si	Mo	Cr	P	S
	0,05-0,12	< 0,90	< 0,80	0,40-0,65	1,0 - 1,5	< 0,03	< 0,03
OBSERVAÇÕES	Temperatura de preaquecimento e interpasses: 160 a 190°C Dureza em uma camada sobre aço 1020: 180 - 220 HB Dureza em uma camada sobre aço 1045: 275 - 325 HB						

5.1.2 Análise Metalográfica Eletrônica de Varredura

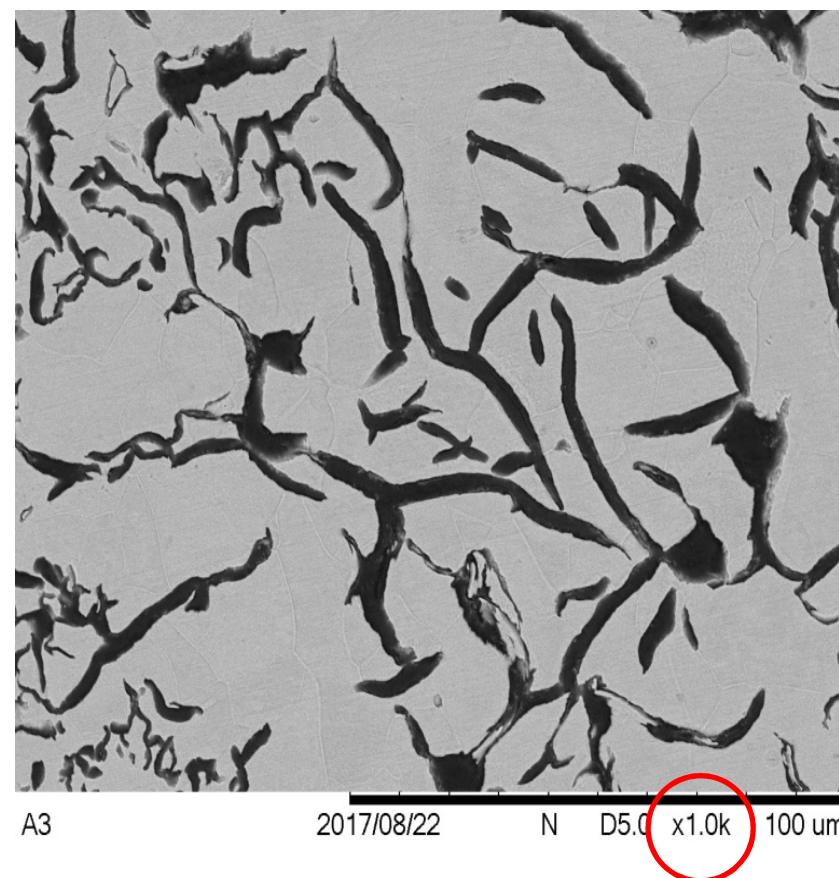
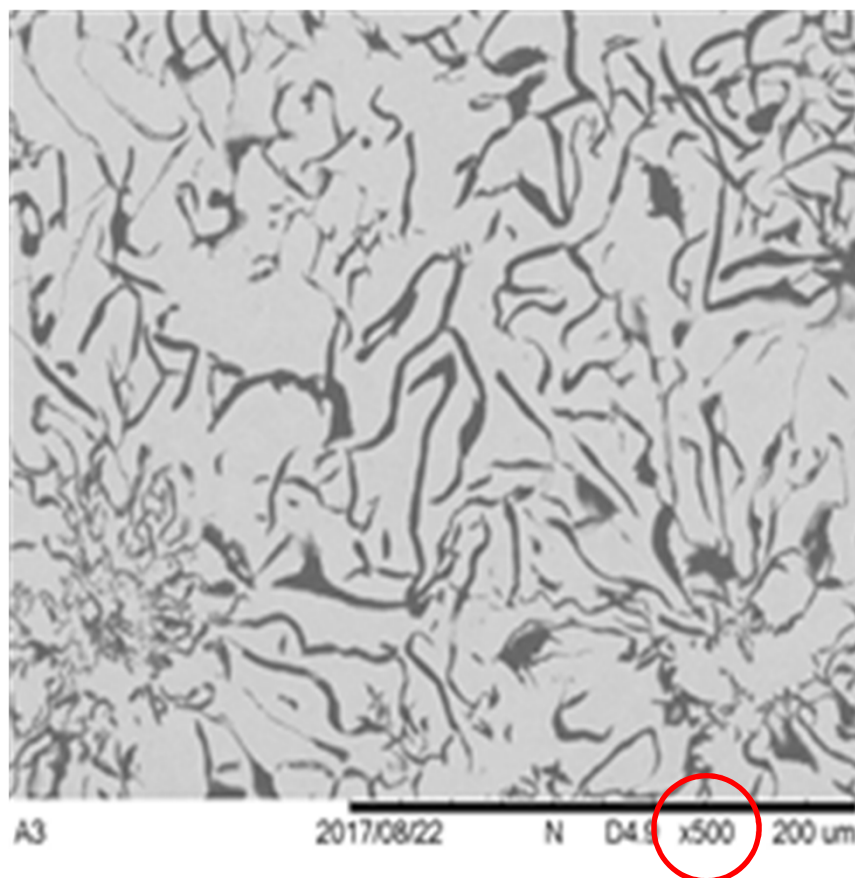
5.1.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura no Aço Carbono – a1



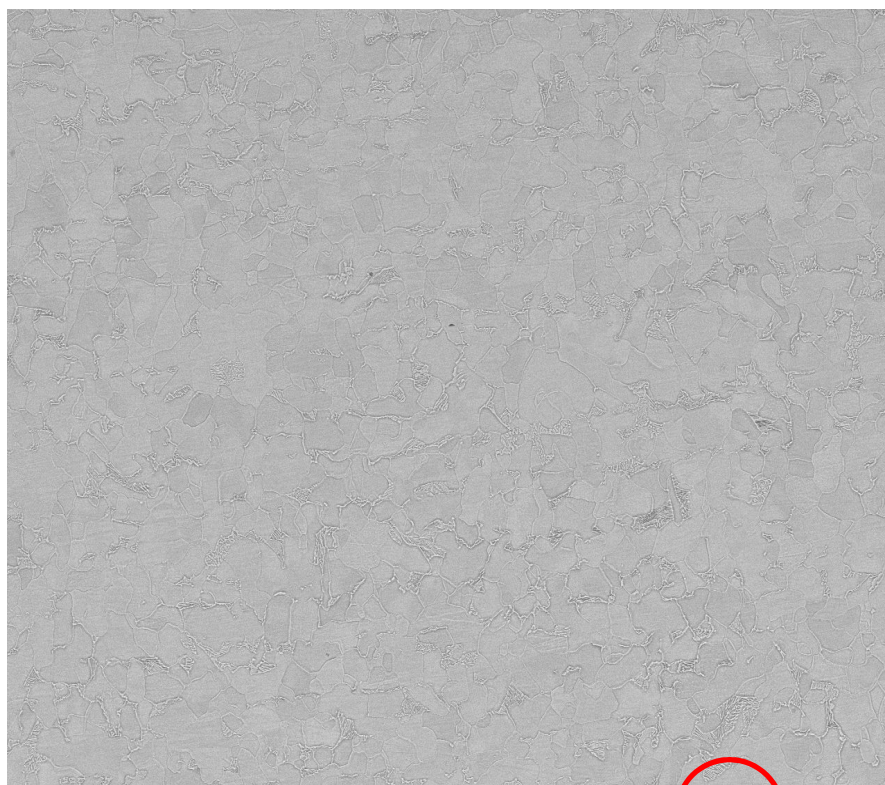
5.1.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura no Ferro Fundido Cinzento – a2



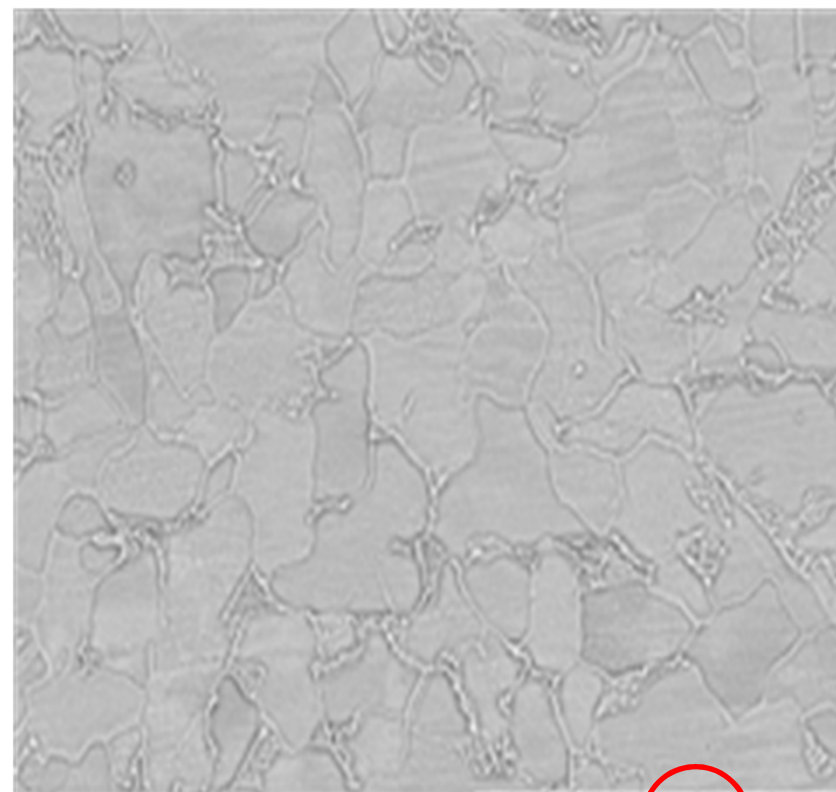
5.1.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura no Ferro Fundido Cinzento – a3



5.1.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura no Aço Carbono – b1

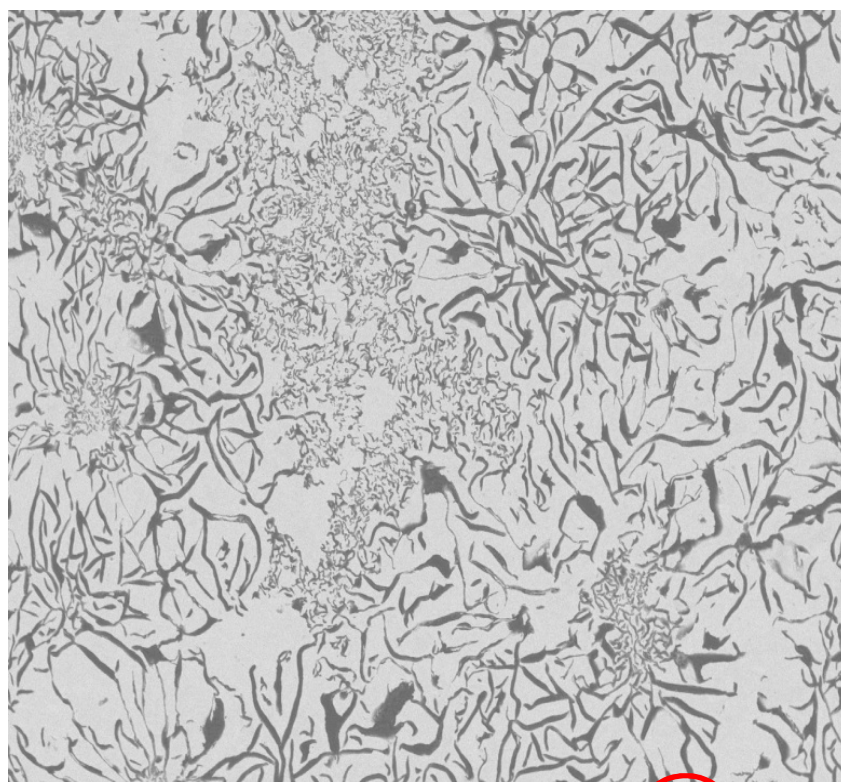


B1 2017/08/22 N D4.3 x500 200 um

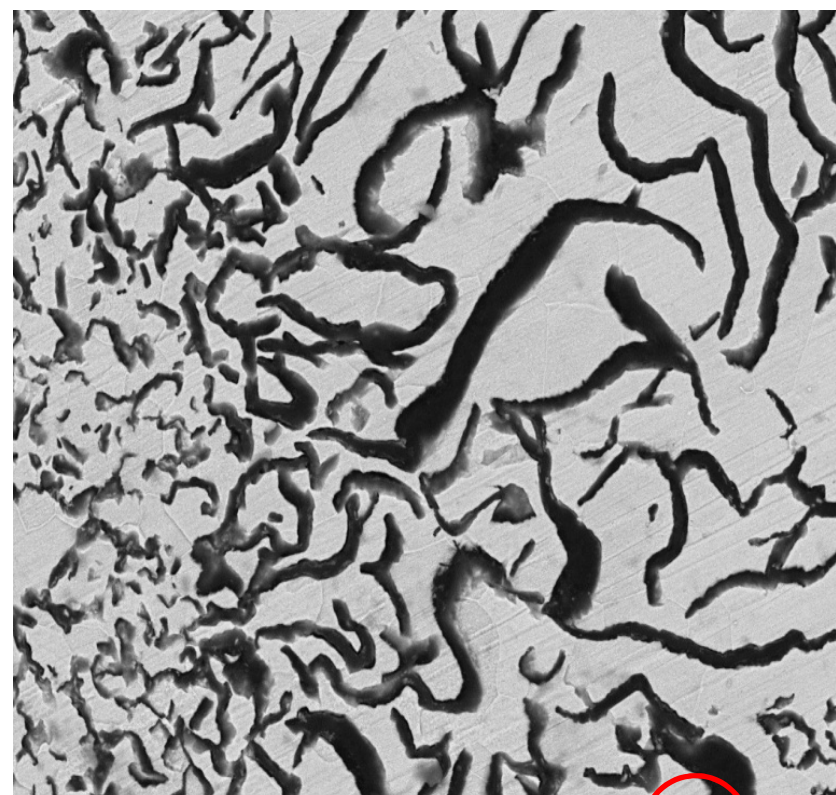


B1 2017/08/22 N D4.1 x1.5k 50 um

5.1.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura no Ferro Fundido Cinzento – b2

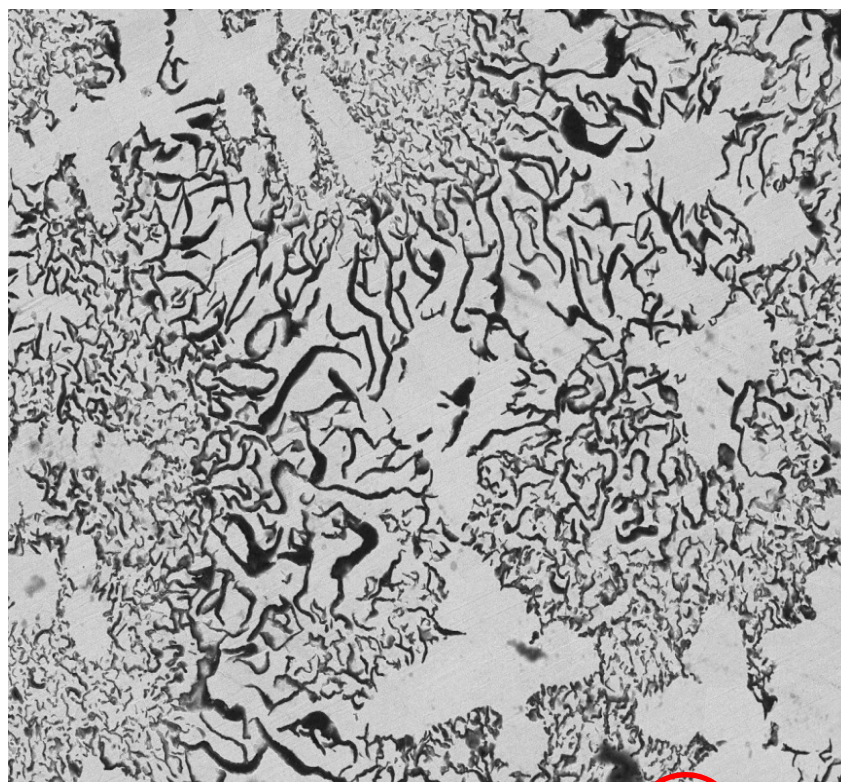


B2 2017/08/22 N D4.5 x250 300 um

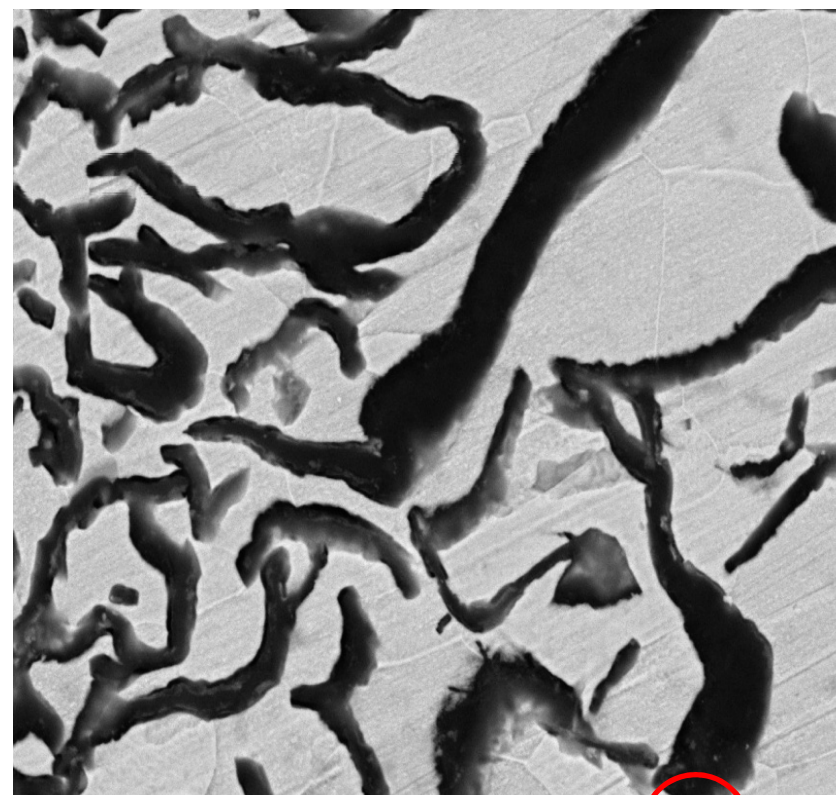


B3 2017/08/22 N D4.7 x1.5k 50 um

5.1.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura no Ferro Fundido Cinzento – b3



B3 2017/08/22 N D4.7 x500 200 um



B3 2017/08/22 N D4.7 x3.0k 30 um

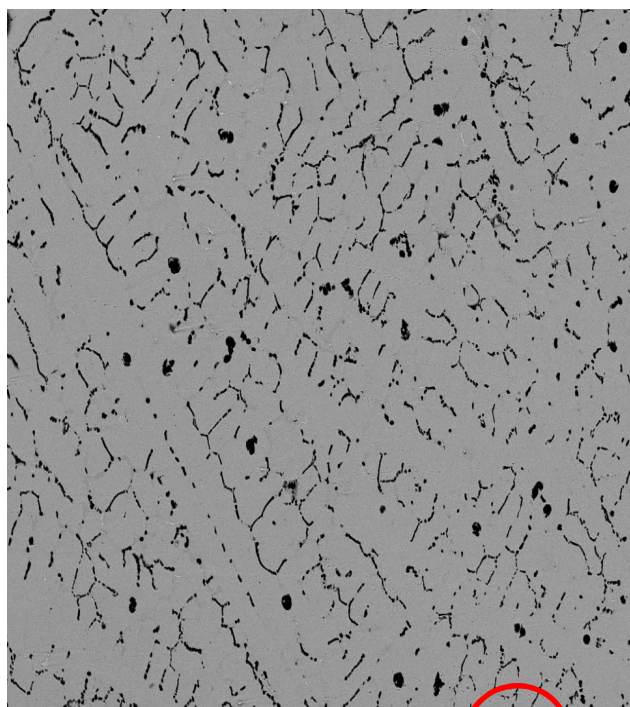
5.1.2.7 MEV na Soldagem com eletrodo de Níquel– a1 x a2 ou Aço Carbono X Ferro Fundido Cinzento

Utilizando procedimento

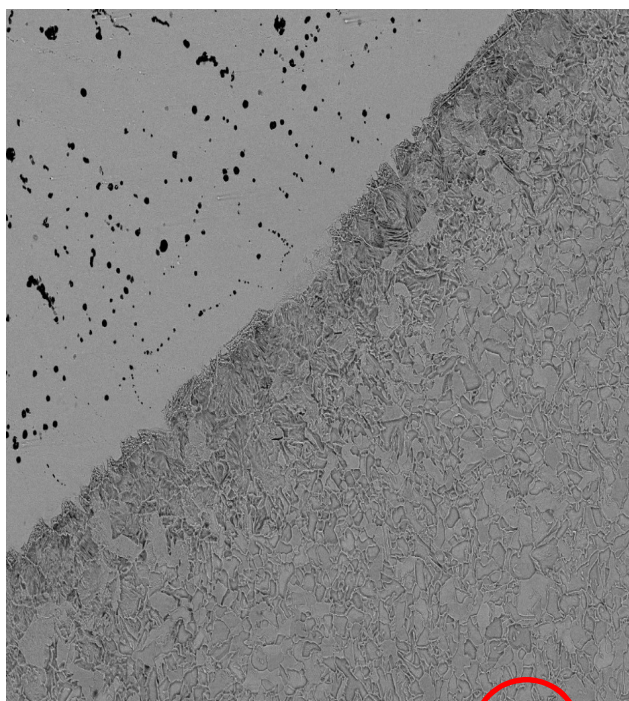
Metal Adição

ZTA + Metal Adição

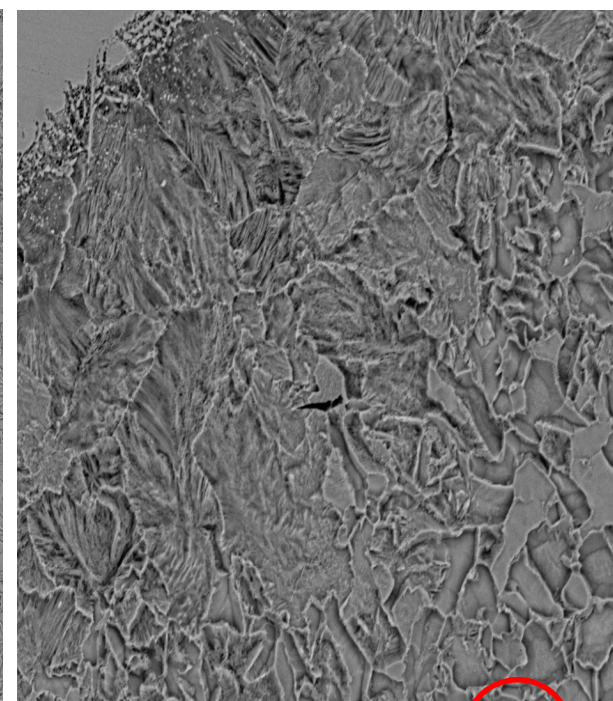
ZTA



SOLDA A1 2017/09/26 N D45 x500 200 um



SOLDA A1 2017/09/26 N D45 x500 200 um



SOLDA A1 2017/09/26 N D45 x2.0k 30 um

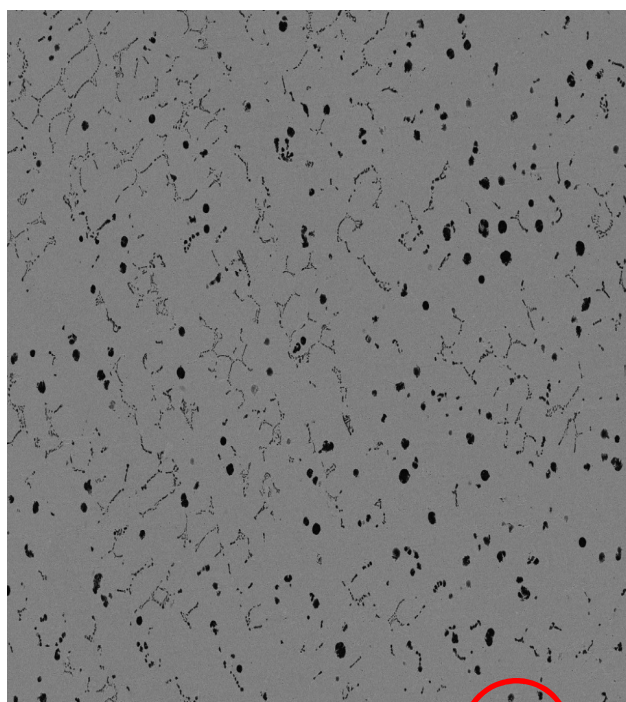
5.1.2.8 MEV na Soldagem com eletrodo de Níquel – a2 x a3 ou Ferro Fundido Cinzento X Ferro Fundido Cinzento

Utilizando procedimento

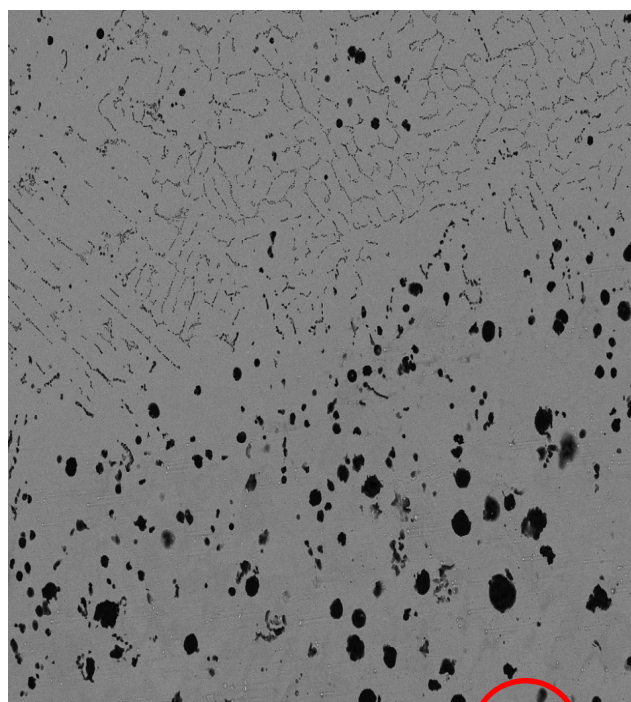
Metal Adição

ZTA + Metal Adição

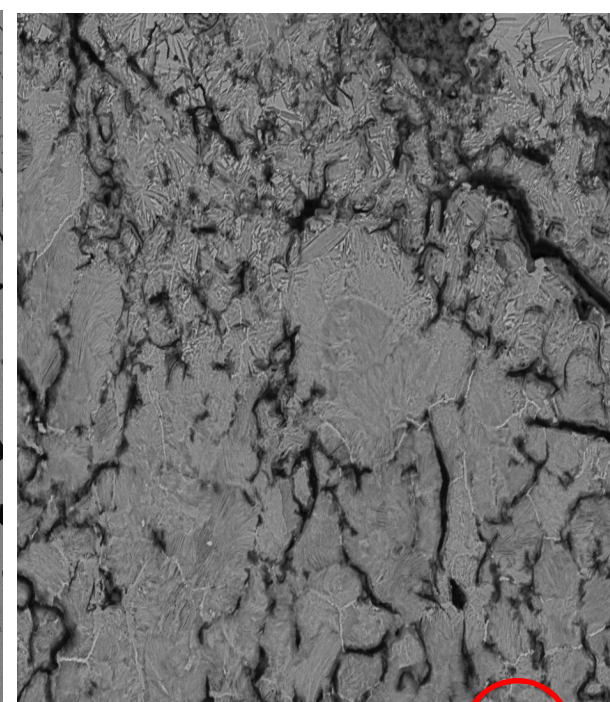
ZTA



SOLDA A2 2017/09/26 N D41 x500 200 um



SOLDA A2 2017/09/26 N D41 x500 200 um



SOLDA A2 2017/09/26 N D42 x1.0k 200 um

5.1.2.9 MEV na Soldagem com eletrodo AWS E8018 – b1 x b2 ou Aço Carbono X Ferro Fundido Cinzento

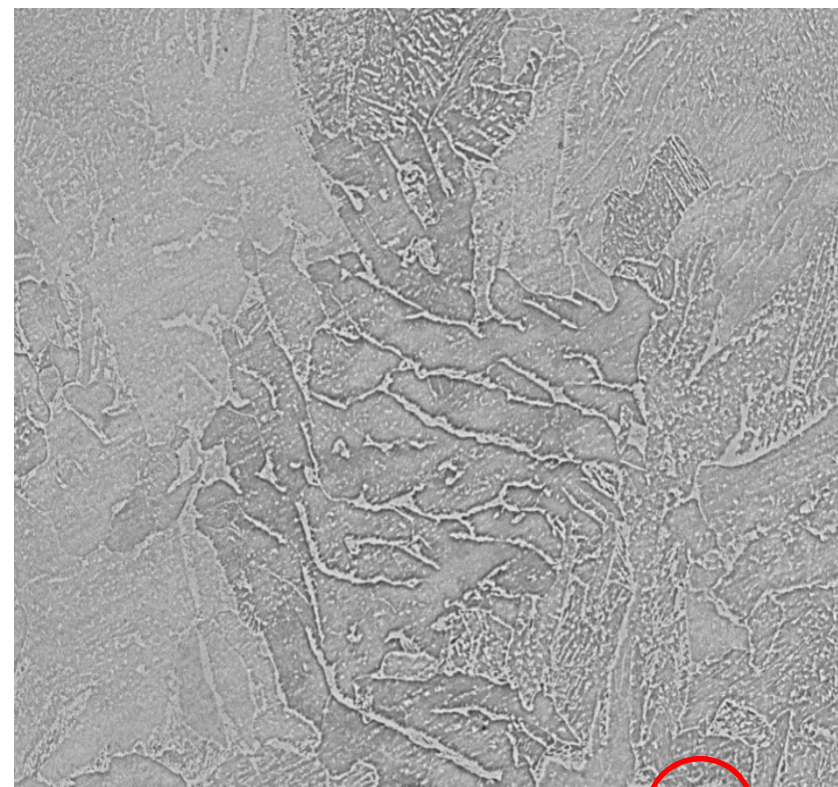
Utilizando procedimento convencional

Metal Adição

ZTA



SOLDA B1 2017/09/23 N D4.8 x2.0k 30 um



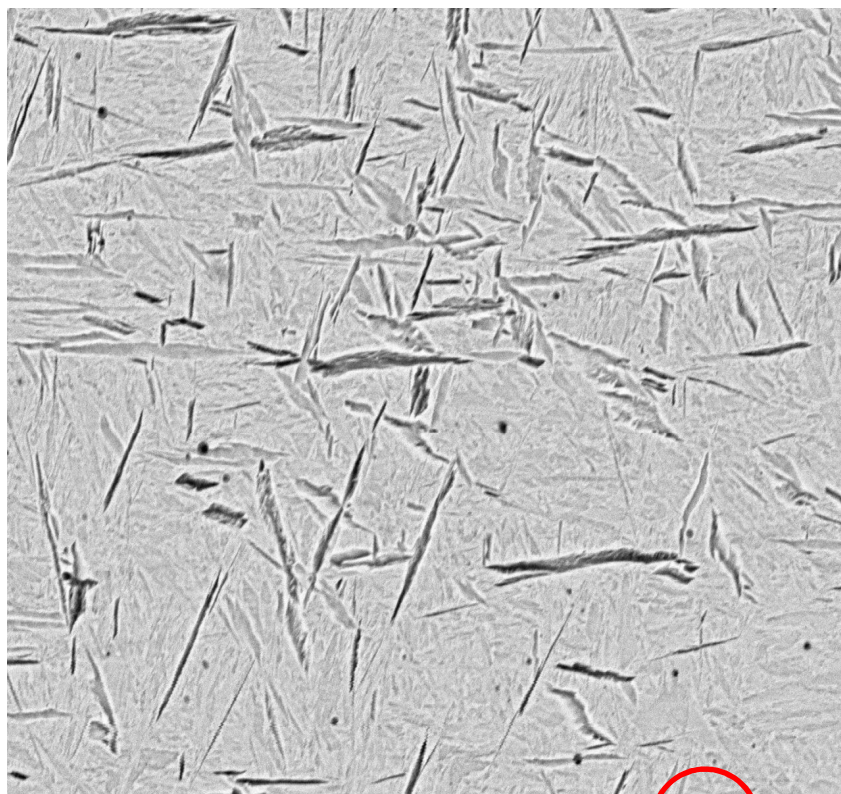
SOLDA B1 2017/09/23 N D4.9 x2.0k 30 um

5.1.2.10 MEV na Soldagem com eletrodo AWS E8018 – b2 x b3 ou Ferro Fundido Cinzento X Ferro Fundido Cinzento

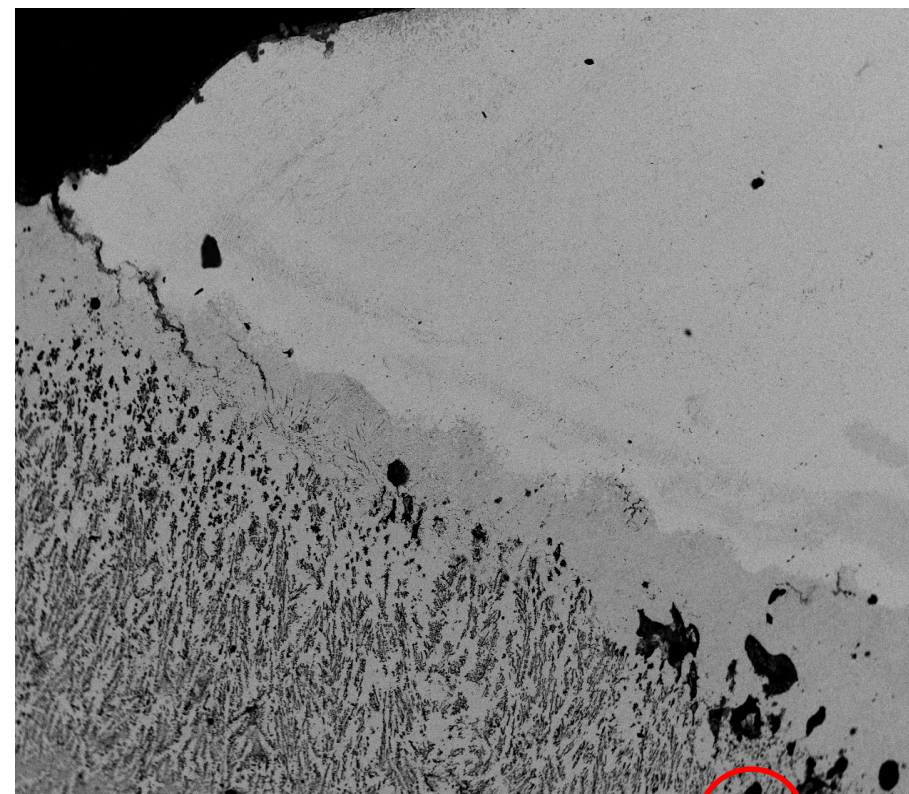
Utilizando procedimento convencional

Metal Adição

ZTA






SOLDA B2 2017/09/23 N D4.8 x3.0k 30 um



SOLDA B2 2017/09/23 N D4.6 x50 2 mm

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que:

- A soldagem com eletrodo Xyron 2224 encaminhou uma dureza no metal de adição e na ZTA, **equiparada aos dois metais bases utilizados.** 
- A soldagem com eletrodo convencional AWS E8018, encaminhou uma dureza **bem maior no metal de adição** e de forma intermediária na ZTA. 
- O estudo aponta para a utilização em FoFo Cinzentos de **eletrodos Xyron**, assim como um **procedimento adequado** de forma a **garantir o resfriamento lento** das junções a fim de evitar o surgimento de martensita. 

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- O trabalho experimental desenvolvido nesta dissertação pode e deve ser complementado utilizando-se o DRX para avaliação das características complementares do metal base, de adição e da ZTA.

- ✓ **Obs.: Não incluímos esta análise no presente trabalho em função da indisponibilidade do equipamento**