



Universidade de Aveiro  
2022

Rui Pedro Almeida  
Martins

Análise experimental de deformações em  
soldadura

*A sorte protege os audazes!*





**Rui Pedro Almeida  
Martins**

## **Análise experimental de deformações em soldadura**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de António Manuel de Bastos Pereira, Professor Associado com Agregação, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



**o júri / the jury**

presidente / president

**Prof. Doutora Gabriela Tamara Vincze**

Professora Auxiliar em Regime Laboral da Universidade de Aveiro

vogais / committee

**Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto**

Professor Adjunto do *Instituto Superior de Engenharia do Porto*

**Prof. Doutor António Manuel de Bastos Pereira**

Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro



**agradecimentos /  
acknowledgements**

Um agradecimento muito especial aos meus pais por sempre acreditarem em mim, às minhas irmãs por estarem sempre disponíveis a ajudar e toda a restante família. À InoxArões e a todos os colaboradores que de uma forma ou outra ajudaram a que este trabalho se concretizasse. Aos Eng. Pedro Limas, Rúben Costa e Pedro Costa por toda a força e motivação e pelos momentos mais difíceis que passamos durante a universidade. Ao Eng. João Silva pelos muitos e sábios conselhos que tem partilhado comigo. Um agradecimento também a toda a comunidade ALLAROUND! Não tenho palavras para descrever o bem que me fazem todos os dias. Um agradecimento também ao meu orientador, Prof. Dr. António Bastos por estar sempre disponível a ajudar.





**palavras-chave**

Soldadura, Deformações, Tensões, Aço Inoxidável, ARCTIG, TIG

**resumo**

A soldadura é um dos processos mais comuns usado na indústria para conectar dois materiais. Estes materiais podem ser iguais ou diferentes. Os processos de soldadura mais utilizados requerem que seja introduzido uma certa quantidade de calor até que se atinja o ponto de fusão para poder unir ambos os materiais. É expectável que este calor introduzido origine mais tensões residuais após arrefecimento da soldadura. Estas novas tensões criaram também deformações nas partes soldadas. É importante prever estas deformações de modo a serem evitadas. Em algumas indústrias estas deformações podem gerar produto rejeitado. Neste trabalho foi selecionado o aço inoxidável como material de estudo. A junta de soldadura selecionada foi uma junta topo-a-topo com e sem preparação, recorrendo ao processo de soldadura TIG na posição 1G com várias opções de fixação e diferentes máquinas de soldadura. As deformações são presentes em seis análises e comparadas entre si.



**keywords**

Welding, Deformation, Stress, Stainless Steel, ARCTIG, TIG

**abstract**

Welding is one of the most common processes used in industry to connect materials. This materials can be the same or different ones. The must used welding processes need a certant amount of heat to achive the melting point to be possible connect both parts. Its expected that the heat inputed originies more residual stress after colling the weld. This new stress will also generate deformation on the parts. Its important to prevent this deformation in order to avoid then. In some industries this deformation can generate nonconformity products. In this work we use stainless steel as study material. The selected joint for this work is a butt weld with and without joint preparation and welding process will be TIG in position 1G with different fixation options and different welding machines. The deformation results are show in six analysis and all the results are compared.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.2	Descrição do problema . . . . .	2
1.3	Objetivos . . . . .	3
1.4	Estrutura do Documento . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Estado de Arte</b>	<b>7</b>
2.1	Soldadura . . . . .	7
2.2	Processo de Soldadura TIG . . . . .	8
2.2.1	Aparelho de soldadura TIG . . . . .	10
2.2.2	Gás de proteção . . . . .	16
2.3	ARCTIG . . . . .	17
2.4	Aço Inoxidável - TP 304/304L - 1.4301/1.4307 . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Análise de Deformações</b>	<b>23</b>
3.1	Definição do provete . . . . .	23
3.2	Parâmetros de soldadura . . . . .	24
3.3	Método de obtenção de deformações . . . . .	25
3.4	Soldadura dos provetes . . . . .	27
3.4.1	Análise 1 - Soldadura com ARCTIG sem preparação de junta	27
3.4.2	Análise 2 - Soldadura com ARCTIG com preparação de junta	30
3.4.3	Análise 3 - Soldadura com TIG automático sem preparação de junta . . . . .	31
3.4.4	Análise 4 - Soldadura com TIG automático com preparação de junta . . . . .	35

3.4.5	Análise 5 - Soldadura com TIG manual sem preparação de junta . . . . .	35
3.4.6	Análise 6 - Soldadura com TIG manual com preparação de junta . . . . .	38
3.5	Resultados . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Conclusão</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>Trabalho Futuro</b>	<b>59</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>59</b>
<b>A</b>		<b>63</b>

# Lista de Tabelas

1.1	Relações entre o processo de soldadura, material e mecânica [3]. . .	2
2.1	Diâmetro do eletrodo de tungstênio aditivado e correntes admissíveis (1). . . . .	13
2.2	Diâmetro do eletrodo de tungstênio aditivado e correntes admissíveis (2). . . . .	14
2.3	Cores de identificação dos eletrodos de tungstênio segundo a norma DIN 32528. . . . .	14
3.1	Parâmetros de soldadura. . . . .	24
3.2	Componentes de soldadura. . . . .	25
3.3	Parâmetros do material de adição. . . . .	25
3.4	Penetração do cordão de soldadura das análises 1 a 6. . . . .	42
3.5	Deformações de todas as análises. . . . .	46
3.6	Deformação análise 1. . . . .	47
3.7	Deformação análise 2. . . . .	48
3.8	Deformação análise 3. . . . .	50
3.9	Deformação análise 4. . . . .	50
3.10	Deformação análise 5. . . . .	50
3.11	Deformação análise 6. . . . .	52

Intentionally blank page.



# Lista de Figuras

1.1	Vendas e serviços na indústria metalomecânica [2]. . . . .	1
1.2	Deformação <i>buckling</i> após soldadura [4]. . . . .	3
1.3	Tensão residual longitudinal numa soldadura topo-a-topo [4]. . . . .	4
1.4	Tensão residual transversal numa soldadura topo-a-topo [4]. . . . .	4
2.1	Ligação soldada por um processo TIG com material de adição. . . . .	8
2.2	Processo de soldadura TIG [6]. . . . .	9
2.3	Processo de soldadura TIG, numa tubagem para a indústria farma- cêutica. . . . .	10
2.4	Processo de soldadura TIG, numa tubagem para a indústria alimentar. . . . .	10
2.5	Aparelho de soldadura antigo. . . . .	11
2.6	Aparelho de soldadura atual. . . . .	11
2.7	Bocal cerâmico para soldadura TIG. . . . .	12
2.8	Extra proteção de gás para soldadura de titânio. . . . .	12
2.9	Influência do ângulo da ponta do eletrodo na penetração da soldadura. . . . .	15
2.10	Influência da preparação do Tungsténio. . . . .	15
2.11	Amortização ARCTIG [10]. . . . .	17
2.12	Penetração ARCTIG [10]. . . . .	18
2.13	Tocha/Bocal ARCTIG. . . . .	18
2.14	Fonte de alimentação ARCTIG. . . . .	18
2.15	Alimentador de fio ARCTIG. . . . .	19
2.16	Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0.2% vs PRE [11]. . . . .	20
2.17	Extensão de rotura vs PRE [11]. . . . .	20
2.18	Mercado de aço inoxidável nos Estados Unidos da América [12]. . . . .	21
2.19	Propriedades mecânicas TP 304/304L [11]. . . . .	21
3.1	Detalhe de junta topo-a-topo. . . . .	24
3.2	Pontos para medição manualmente. . . . .	26
3.3	Posicionamento de provete. . . . .	26

3.4	Banco de soldadura ARCTIG. . . . .	27
3.5	Fixação tipo prensa ARCTIG. . . . .	28
3.6	Manga de ar comprimido ARCTIG. . . . .	28
3.7	Provete inválido - falta de penetração de soldadura. . . . .	29
3.8	Provete inválido - falta de penetração de soldadura. . . . .	29
3.9	Provete inválido - descontinuidade na soldadura. . . . .	30
3.10	Provete válido - soldadura continua com penetração total. . . . .	30
3.11	Penetração do cordão de soldadura ARCTIG, análise 1. . . . .	31
3.12	Junta utilizada na Análise 2. . . . .	31
3.13	Penetração do cordão de soldadura ARCTIG, análise 2. . . . .	32
3.15	Tocha TIG convencional. . . . .	32
3.14	Banco de soldadura utilizado nas análise 3 e 4. . . . .	33
3.16	Aparelho de soldadura TIG convencional. . . . .	34
3.17	Cobre juntas análise 3. . . . .	35
3.18	Cobre juntas análise 1 e 2. . . . .	35
3.19	Provete após soldadura com maquina TIG convencional. . . . .	36
3.20	Penetração do cordão se soldadura TIG automático, análise 3. . . . .	36
3.21	Provete antes de soldadura com calcador levantado. . . . .	37
3.23	Cobre juntas manual. . . . .	37
3.22	Penetração do cordão de soldadura TIG automático, análise 4. . . . .	38
3.24	Provete após soldadura manual. . . . .	38
3.25	Provete após soldadura manual com deformação visível. . . . .	39
3.26	Penetração do cordão se soldadura TIG manual, análise 5. . . . .	39
3.27	Sobre-espessura de soldadura, análise 5. . . . .	39
3.28	Provete após soldadura manual. . . . .	40
3.29	Provete após soldadura manual com deformação visível na análise 6. . . . .	40
3.30	Penetração do cordão de soldadura TIG manual, análise 6. . . . .	41
3.31	Sobre-espessura de soldadura. análise 6. . . . .	41
3.32	Provete pintado com branco fosco. . . . .	42
3.33	Provete Pintado com pontos de referência. . . . .	43
3.34	Nuvem de pontos resultante do scanner 3D. . . . .	43
3.35	Nuvem de pontos com partes adjacentes eliminadas. . . . .	44
3.36	Nuvem completa. . . . .	45
3.37	Deformação 1 - Autodesk Fusion 360. . . . .	45
3.38	Deformação 2- Autodesk Fusion 360. . . . .	46

3.39	Resultado deformação transversal análise 1, centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	47
3.40	Resultado da deformação análise 1 superfície. . . . .	48
3.41	Resultado deformação transversal análise 2, centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	49
3.42	Resultado da deformação análise 2 superfície. . . . .	49
3.43	Resultado deformação transversal análise 3, centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	50
3.44	Resultado da deformação análise 3 superfície. . . . .	51
3.45	Resultado deformação transversal análise 4, centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	51
3.46	Resultado da deformação análise 4 superfície. . . . .	52
3.47	Resultado deformação transversal análise 5, centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	53
3.48	Resultado da deformação análise 5 superfície. . . . .	53
3.49	Resultado deformação transversal análise 6, centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	54
3.50	Resultado da deformação análise 6 superfície. . . . .	54
3.51	Resultado deformação transversal análise 1 a 6, secção inicial da soldadura e centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	55
3.52	Resultado deformação transversal análise 1 a 6, secção final da soldadura e centro da soldadura ponto (0,0). . . . .	55

Intentionally blank page.

# Acrónimos

**ASME** American Society of Mechanical Engineers. 7

**AWS** American Welding Society. 7

**DIN** Deutsches Institut für Normung. 13

**EN** European Standard. 7

**GTAW** Gas Tungsten Arc Welding. 8

**ISO** International Organization for Standardization. 7

**PRE** Pitting resistance equivalent. 19

**SAW** Submerged Arc Welding. 18

**SER** Soldadura por Electrodo Revestido. 10

**TIG** Tungsten Inert Gas. 5, 7, 8

Intentionally blank page.

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Nos dias de hoje, os setores da metalúrgica e da metalomecânica combinados, tiveram cerca de 29.033 milhões de euros em volume de negócio em 2021 e empregam cerca de 191.884 pessoas apenas em Portugal [1]. Em ambos os setores é recorrente utilizar soldadura para garantir produtos da maior qualidade possível.

Como é possível observar no gráfico da figura 1.1 proveniente do Banco de Portugal, o sector metalomecânico teve um aumento para cerca de 19.24% relativamente a 2020 [2].

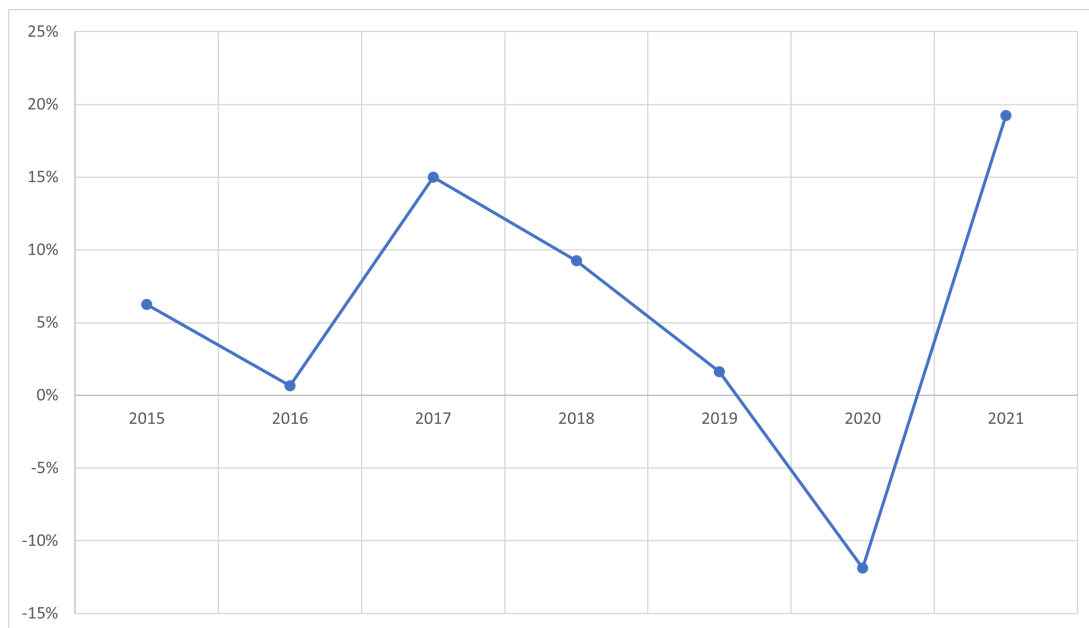


Figura 1.1: Vendas e serviços na indústria metalomecânica [2].

Portugal é um país chave na transformação de metal, desde barcos a infra-estruturas completas. As empresas Portuguesas são uma solução completa com tecnologia atualizada e mão de obra qualificada para os mais exigentes projetos.

## 1.2 Descrição do problema

A deformação em peças soldadas é uma consequência da aplicação de calor durante o processo de soldadura, muitas vezes este calor é aplicado de uma forma não totalmente controlada.

O custo de reparação de peças após soldadura é um factor caro e quanto maior a deformação mais dispendioso será quer por necessidade de mão de obra quer por recurso a maquinaria mais especializada.

De notar que, as deformações dependem não só da entrega térmica durante o processo de soldadura, mas também do material constituinte da peça, as suas propriedades físicas / termicas, espessura, tipo de junta a ser soldada, posição de soldadura e os parâmetros de soldadura, desde intensidade de corrente, tensão, velocidade de soldadura e processo de soldadura, como é possível verificar na tabela 1.1.

Tabela 1.1: Relações entre o processo de soldadura, material e mecânica [3].

	<b>Fatores de influência</b>	<b>Consequência</b>
<b>Processo de soldadura</b>	Método de soldadura Intensidade Velocidade Junta	Calor Induzido Distribuição de temperatura Eficiência térmica Formas de reforços Penetração
<b>Material</b>	Composição química Temperatura Propriedades térmicas Taxa de arrefecimento	Micro-estrutura Fase de transformação Propriedades físicas e térmicas Dureza Resistência Tenacidade
<b>Mecânica</b>	Distribuição de temperatura Propriedades térmicas e mecânicas Forma e tamanho do trabalho Amarração	Tensão residual Deformação Fratura na soldadura

No conjunto das variáveis do processo de soldadura em soma com as do material relacionam alterações/novas tensões na peça soldada. São estas alterações/novas tensões que originam as respetivas deformações.

A deformação em soldadura pode ser designada por três diferentes tipos [4]:



- **Deformação Longitudinal** - Deformação originada devido a forças de compressão paralelas à soldadura.
- **Deformação Transversal** - Deformação originada devido a forças perpendiculares à soldadura.
- **Deformação Angular** - Deformação originada por forças com maior intensidade na parte incidente da fonte de calor.

Em suma, todas as deformações mencionadas acima podem ocorrer em simultâneo originando uma situação de *buckling*, como demonstrado na figura 1.2.

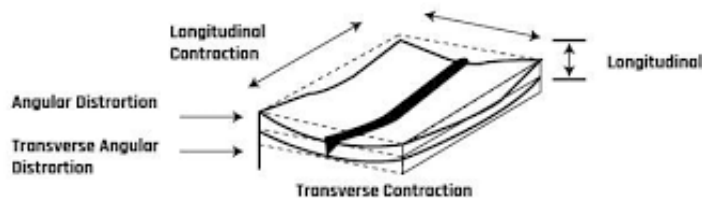


Figura 1.2: Deformação *buckling* após soldadura [4].

De notar que estas deformações podem ser reduzidas se o arrefecimento após a soldadura for controlado e não arrefecido de forma brusca, é também suscetível o uso de sistemas de amarração adequadas ao procedimento de soldadura. Durante a soldadura podem ser tomadas algumas medidas preventivas como o controlo de energia térmica utilizada, posição de soldadura e respetivo método de soldadura.

A figura 1.3 representa as tensões residuais no plano longitudinal  $\sigma_x$  ao longo da soldadura e a figura 1.4 as tensões residuais no plano transversal  $\sigma_y$ , num ponto da soldadura.

### 1.3 Objetivos

No seguimento do mencionado na secção 1.2 o principal objetivo deste trabalho é analisar as deformações que ocorrem num determinada peça após soldadura. Para atingir esse objetivo esta dissertação subdividiu-se nos seguintes pontos:

- Definição do processo de soldadura utilizado
- Análise do material utilizado
- Preparação das peças a soldar

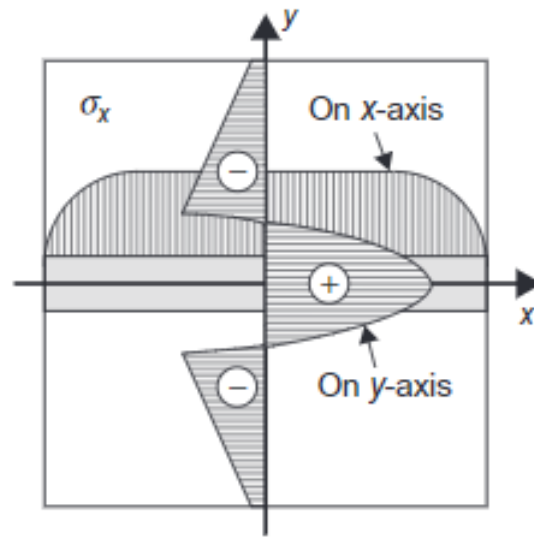


Figura 1.3: Tensão residual longitudinal numa soldadura topo-a-topo [4].

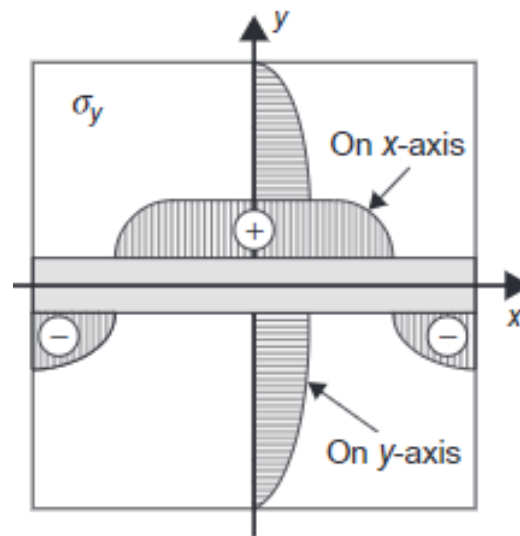


Figura 1.4: Tensão residual transversal numa soldadura topo-a-topo [4].

- Soldadura das peças
- Análise das deformações

## 1.4 Estrutura do Documento

Na secção 1.2 é descrito o problema de estudo, desde a causa, implicações que este problema tem em condições de trabalho e impacto económico. Na secção 1.3 os

objetivos desta dissertação.

No capítulo 2 na secção 2.1 é descrito o processo de soldadura em geral, na secção 2.2 é descrito o processo de soldadura utilizado neste trabalho e na secção 2.3 a máquina de TIG da FRONIUS utilizada em algumas análises. Na secção 2.4 é apresentado o material usado.

Na secção 3.1 é definido desde a dimensão dos provetes aos tipos de análises. Na secção 3.2 os parâmetros de soldadura utilizados. Secção 3.3 os métodos selecionados para obtenção de deformações.

A soldadura dos provetes é descrita na secção 3.4.

Os resultados das deformações é apresentada na secção 3.5 com gráficos.

No capítulo 4, conclusão, é comparado cada análise e avaliada cada deformação.

O capítulo 5 faz referência a possíveis trabalhos complementares que se podem fazer na sequência desta dissertação.

Intentionally blank page.

# Capítulo 2

## Estado de Arte

Para completar esta dissertação é necessário uma revisão do "Estado da Arte", passando assim a descrever neste capítulo o processo de soldadura TIG desde os seus constituintes até à máquina mais atual usada nesta dissertação, o ARCTIG. É também descrito o material usado, Aço Inoxidável TP 304/304L.

### 2.1 Soldadura

Apesar das inúmeras e variadas definições de soldadura ao longo dos anos, a soldadura é um processo de ligação entre duas peças através da união íntima e atômica entre as superfícies em contacto. Esta ligação deve obter propriedades mecânicas equivalentes ou superiores às do material base, mantendo de forma regular a continuidade (ISO 25901-1,2016) [5].

Nas peças soldadas pode distingir-se dois materiais: o material base e o material de adição, se a soldadura o necessitar.

Junta é a designação usada para a área de contacto entre peças a soldar, correspondente também à área onde é depositado o material de adição. Na figura 2.1 podemos observar o correspondente material base e material de adição numa junta soldada, utilizando o processo TIG numa junta topo-a-topo.

Sendo a soldadura um processo utilizado em todo o mundo, existiu a necessidade de este estar regulamentado. Pode aplicar-se normas EN, ISO, AWS e ASME, sendo que é normal em Portugal ser utilizado com mais frequência as normas EN. O Anexo 1 representa um certificado de um processo de soldadura segundo a norma EN ISO 15614-1:2017 e do respetivo operador.

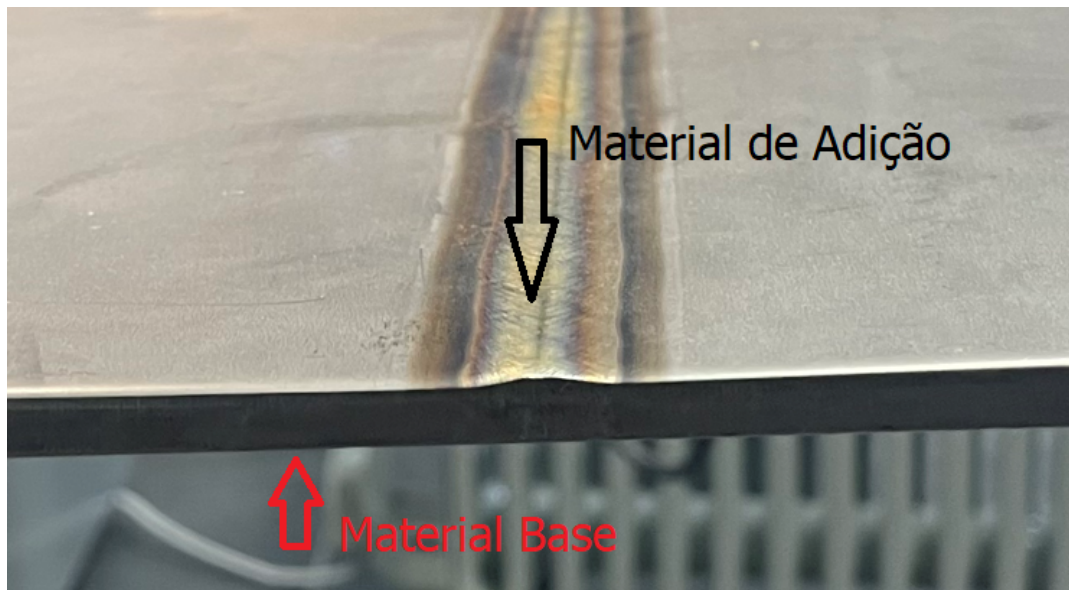


Figura 2.1: Ligação soldada por um processo TIG com material de adição.

## 2.2 Processo de Soldadura TIG

O Processo de soldadura Tungsten Inert Gas (TIG), também conhecido por Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), envolve um arco elétrico entre a peça a soldar e o elétrodo de tungstênio. O arco elétrico gerado entre o elétrodo e a peça é suficientemente intenso que facilmente se ultrapassa temperaturas de fusão do material a soldar. Note-se que para que o material das peças a soldar funda e o elétrodo permaneça "intacto" este tem de ser bastante resistente ao calor, sendo utilizado como material principal o tungstênio.

Este processo usa também um gás de proteção inerte, normalmente o argon. Este gás é induzido por um bocal, elemento constituinte da tocha de soldadura e tem como principal função ionizar o arco e proteger o processo de fusão do ar ambiente.

A figura 2.2 demonstra os constituintes do processo de soldadura TIG. O elétrodo é sempre elemento central da tocha. Pode ainda ser utilizado material de adição neste processo, normalmente em processos manuais sob a forma de vareta ou em forma de bobine de fio em processo automático. A vareta pode ter diâmetros desde 1.6 mm a 3.2 mm, já sob a forma de bobine normalmente de 1 mm a 1.2 mm.

Este processo é utilizado em diversas áreas, desde a caldeiraria, tubagem, equipamentos para engenharia civil e até mesmo peças utilizadas em design.

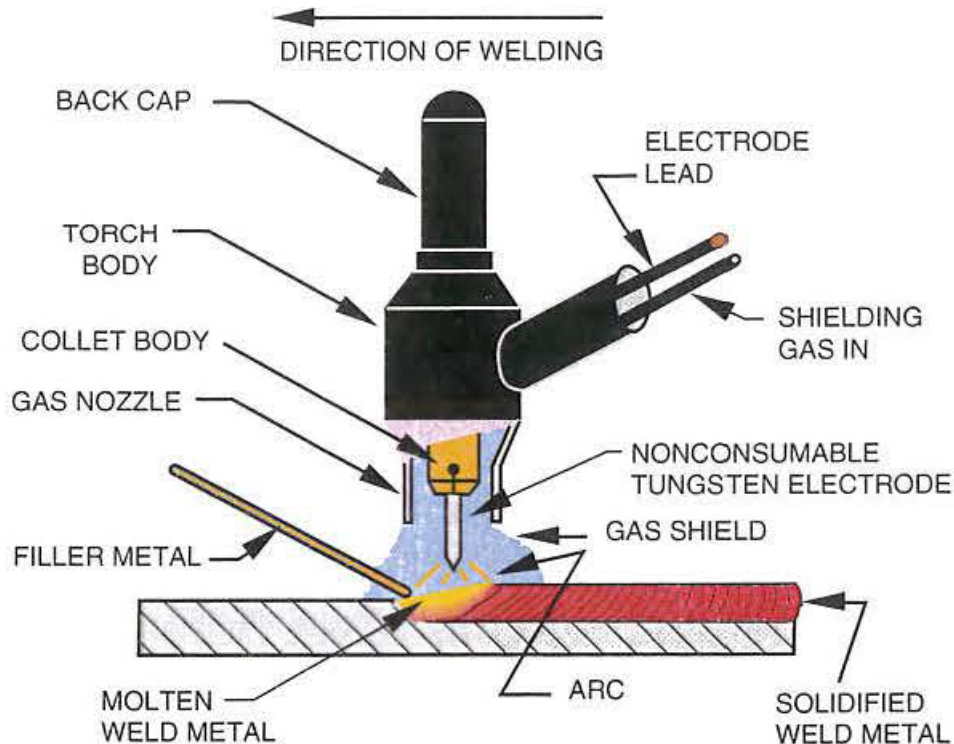


Figura 2.2: Processo de soldadura TIG [6].

A soldadura TIG é considerada uma soldadura limpa e portanto usada em equipamentos bastante exigentes como a indústria farmacêutica, cosmética e alimentar. A figura 2.3 demonstra uma soldadura TIG, com recurso a um processo automático de soldadura orbital, numa tubagem para a indústria farmacêutica e a figura 2.4 também uma soldadura TIG mas manual para a indústria alimentar.

Seguem as vantagens da soldadura TIG [6]:

- Junta com boa resistência mecânica e mais resistência à corrosão;
- Basta gama de tipo de junta utilizado;
- Possível de automatizar;
- Possibilidade de soldar espessuras finas;
- Bom acabamento de soldadura, sem necessidade de limpeza de salpicos;
- Bom controlo em toda a soldadura;



Figura 2.3: Processo de soldadura TIG, numa tubagem para a indústria farmacêutica.



Figura 2.4: Processo de soldadura TIG, numa tubagem para a indústria alimentar.

## 2.2.1 Aparelho de soldadura TIG

### Gerador de alta frequência

Sendo a soldadura TIG um processo que utiliza arco elétrico, este tem de ser gerado.

No início da utilização do processo TIG, ainda sem geradores de alta frequência, figura 2.5, era necessário fazer o escorvamento do arco, mesmo procedimento na soldadura SER o que danificava bastante e diminuía a vida útil dos eletrodos.



Com a introdução do gerador de alta frequência para o arranque da soldadura, figura 2.6, é gerada uma faísca através de uma elevada frequência na ordem dos MHz em combinação com a elevada tensão aplicada, também na ordem dos kV, porém com uma intensidade de corrente baixa para manter a operação segura e proteger o operador. Esta faísca faz com que o arco "salte" até à peça a soldar.

No caso de soldadura TIG com recurso a corrente AC, o gerador de alta frequência tem também a função de impedir que o arco se extinga aquando da passagem por 0V (sem corrente no circuito) [5] [7].

Nos dias de hoje a maioria dos aparelhos de soldadura TIG já trazem o gerador de alta frequência incorporado, facilitando o transporte e o manuseamento do aparelho.



Figura 2.5: Aparelho de soldadura antigo.



Figura 2.6: Aparelho de soldadura atual.

### Tocha de soldadura TIG

Para requerimentos de uma tocha de soldadura deve ter-se em consideração que esta deve ser de fácil manuseamento e também totalmente isolada de corrente elétrica.

Estas podem ser refrigeradas a líquido de refrigeração ou a ar. As refrigeradas a líquido podem trabalhar com correntes com uma intensidade até 400 A e as com refrigeração a ar com correntes mais baixas até 200 A [7].

De salientar que uma das peças relevantes na tocha e que influencia a soldadura é o bocal utilizado. Este bocal, de material cerâmico ou base cerâmica, pode ser

de vários tamanhos e configurações. Podem ser designados por um número e uma letra. A figura 2.7 representa alguns bocais standard.

Os bocais devem ser o suficientemente largos para poderem cobrir a soldadura e parte da área adjacente. A escolha deste deve ser precisa de modo a que o fluxo de gás não seja turbulento.

Em situações como soldadura de titânio, para maior proteção do cordão de soldadura, é adicionada uma peça à tocha como demonstra a figura 2.8.



Figura 2.7: Bocal cerâmico para soldadura TIG.



Figura 2.8: Extra proteção de gás para soldadura de titânio.

### Elérodos para soldadura TIG

Os eléctrodos estão classificados pela EN ISO 6848 e pela AWS A5.12M/A5.12.2005. São usadas ligas de Tungsténio devido à sua dureza e elevada resistência a maiores

temperaturas, sendo a sua temperatura de fusão cerca 3400 °C. [8]

Os mais usuais são elétrodos com 1-2% de Tório, quando uso de corrente contínua e para corrente alternada são usados elétrodos de tungsténio com Zircónio [5]. Existem ainda elétrodos de Tungsténio com Cério ou Lantânio, tendo este último um melhor escorvamento.

A seleção do diâmetro do eletrodo e tipo deve ter em consideração que o valor da corrente seja suficiente para cobrir toda a ponta do eletrodo, dependendo também do material a soldar. As tabelas 2.1 e 2.2 representam a relação do diâmetro do eletrodo com o intervalo de corrente utilizado na soldadura.

Tabela 2.1: Diâmetro do eletrodo de tungsténio aditivado e correntes admissíveis (1).

Ø	Corrente Contínua (A)			
	Eléctrodo como polo negativo (-)		Eléctrodo como polo positivo (+)	
mm	Eléctrodo	Eléctrodo	Eléctrodo	Eléctrodo
	Tungsténio puro	Tungsténio aditivado	Tungsténio puro	Tungsténio aditivado
0,25	max 15	max 15	N.a.	N.a.
0,3	max 15	max 15	N.a.	N.a.
0,5	2 a 20	2 a 20	N.a.	N.a.
1	10 a 75	10 a 75	N.a.	N.a.
1,5	60 a 150	60 a 150	10 a 20	10 a 20
1,6	60 a 150	60 a 150	10 a 20	10 a 20
2	75 a 180	100 a 200	15 a 25	15 a 25
2,4	120 a 220	150 a 250	15 a 30	15 a 30
2,5	130 a 230	170 a 250	17 a 30	17 a 30
3	150 a 300	210 a 310	20 a 35	20 a 35
3,2	160 a 310	225 a 330	20 a 35	20 a 35
4	275 a 450	350 a 480	35 a 50	35 a 50
4,8	380 a 600	480 a 650	50 a 70	50 a 70
5	400 a 625	500 a 675	50 a 70	50 a 70
6,3	550 a 875	650 a 950	65 a 100	65 a 100
6,4	575 a 900	750 a 1000	70 a 125	70 a 125
8				

De notar que o uso de corrente demasiado alta pode sobreaquecer a ponta do eletrodo e esta derreter e cair no cordão de soldadura, criando não conformidades.

Para distinção dos elétrodos foi criada uma norma DIN 32528, que usa uma determinada cor numa das extremidades para identificar os tipos de elétrodos como

Tabela 2.2: Diâmetro do eletrodo de tungstênio aditivado e correntes admissíveis (2).

Ø	Corrente Alternada (A)	
	mm	
	Elédrodo Tungstênio puro	Elédrodo Tungstênio aditivado
0,25	max 15	max 15
0,3	max 15	max 15
0,5	2 a 15	2 a 15
1	15 a 55	15 a 70
1,5	45 a 90	60 a 125
1,6	45 a 90	60 a 125
2	65 a 125	85 a 160
2,4	80 a 140	120 a 210
2,5	80 a 140	120 a 210
3	140 a 180	140 a 230
3,2	150 a 190	150 a 250
4	180 a 260	240 a 350
4,8	240 a 350	330 a 450
5	240 a 350	330 a 460
6,3	300 a 450	430 a 575
6,4	325 a 450	450 a 600
8		650 a 830

demonstra a tabela 2.3 [9].

Tabela 2.3: Cores de identificação dos eletrodos de tungstênio segundo a norma DIN 32528.

Corrente	Composição (%)	DIN	Material	Cor
AC	Tungstênio puro	W	2.6005	Verde
AC/DC	Tungstênio + 1% Tório	WT10	2.6022	Amarelo
DC	Tungstênio + 2% Tório	WT20	2.6026	Vermelho
DC	Tungstênio + 3% Tório	WT30	2.6030	Violeta
DC	Tungstênio + 4% Tório	WT40	2.6036	Laranja
AC	Tungstênio + 0,8 Zircônio	W28	2.6062	Branco
DC	Tungstênio + 1% Lantânio	WL10	2.6010	Preto
DC	Tungstênio + 1% Cério	WC10	-	Rosa
DC	Tungstênio + 2% Cério	WC20	-	Cinza

A ponta do eletrodo é também algo bastante importante para uma soldadura de qualidade. Ao contrário do normalmente induzido, um eletrodo mais pontia-

gudo não conduz a maiores penetrações, mas facilita o escorvamento do arco e o direcionamento do mesmo, como é possível observar na figura 2.9. A figura 2.10 representa o modo de preparação da ponta do eletrodo.

Para obras de grande responsabilidade este deve ter um cuidado especial e ser afiado em mós reservadas para este procedimento, prevenindo assim contaminações do mesmo. Alguns dos pós gerados no afiamento do eletrodo são radioativos e deve-se utilizar os respetivos EPI's para evitar respirar estes pós.

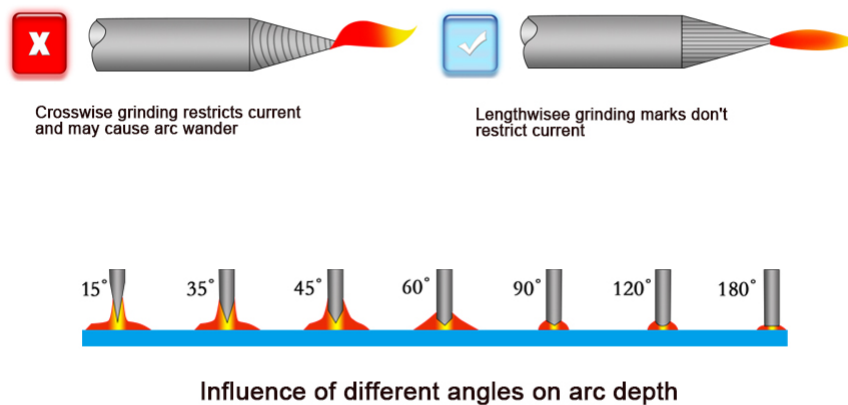


Figura 2.9: Influência do ângulo da ponta do eletrodo na penetração da soldadura.

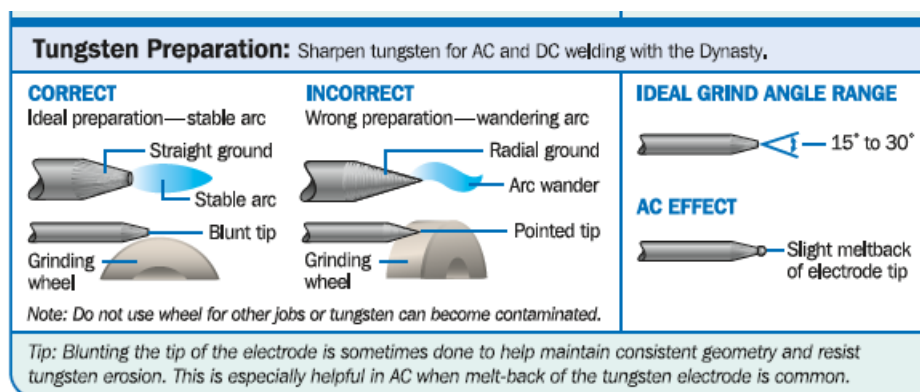


Figura 2.10: Influência da preparação do Tungsténio.

### 2.2.2 Gás de proteção

Os gases de proteção usados na soldadura TIG podem ser classificados pelas seguintes normas, EN ISO 14175 - *Welding consumables - Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes* e AWS A5.32/A5.32M - *Specification for welding shielding gases*. São então usados os seguintes gases:

- **Árgon (Ar)** - é o gás mais comum e mais económico usado na soldadura TIG e é obtido através do processo de liquidação de ar atmosférico para se obter oxigénio, tendo o ar atmosférico cerca de 0,9% de Árgon. Uma das vantagens do uso de Árgon é a sua baixa ionização e a sua condutividade térmica. É também mais denso que o ar atmosférico, cerca de 1.5 vezes, o que permite uma boa proteção durante a soldadura.
- **Hélio (He)** - é um gás que requer maior tensão no arco, pelo que, este gás é usado em aplicações que requeiram maior introdução de calor. É um gás que proporciona um arco mais instável que o Árgon. Comparando também com o Árgon, o Hélio é um gás com condutividade térmica mais alta e com um arco mais largo. Requer também um maior fluxo de gás.
- **Mistura de Árgon e Azoto** - é uma mistura de gases possível de utilizar no processo TIG, tendo até 3% de Azoto. O Azoto é um gás inerte a temperaturas ambiente, mas em altas temperaturas dissocia-se, o que em combinação com o oxigénio do ar atmosférico libertam mais calor, podendo assim aumentar a penetração da soldadura. Muitas vezes usado em soldaduras do passo na raiz em materiais como aço inox duplex.
- **Mistura de Árgon e Hélio** - Esta mistura não deve ser usado em aços pois contribui para a fissuração a frio. Pode ser usado na soldadura de cobre.
- **Mistura de Árgon e Hidrogénio** - é uma mistura de gás que aumenta o calor produzido, o poder de penetração e permite maior velocidade de soldadura, no entanto, tal como o Hélio, a sua aplicação em aços requer algum cuidado pois este pode originar fissuração a frio. No entanto é usado em aços inoxidáveis (Cr-Ni) pois é excelente na formação de uma atmosfera redutora, o que elimina o oxigénio e restantes óxidos da zona de soldadura. Sendo o Hidrogénio um gás ativo o processo de soldadura designa-se por TAG - *Tungsten Active Gas* abrangido pela norma ISO 4063.

Deve ter-se também em conta que quando se termina a soldadura, não se deve retirar de imediato a tocha do local onde se terminou a soldadura. Os aparelhos de soldadura hoje estão dotados de um temporizador, controlado pelo operador onde após o termo da soldadura é ainda libertado uma certa quantidade de gás, arrefecendo assim a soldadura e protegendo-a de contaminações enquanto ainda está a solidificar.

## 2.3 ARCTIG

O ARCTIG é um aparelho de soldadura TIG desenvolvido pela prestigiada marca Fronius, sendo esta marca uma das pioneiras no desenvolvimento de novas soluções de soldadura. É uma excelente solução para quem procura uma solução custo-eficiência e com a mais alta qualidade de soldadura como desmontar a figura 2.11.

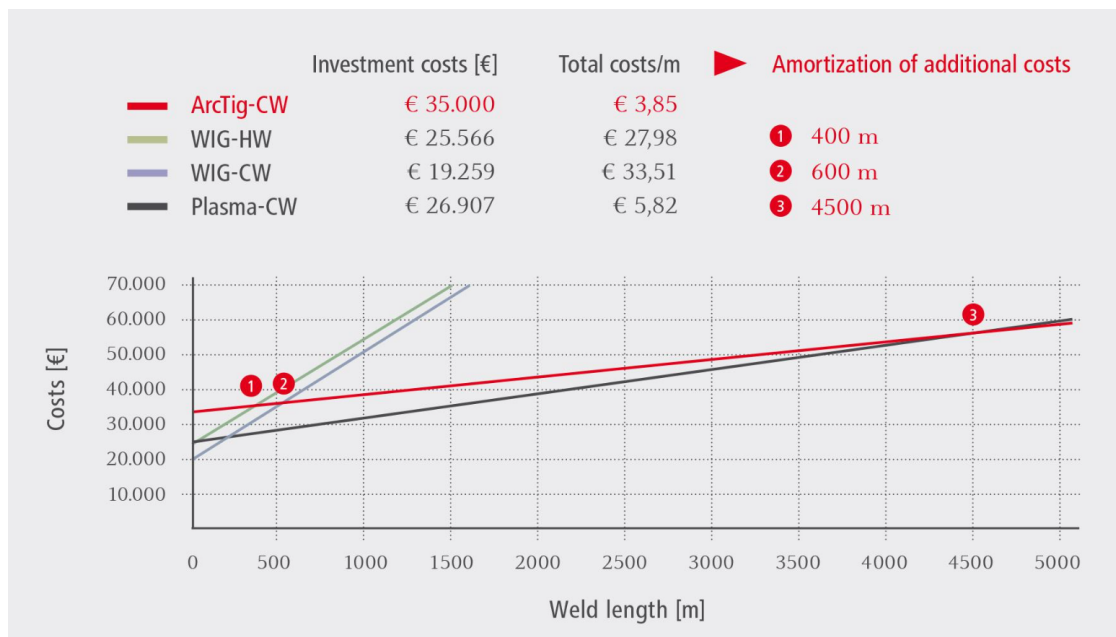


Figura 2.11: Amortização ARCTIG [10].

Esta solução pode ser usada desde a construção de reservatórios, pipelines e também na indústria naval. É um sistema que permite soldaduras topo-a-topo sem preparação de junta até 10 mm, em um único passe, poupando tempo e mão de obra na preparação da junta.

Com recurso a uma tocha especial como mostra a figura 2.13, esta solução permite que o elétrodo de Tungsténio seja arrefecido até junto da ponta. Esta

solução faz com que a emissão de elétrons seja mais na ponta, logo mais concentrada sendo assim possível maior penetração como é possível verificar na figura 2.12.

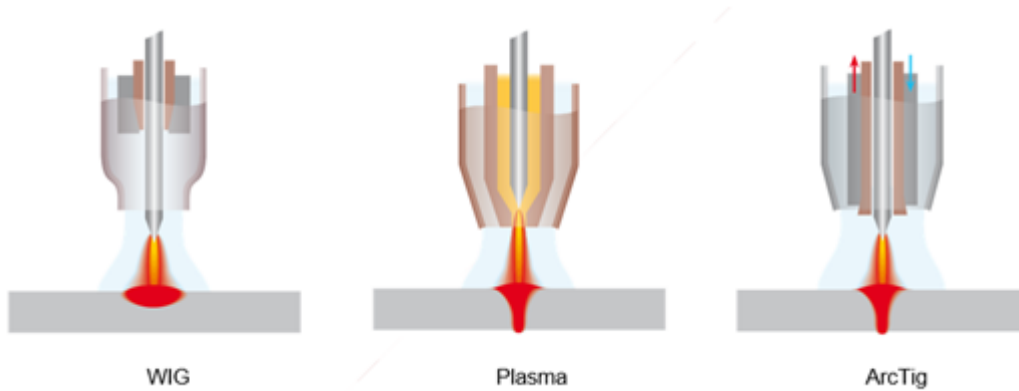


Figura 2.12: Penetração ARCTIG [10].

Esta solução foi uma das selecionadas para proceder aos ensaios práticos desta dissertação.

Está instalada com duas fontes de potência TransTig 5000 como mostra a figura 2.14 e com um alimentador de fio automático sobre um carro, figura 2.15.

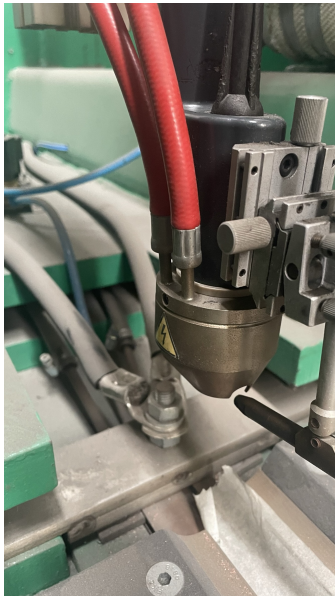


Figura 2.13: Tocha/Bocal ARCTIG.



Figura 2.14: Fonte de alimentação ARCTIG.

Comparada esta solução com uma solução SAW, o ARCTIG é mais limpa, não requerendo qualquer fluxo de proteção mas não tem a rentabilidade de uma máquina com a aplicação SAW com elevada taxa de penetração e enchimento.



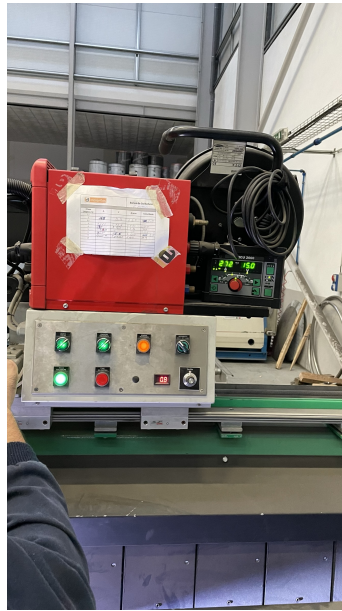


Figura 2.15: Alimentador de fio ARCTIG.

## 2.4 Aço Inoxidável - TP 304/304L - 1.4301/1.4307

O Ferro e a sua liga mais comum, o aço, do ponto de vista da corrosão são bastante pobres pois tendem a oxidar em contacto com o ar atmosférico, sofrendo corrosão facilmente em contacto também com qualquer ácido e mesmo o uso em altas temperaturas criam defeitos facilmente como degradação de propriedades mecânicas.

Com base no Ferro, a liga Ferro-Crómio (Fe-Cr) juntamente com a adição de algum Nickel (Ni), origina os comuns aços inoxidáveis, resistentes à oxidação quer por água ou ar atmosférico e com uma gama de temperatura de operação até aos 1100°C. Na figura 2.16 representa as posições do aço inoxidáveis em termos de tensão limite convencional de proporcionalidade a 0.2% com a *Pitting resistance equivalent (PRE)* e na figura 2.17 a extensão de rotura com PRE.

Para além das características mencionadas acima, o aço inoxidável apresenta boas qualidades mecânicas e boa acessibilidade na construção e transformação.

O mercado global do aço inoxidável atingiu o valor de USD 104.23 biliões em 2021 e é expectável que cresça cerca de 8.9% entre 2022 e 2030 [12].

No anexo 2 podemos encontrar um certificado de aço inoxidável 1.4307. Material base como este são de obrigatoriedade serem fornecido com certificado 3.1 de acordo com a EN 10204.

Segue na figura 2.19 as propriedades mecânicas do material usado nesta dissertação.

Yield strength vs. corrosion resistance

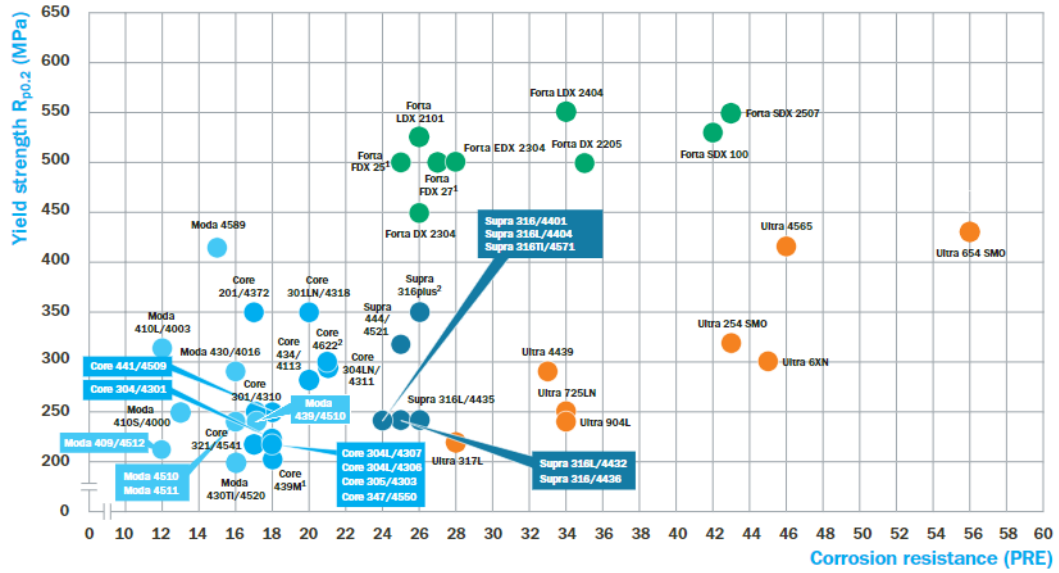


Figura 2.16: Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0.2% vs PRE [11].

Fracture elongation vs. corrosion resistance

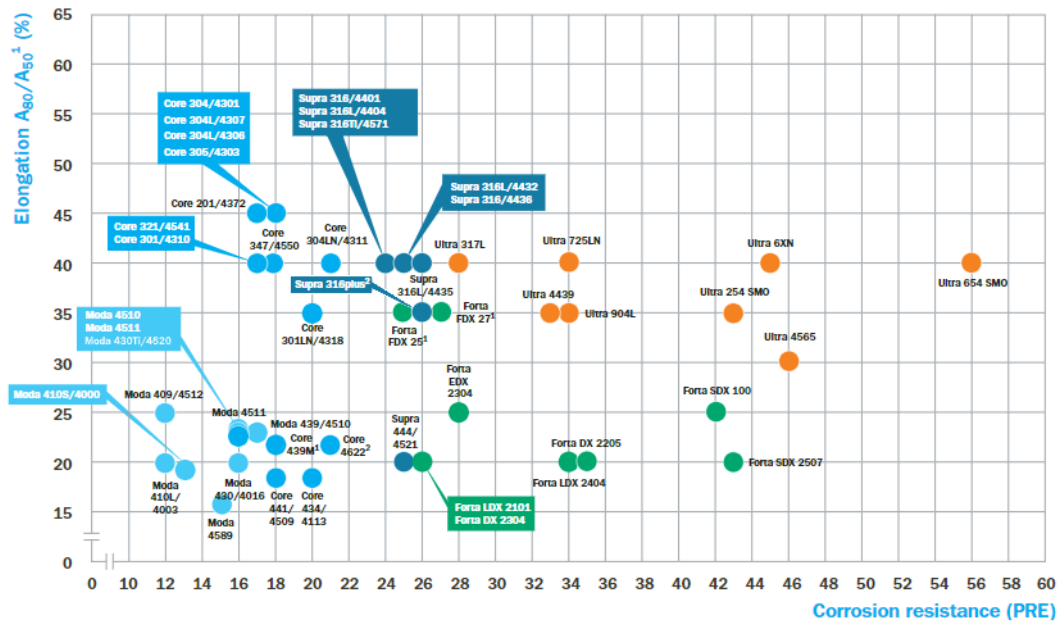


Figura 2.17: Extensão de rotura vs PRE [11].

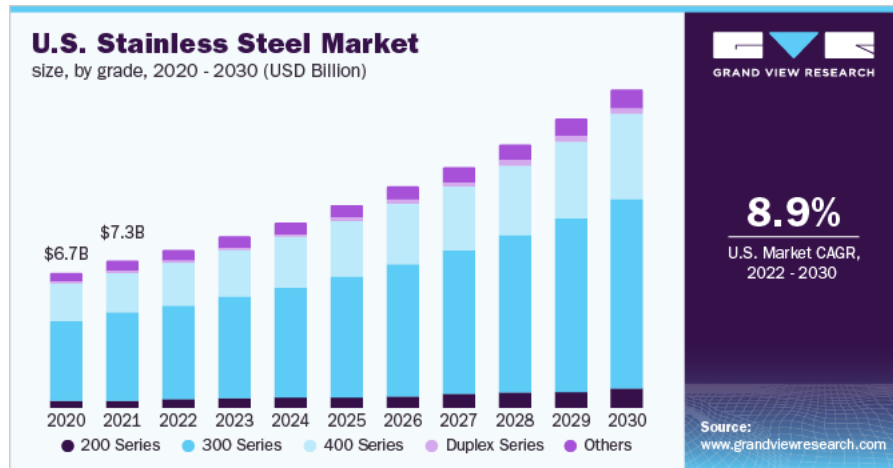


Figura 2.18: Mercado de aço inoxidável nos Estados Unidos da América [12].

Metric									
Outokumpu name	EN	ASTM		Product form	Yield strength R <sub>p0.2</sub> (MPa)	Yield strength R <sub>p1.0</sub> (MPa)	Tensile strength R <sub>m</sub> (MPa)	Elongation A (%)	Elongation A <sub>50</sub> (%)
		Type	UNS						
<b>Key products</b>									
Core 304/4301	1.4301	304	S30400	C	230	260	540-750	45	45
				H	210	250	520-720	45	45
				P	210	250	520-720	45	45
				R*	290	330	600	55	-
				B*	400	-	600	25	-
Core 304L/4307	1.4307	304L	S30403	C	220	250	520-700	45	45
				H	200	240	520-700	45	45
				P	200	240	500-700	45	45
				R*	280	320	580	55	-
				B*	400	-	600	25	-

Figura 2.19: Propriedades mecânicas TP 304/304L [11].

Intentionally blank page.

# Capítulo 3

## Análise de Deformações

### 3.1 Definição do provete

Para analisar as deformações definiu-se o provete igual para todas as análises e segundo a ISO 15614-1 - *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test*, as dimensões deste devem ser no mínimo 350x350 mm após soldadura sendo, as dimensões selecionadas de 400x400 mm com 4 mm de espessura.

Para que os provetes tenham a menor deformação possível estes foram cortados a laser, processo de corte térmico e rápido de modo a não criar tensões residuais antes de se efetuar qualquer soldadura.

Dividiram-se nas seguintes análises:

- Análise 1 - Soldadura com ARCTIG sem preparação de junta
- Análise 2 - Soldadura com ARCTIG com preparação de junta
- Análise 3 - Soldadura com TIG automático sem preparação de junta
- Análise 4 - Soldadura com TIG automático com preparação de junta
- Análise 5 - Soldadura com TIG manual sem preparação de junta
- Análise 6 - Soldadura com TIG manual com preparação de junta

Todas as análises foram realizadas apenas com um passe de soldadura, com rampas e na posição 1G.

A junta selecionada foi uma junta em v como demonstra a figura 3.1.

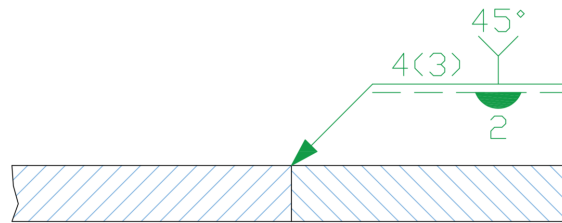


Figura 3.1: Detalhe de junta topo-a-topo.

## 3.2 Parâmetros de soldadura

A soldadura TIG depende dos seguintes parâmetros: intensidade, tensão, velocidade de soldadura, ângulo do eletrodo com a vertical, diâmetro do eletrodo, distância ao provete, diâmetro do material de adição e velocidade do material de adição.

Para todas as análises registaram-se os valores presentes na tabela 3.1:

Tabela 3.1: Parâmetros de soldadura.

Análise	Intensidade (A)	Tensão (V)	Velocidade de Soldadura mm/s	Entrega térmica kJ/m
1	276	15	4,34	572,35
2	276	15	4,32	572,35
3	260	13	3,62	560,22
4	260	13	3,62	560,22
5	140	16 a 18	2,30	620,87
6	140	18 a 21	2,14	785,05

Para cálculo da entrega térmica associada utilizou-se a equação abaixo segundo a EN 1011-1:2009, considerando o rendimento da soldadura TIG de 0.6.

$$Q = \eta \frac{Tensao \cdot Intensidade}{Velocidadedesoldadura} \quad (3.1)$$

Para obtenção dos valores de tensão das análises 3 e 4 foi necessário o uso de um voltímetro dado o equipamento ser antigo e não possuir nenhum display ou indicador com essa informação.

Os restantes componentes da soldadura são presentes na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Componentes de soldadura.

Análise	Ângulo do eletrodo com a vertical $\alpha$	Diâmetro do eletrodo (mm)	Distância do eletrodo ao provete (mm)
1	30	3,2	3,5
2	30	3,2	3,5
3	30	2	3,5
4	30	2	3,5
5	30	2	2 a 4
6	30	2	2 a 4

Tabela 3.3: Parâmetros do material de adição.

Análise	Diâmetro do material de adição (mm)	Velocidade do material de adição (mm/s)
1	1	22
2	1	22
3	1	8,7
4	1	8,7
5	2	3,5
6	2	2,9

### 3.3 Método de obtenção de deformações

Para medir as deformações no provete realizarão-se dois tipos de medição, um sobre uma superfície plana e medindo as deformações com recurso a um instrumento de medição, paquímetro e o segundo teste com um scanner 3D presente no laboratório de desenvolvimento de produto da Universidade de Aveiro. Este segundo teste apenas foi possível medir na análise 1.

Para a medição sobre a superfície plana seguiu-se a seguinte figura 3.2 como referência.

Sobre uma superfície retificada (mesa de uma prensa), posicionou-se o provete com a raiz da soldadura sobre um rasgo da mesa como mostra a figura 3.3 para poder medir as deformações.

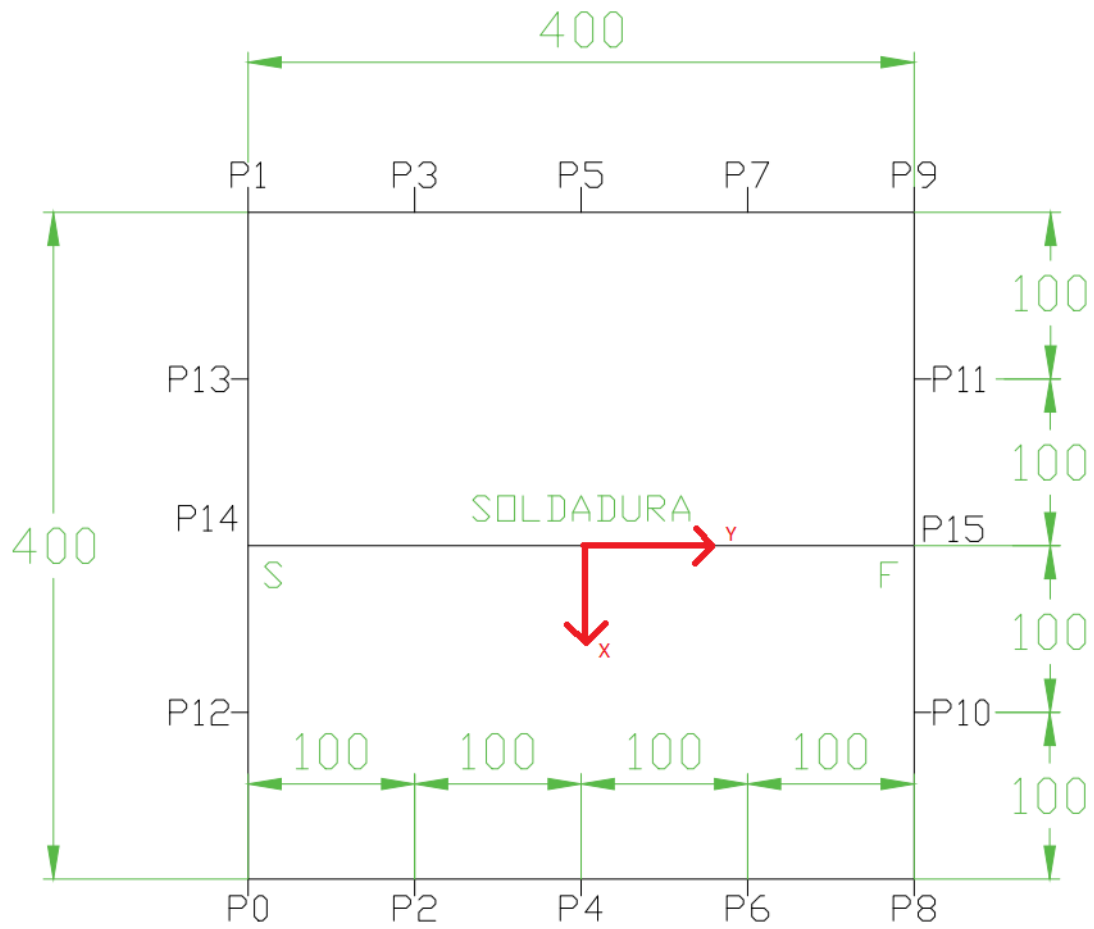


Figura 3.2: Pontos para medição manualmente.

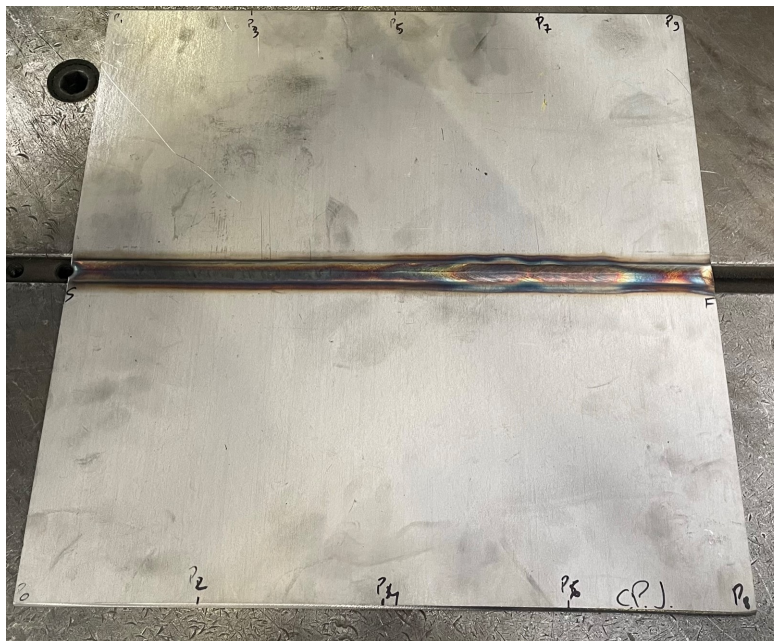


Figura 3.3: Posicionamento de provete.



## 3.4 Soldadura dos provetes

### 3.4.1 Análise 1 - Soldadura com ARCTIG sem preparação de junta

Os provetes desta análise foram soldados no "banco de soldadura" como mostra a figura 3.4. Esta solução é uma solução automática, equipada com um processo de soldadura TIG não convencional. O processo utilizado nesta solução é o ARCTIG como descrito na secção 2.3.



Figura 3.4: Banco de soldadura ARCTIG.

O sistema de amarração do provete é com o recurso a uma "prensa", normalmente designado por calcador como demonstra a figura 3.5. A pressão usada para fixar o provete é de  $350 \text{ kN/m}^2$  sendo que cada calcador tem uma área total de contacto de  $300.000 \text{ mm}^2$ . Esta força de amarração é resultado do uso de uma manga de ar comprimido que, quando expande, prensa a chapa a ser soldada, como demonstra a figura 3.6, fixando assim a chapa a ser soldada. Foi considerado que a pressão de ar comprimido é totalmente transmitida ao calcador.



Figura 3.5: Fixação tipo prensa ARCTIG.



Figura 3.6: Manga de ar comprimido ARCTIG.

Os provetes são apenas considerados válidos quando a soldadura em todo o cordão é contínua, com penetração total e sem defeitos. Na figura 3.7 e na figura 3.8 os provetes são inválidos sobre a condição de falta de penetração. O provete da figura 3.9 é também um provete inválido pois apresenta descontinuidade na soldadura.



Figura 3.7: Provete inválido - falta de penetração de soldadura.

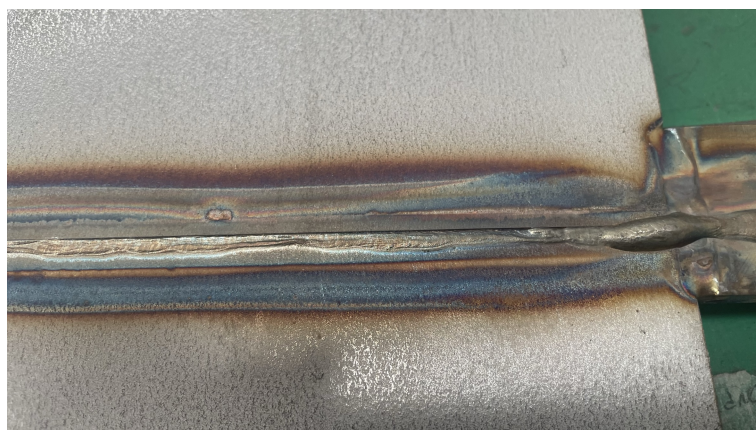


Figura 3.8: Provete inválido - falta de penetração de soldadura.

A figura 3.11, apresenta a penetração do cordão ao longo da soldadura.



Figura 3.9: Provete inválido - descontinuidade na soldadura.



Figura 3.10: Provete válido - soldadura contínua com penetração total.

### 3.4.2 Análise 2 - Soldadura com ARCTIG com preparação de junta

Para a soldadura dos provetes da análise 2, seguiu-se os mesmos parâmetros de soldadura, apenas alterando a preparação de junta como mostra a figura 3.12.



Figura 3.11: Penetração do cordão de soldadura ARCTIG, análise 1.



Figura 3.12: Junta utilizada na Análise 2.

A figura ?? apresenta o provete validado utilizado nesta análise.

A figura 3.13 apresenta com penetração total.

### 3.4.3 Análise 3 - Soldadura com TIG automático sem preparação de junta

Esta análise foi realizada num banco mais antigo com um processo de soldadura TIG convencional. A figura 3.14 demonstra o banco utilizado.

A análise neste banco foi realizada com apenas um calcador ativo. Isto significa que apenas uma parte deste provete está fixa durante a soldadura, deixando a outra

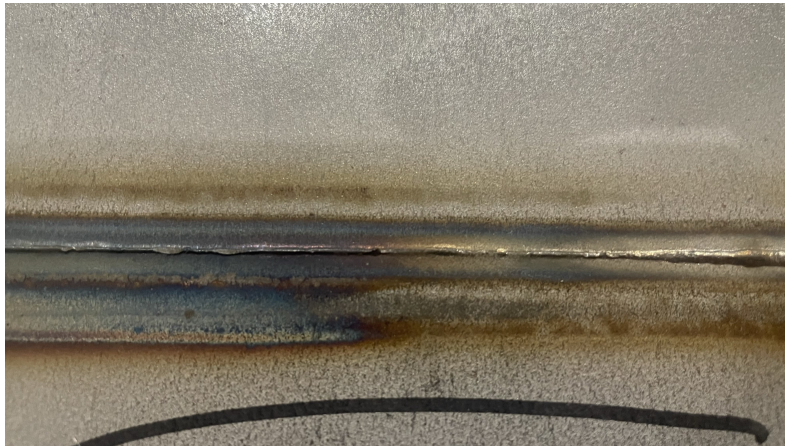


Figura 3.13: Penetração do cordão de soldadura ARCTIG, análise 2.

parte livre para deformação.

Neste banco como também é possível ver na figura 3.15, a tocha TIG utilizada é uma tocha convencional.



Figura 3.15: Tocha TIG convencional.



Figura 3.14: Banco de soldadura utilizado nas análise 3 e 4.

Sendo uma tocha convencional com um bocal convencional, esta permite que neste banco se consiga também ter a mesma distância necessária para que ocorra o arco elétrico para a soldadura. O mesmo não é possível no banco anterior, para além de não funcionar com apenas um calcador ativo, a dimensão do bocal não permite que, com um calcador levantado a tocha esteja à distância mínima para que ocorra o arco elétrico para se iniciar a soldadura.

A fonte de potência deste banco é também bastante mais baixa, podendo nesta máquina soldar apenas espessuras até 4 mm sem preparação de junta. A figura 3.16 apresenta a fonte de potência utilizada neste banco de soldadura. A fonte de potência é um aparelho Fronius TransTig TT330 de 1997.



Figura 3.16: Aparelho de soldadura TIG convencional.

O cobre juntas deste equipamento é também diferente do anterior como é possível ver na figura 3.17 e na figura 3.18. O rasgo deste cobre juntas é mais alto, permitindo assim que o gás de proteção (Azoto) consiga proteger melhor a soldadura, ao contrário do cobre juntas que está no banco de soldadura com a máquina ARCTIG.

O sistema de calcadores neste banco é o mesmo utilizado na duas análises anteriores (análise 1 e 2), sendo apenas a área de contacto de  $30.000 \text{ mm}^2$  em cada calcador.

Com a conclusão da soldadura de imediato o provete foi libertado para que as deformações possam ocorrer com a maior liberdade possível. A figura 3.21 representa o provete após soldadura.

Nesta análise não foi possível obter penetração total na soldadura, sendo considerado válido o provete que apresente soldadura regular e continua. A figura 3.20 apresenta a face oposta à soldadura, onde é possível visualizar que não se obteve penetração total da soldadura.



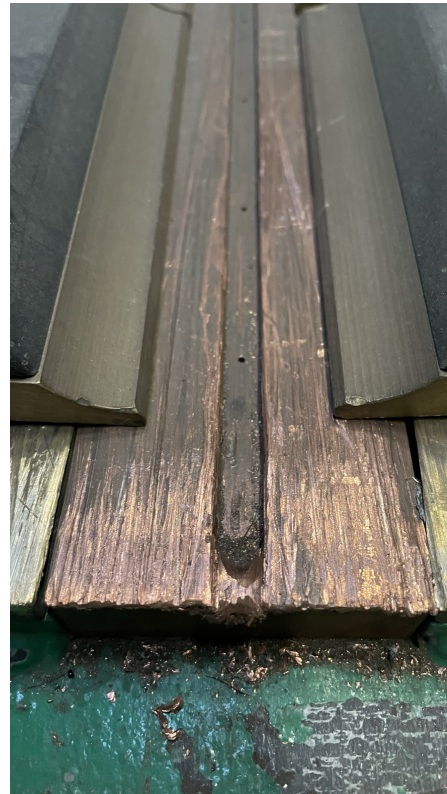


Figura 3.17: Cobre juntas análise 3.      Figura 3.18: Cobre juntas análise 1 e 2.

#### 3.4.4 Análise 4 - Soldadura com TIG automático com preparação de junta

No seguimento da análise anterior, e mantendo os mesmos parâmetros utilizados na análise anterior (análise 3), o provete desta teve a mesma preparação de junta que a análise 2. A figura 3.21 apresenta o provete antes de ser soldado.

A preparação de junta teve impacto na penetração do cordão, embora não seja constante ao longo de todo o cordão, este tem zonas com penetração total como é possível visualizar na figura 3.22.

#### 3.4.5 Análise 5 - Soldadura com TIG manual sem preparação de junta

Nesta análise 5, os provetes foram soldados de forma manual recorrendo também ao processo ao TIG.

Sendo o processo todo manual, soldado à mão livre, torna-se uma soldadura mais difícil de controlar o calor introduzido no provete, o que poderá originar

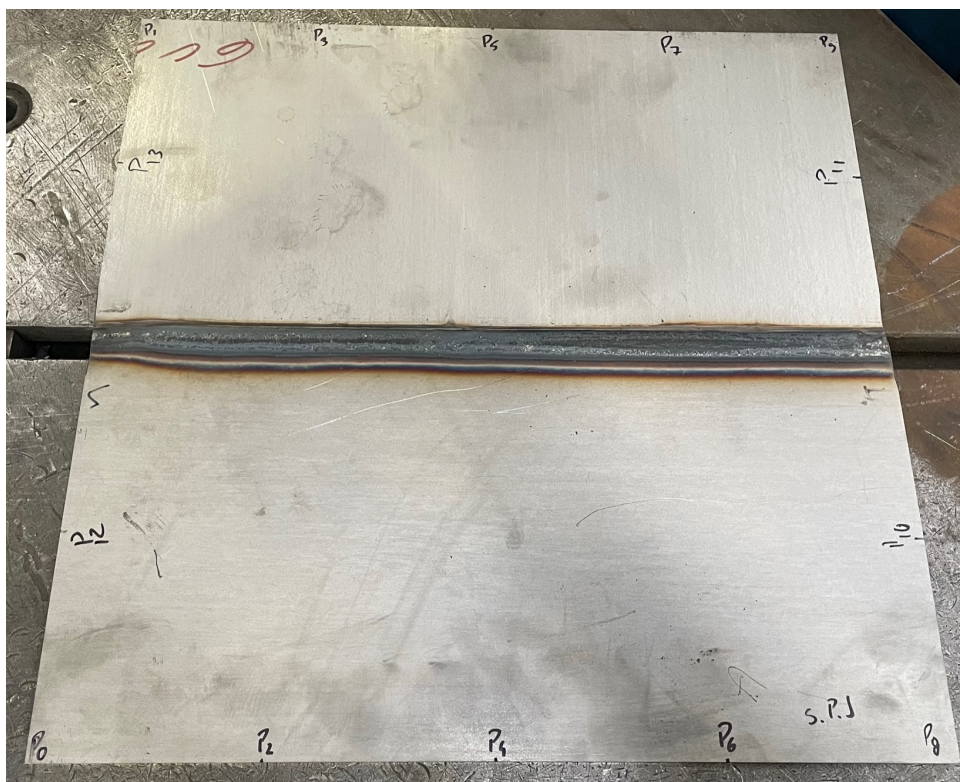


Figura 3.19: Provete após soldadura com máquina TIG convencional.



Figura 3.20: Penetração do cordão se soldadura TIG automático, análise 3.

maiores deformações.

Não se utilizou qualquer tipo de amarração, estando assim o provete totalmente livre. Utilizou-se também um cobre juntas com gás de proteção, Azoto, como utilizado nas restantes análises. O cobre juntas é mostrado na figura 3.23.



Figura 3.21: Provete antes de soldadura com calcador levantado.

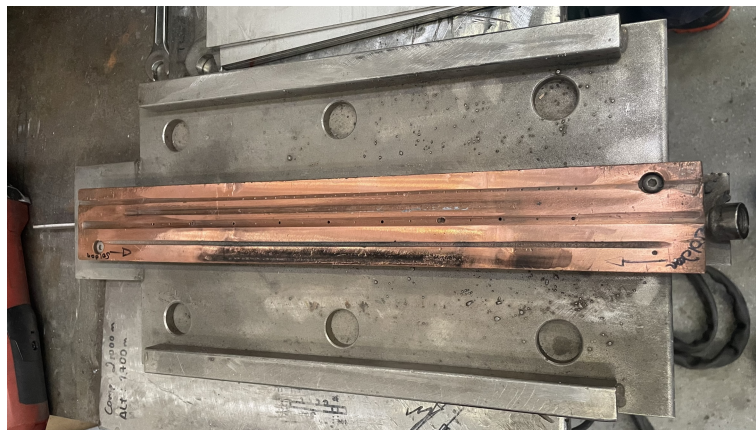


Figura 3.23: Cobre juntas manual.

Para esta análise foi usado um aparelho Fronius TransTig 3000 de 2018.

Para a velocidade de arame, considerou-se que a adição deste no processo era constante, desta forma com o comprimento consumido e com o tempo de soldadura é possível assim aproximar a velocidade a que é consumido o arame. As figuras 3.24 e 3.25 mostram o provete após soldadura onde é bastante visível na segunda figura a deformação deste.



Figura 3.22: Penetração do cordão de soldadura TIG automático, análise 4.



Figura 3.24: Provete após soldadura manual.

Sendo um processo manual e com apenas uma passe de soldadura é difícil obter penetração total, na figura 3.26 é apresentada o lado oposto à soldadura.

O efeito de sobre-espessura de soldadura também é bastante visível, como apresenta a figura 3.27, onde o cordão de soldadura ficou bastante saliente.

### 3.4.6 Análise 6 - Soldadura com TIG manual com preparação de junta

Nesta análise, seguindo os procedimentos usados na análise 5, o provete desta tem preparação de junta igual à utilizada na análise 2.

As figuras 3.28 e 3.29 mostram o provete após soldadura onde é bastante visível na segunda figura a deformação deste.

À semelhança da análise anterior também não foi possível obter penetração



Figura 3.25: Provete após soldadura manual com deformação visível.



Figura 3.26: Penetração do cordão se soldadura TIG manual, análise 5.



Figura 3.27: Sobre-espessura de soldadura, análise 5.

total neste provete. A figura 3.30 apresenta a face oposta à soldadura.

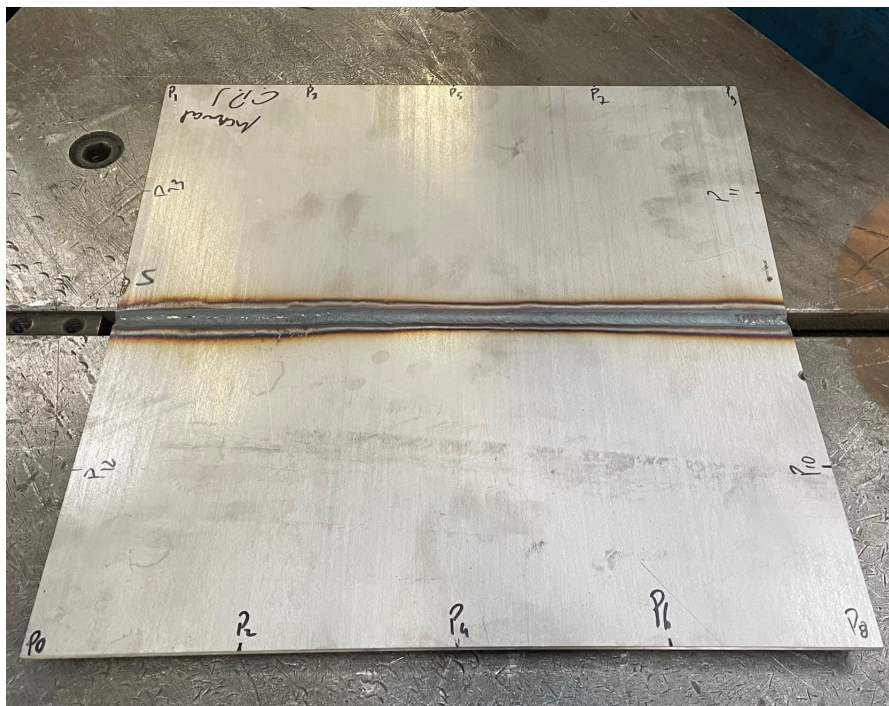


Figura 3.28: Provete após soldadura manual.



Figura 3.29: Provete após soldadura manual com deformação visível na análise 6.

Ao contrário da análise anterior, com a preparação de junta, a sobre-espessura de soldadura foi bastante menor, ficando o cordão à face com a superfície superior do provete, como demonstra a figura 3.31.



Figura 3.30: Penetração do cordão de soldadura TIG manual, análise 6.



Figura 3.31: Sobre-espessura de soldadura. análise 6.

### 3.5 Resultados

Com os provetes soldados e como referido no capítulo anterior, nem em todos os provetes foi possível obter penetração total na junta. A tabela 3.4 apresenta os valores no final de cada soldadura.

Tabela 3.4: Penetração do cordão de soldadura das análises 1 a 6.

	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5	Análise 6
Penetração (mm)	4.2	4.35	3.75	3.9	1.5	3

Na análise 1 foi possível efetuar o scanner 3D do provete.

Para a medição com recurso a nuvem de pontos, foi necessário pintar o provete de branco fosco como mostra a figura 3.32.



Figura 3.32: Provet pintado com branco fosco.

Este branco fosco é resultado da utilização do líquido revelador utilizado em ensaios de líquidos penetrantes da ISO 3452-1:2013. A necessidade de pintar o provete de branco surge do facto do aço inoxidável ser um material refratário, impedindo assim uma boa leitura do scanner quando o material se encontra no estado natural, seja laminado a quente ou a frio.



Sendo o provete uma superfície fina, para que o scanner conseguisse medir a profundidade do mesmo foi necessário utilizar pontos de referência, discos brancos e pretos. A figura 3.33 mostra o provete com os pontos de referência.

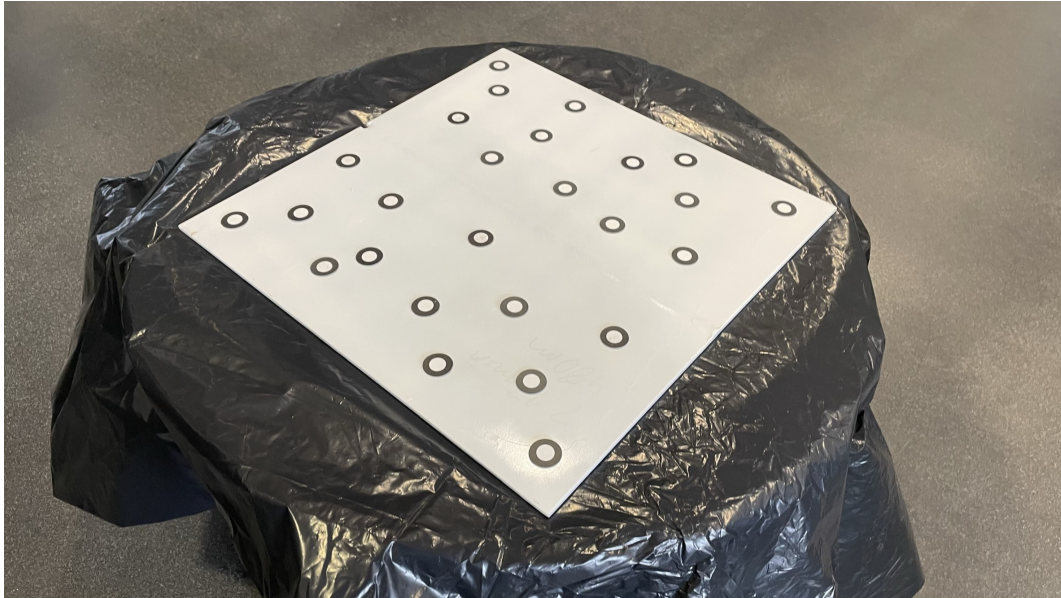


Figura 3.33: Provete Pintado com pontos de referência.

A nuvem de pontos recolhida pelo scanner 3D é apresentada na figura 3.34.

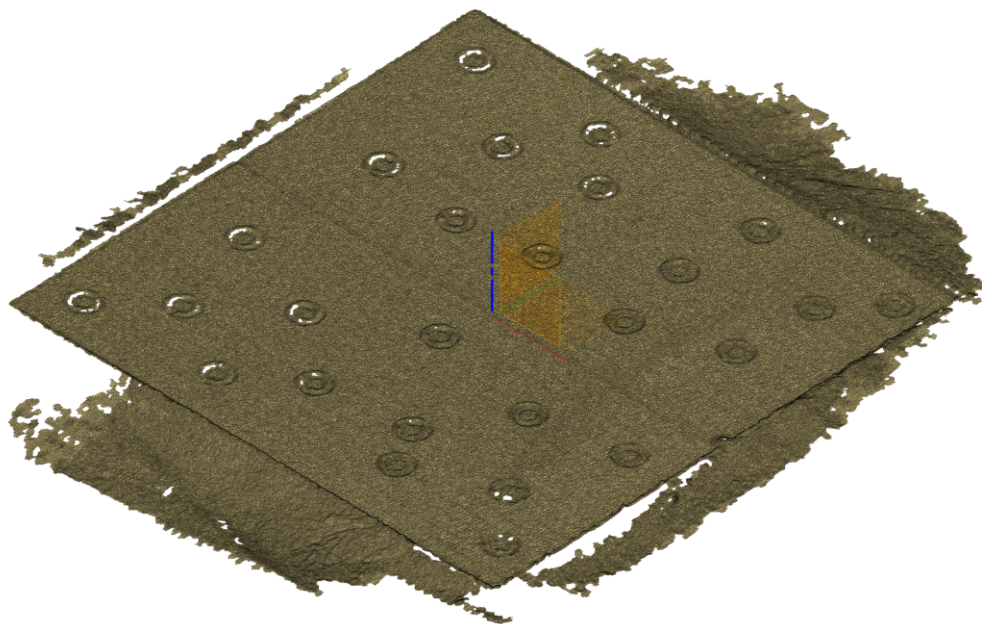


Figura 3.34: Nuvem de pontos resultante do scanner 3D.

Para interpretação desta nuvem de pontos recorreu-se ao *software Autodesk Fusion 360*.

O primeiro passo passou por posicionar a nuvem no espaço e eliminar os pontos que não fazem parte do provete como demonstra a figura 3.35, ficando com as dimensões de 394x380 mm.

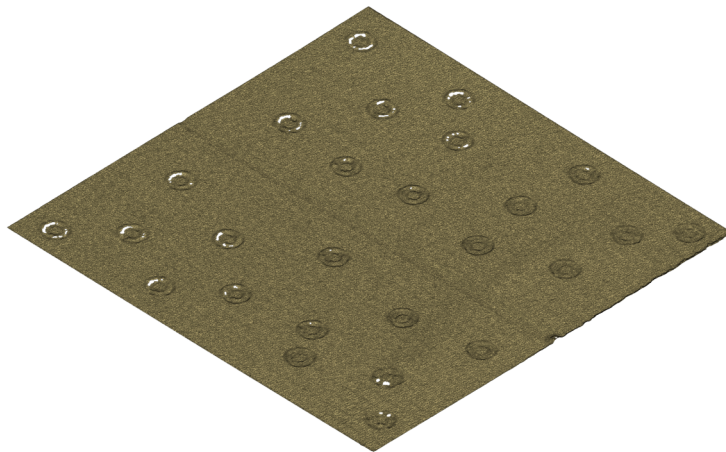


Figura 3.35: Nuvem de pontos com partes adjacentes eliminadas.

Após a limpeza da nuvem de pontos é necessário preencher os espaços remanescentes abertos, criando uma nuvem mais uniforme como demonstra a figura 3.36.

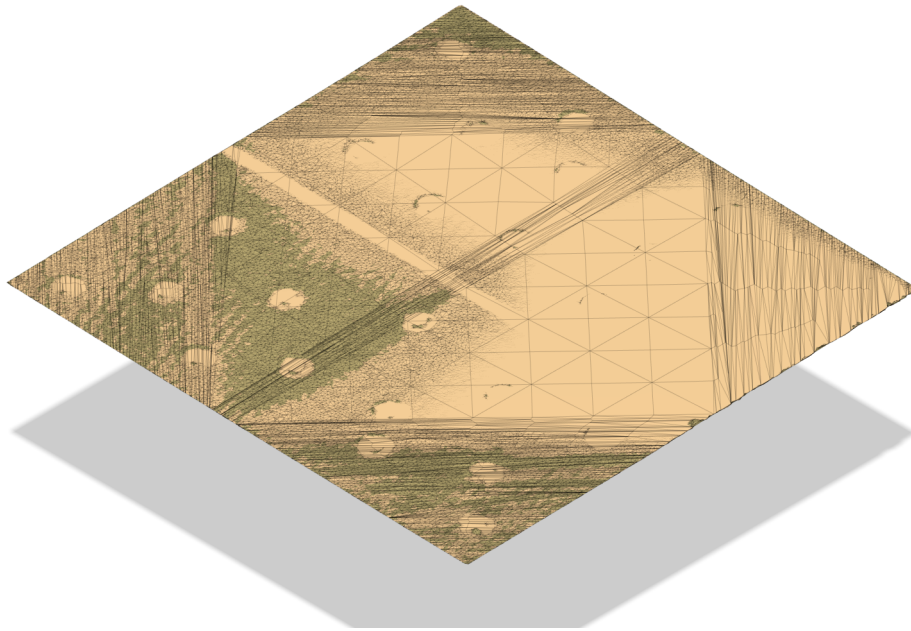


Figura 3.36: Nuvem completa.

Com a nuvem completa, e considerando a superfície superior do provete, mediu-se a diferença nos pontos mais distantes nos 10 mm centrais como demonstra a figura 3.37 e a figura 3.38.



Figura 3.37: Deformação 1 - Autodesk Fusion 360.

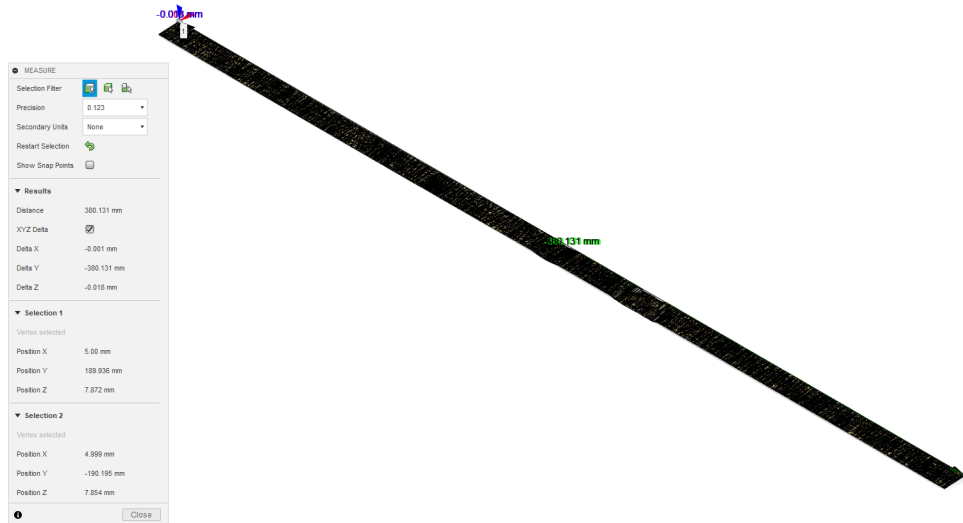


Figura 3.38: Deformação 2- Autodesk Fusion 360.

Da primeira medição podemos observar que existe uma diferença  $\Delta Z$  de 0,07 mm e na segunda medição uma diferença de  $\Delta Z$  de 0,018 mm.

Seguindo o método de obtenção de deformações descrito na secção 3.3, a tabela 3.5 apresenta os valores após soldadura de todas as análises.

Tabela 3.5: Deformações de todas as análises.

	x	y	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5	Análise 6
P0	200	-200	3.96	4.01	4.16	8.41	6.67	17.45
P1	-200	-200	3.9	4.05	5.35	4.32	6.62	5.53
P2	200	-100	4.08	5.42	4.45	5.45	5.58	20.1
P3	-200	-100	3.91	6.02	4.63	4.55	5.26	10.38
P4	200	0	4.04	5.91	4.9	4.16	4	21.56
P5	-200	0	4.01	6.68	4.18	5.75	4.67	7.42
P6	200	100	4.01	5.16	6.01	4.6	4.96	21.14
P7	-200	100	4.1	6.06	4.13	8.16	4.63	8.26
P8	200	200	4.02	4.05	6.89	6.71	6.45	18.84
P9	-200	200	4.06	4.01	4.13	10.72	6.35	8.04
P10	100	200	4.12	4.46	8.41	8.18	12.11	11.51
P11	-100	200	4.15	4.11	5.82	10.73	12.59	6.32
P12	100	-200	4.09	4.27	6.65	8.7	13.43	9.83
P13	-100	-200	4.13	4.18	6.78	4.45	13.81	4.91
P14	0	200	4	4	4	4	20.96	4
P15	0	-200	4	4	4	4	18.81	4

Com os resultados da tabela acima foi possível criar gráficos que demonstrem

as deformações. Para estes gráficos foi necessário centrar os pontos da tabela 3.5. Esta análise apenas teve em consideração os pontos das extremidades do provete, os pontos P0, P1, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 e P15. Assumindo que os pontos da soldadura P14 e P15 não se deformarão e são pontos centrais na maioria das análises.

Tabela 3.6: Deformação análise 1.

Pontos	P0	P12	P14	P13	P1
Deformação (mm)	-0.04	0.09	0	0.13	-0.1
Pontos	P8	P10	P15	P11	P9
Deformação (mm)	0.02	0.12	0	0.15	0.06

O gráfico da figura 3.39 resultante da tabela 3.6, deformações nas extremidades do provete e da figura 3.40, deformação nos três planos da análise 1. A maior deformação no provete é de apenas 0.15 mm.

A não deformação deste provete pode ser proveniente do bom sistema de amarração do equipamento.

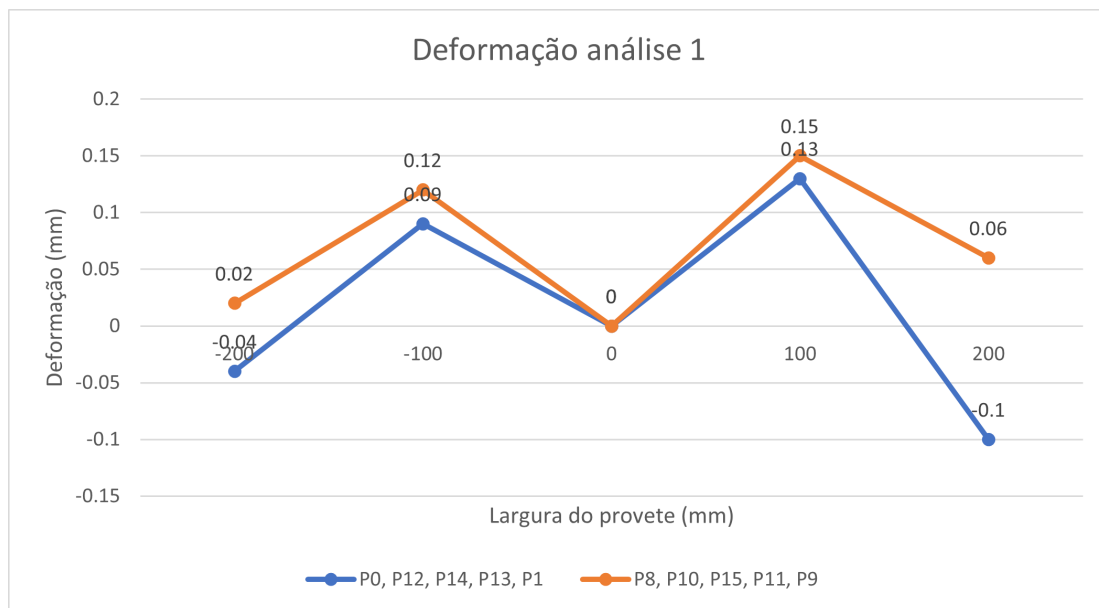


Figura 3.39: Resultado deformação transversal análise 1, centro da soldadura ponto (0,0).

Na análise 2 como se pode verificar na tabela 3.7 e nos gráficos da figura 3.41 e figura 3.42, o provete desta análise sofreu uma deformação mais visível, sendo nas extremidades a maior deformação de 0.46 mm.

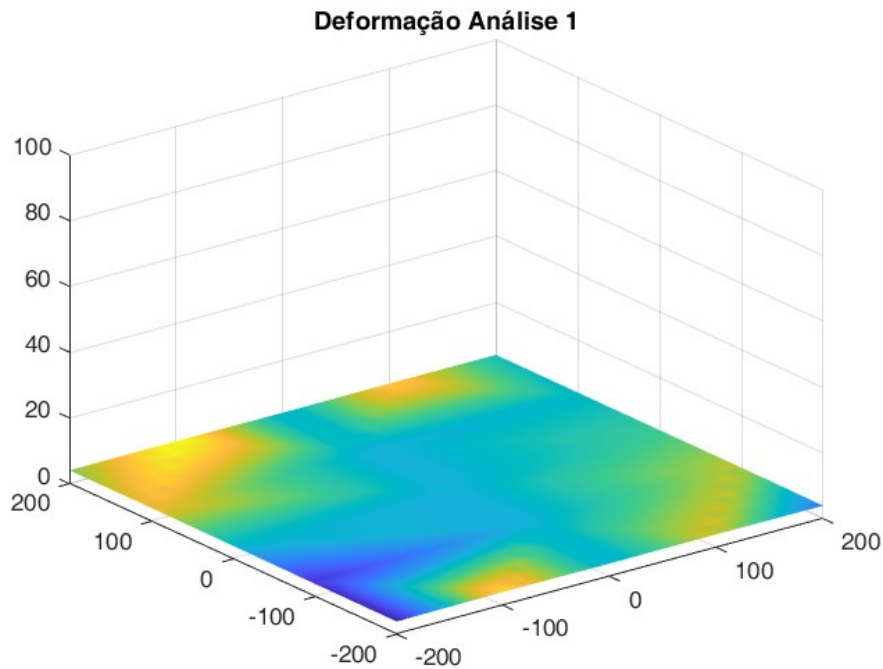


Figura 3.40: Resultado da deformação análise 1 superfície.

Tabela 3.7: Deformação análise 2.

Pontos	P0	P12	P14	P13	P1
Deformação (mm)	0.01	0.27	0	0.18	0.05
Pontos	P8	P10	P15	P11	P9
Deformação (mm)	0.05	0.46	0	0.11	0.01

Na análise 3 com o intuito de se obter maiores deformações, este provete foi soldado com um dos calcadores aberto, sem pressão no provete. No gráfico da figura 3.43 é possível observar que transversalmente já se obteve deformações com 4.41 mm. Da análise do gráfico da figura 3.44 podemos verificar que este deformou também nos três planos.

Da análise 4, o mesmo procedimento que a análise 3 mas com preparação de junta apresenta os resultados na tabela 3.9 originando o gráfico da figura 3.45 e o gráfico da figura 3.46. Comparando com a análise anterior (análise 3), o efeito de preparação de junta levou a que o provete se deformasse mais, sendo a maior deformação de 6.72 mm, cerca de 2.3 mm mais.

O gráfico de superfície demonstra também que existe deformação nos três planos.

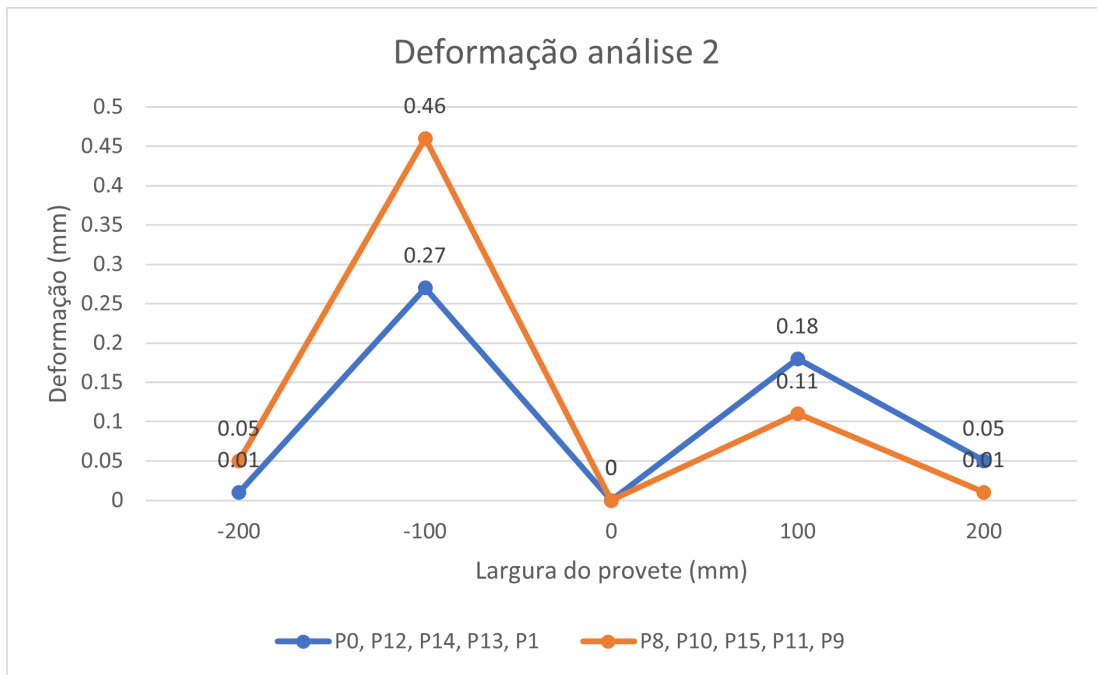


Figura 3.41: Resultado deformação transversal análise 2, centro da soldadura ponto (0,0).

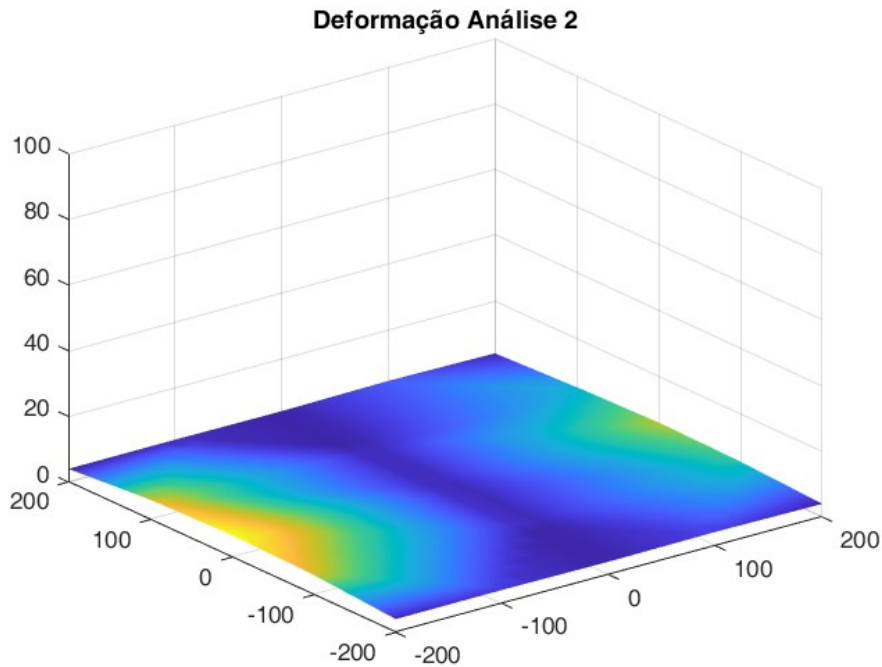


Figura 3.42: Resultado da deformação análise 2 superfície.

Tabela 3.8: Deformação análise 3.

Pontos	P0	P12	P14	P13	P1
Deformação (mm)	0.16	2.65	0	2.78	1.35
Pontos	P8	P10	P15	P11	P9
Deformação (mm)	2.89	4.41	0	1.82	0.13

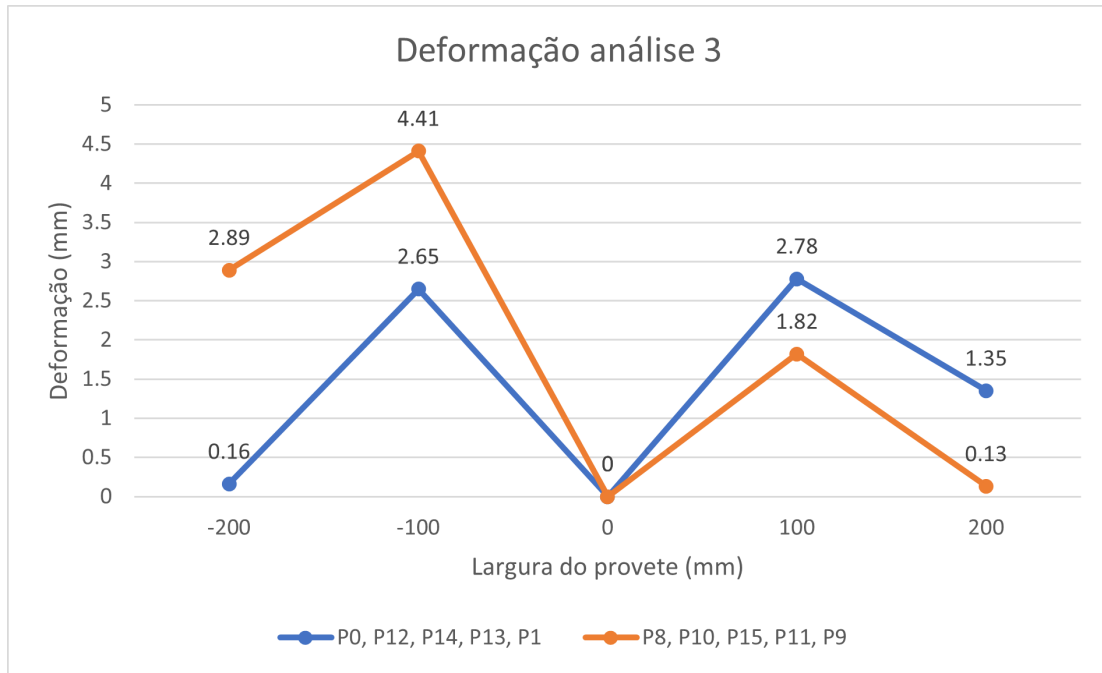


Figura 3.43: Resultado deformação transversal análise 3, centro da soldadura ponto (0,0).

Tabela 3.9: Deformação análise 4.

Pontos	P0	P12	P14	P13	P1
Deformação (mm)	4.41	4.7	0	0.45	0.32
Pontos	P8	P10	P15	P11	P9
Deformação (mm)	2.71	4.18	0	6.73	6.72

Tabela 3.10: Deformação análise 5.

Pontos	P0	P12	P14	P13	P1
Deformação (mm)	-14.29	-7.53	0	-7.15	-14.34
Pontos	P8	P10	P15	P11	P9
Deformação (mm)	-12.36	-6.7	-2.15	-6.22	-12.46

Nas duas últimas análises, análise 5 e 6 os provetes foram soldados manualmente. Nas tabelas 3.10 e 3.11 encontram-se os resultados das deformações. Na



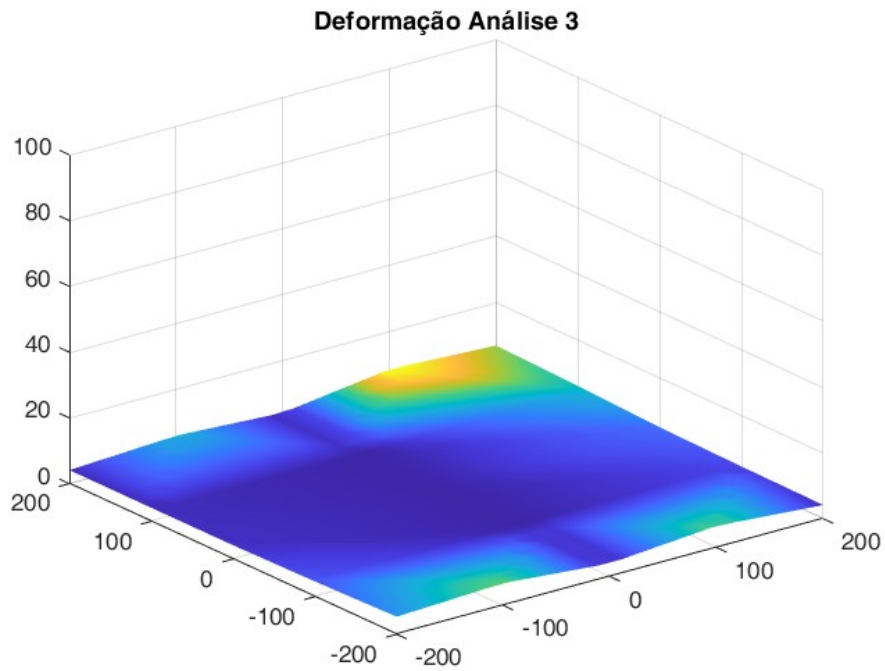


Figura 3.44: Resultado da deformação análise 3 superfície.

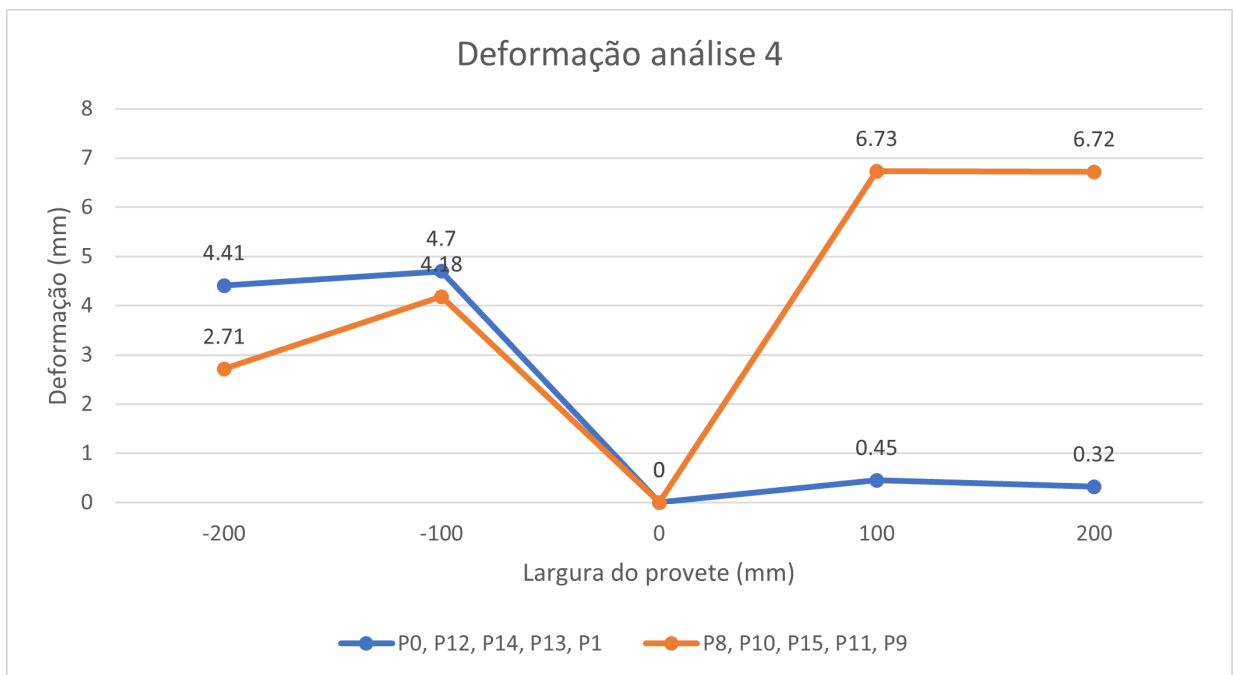


Figura 3.45: Resultado deformação transversal análise 4, centro da soldadura ponto (0,0).

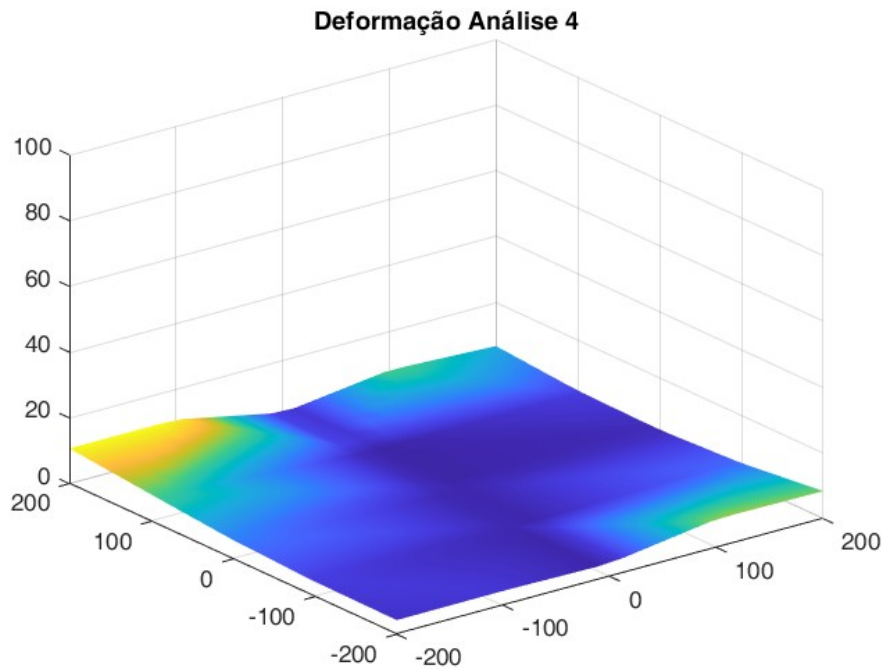


Figura 3.46: Resultado da deformação análise 4 superfície.

Tabela 3.11: Deformação análise 6.

Pontos	P0	P12	P14	P13	P1
Deformação (mm)	13.45	5.83	0	0.91	1.53
Pontos	P8	P10	P15	P11	P9
Deformação (mm)	14.84	7.51	0	2.32	4.04

figura 3.47 e na figura 3.48 podemos encontrar graficamente a deformação da análise 5. Esta análise teve uma deformação bastante diferente de todas as análises anteriores como é possível verificar a maior deformação foi na linha de soldadura, tendo nas extremidades do provete deformações com 14.34 mm.

Na análise 6, nas figura 3.49 e 3.50 é apresentada a deformação do provete onde é possível visualizar o efeito do uso de preparação de junta. A deformação é simétrica à análise anterior. Este fator simetria pode ser proveniente de na superfície onde se efetuou a soldadura ter resultado uma sobre-espessura de soldadura maior, estando o calor a ser incidido nesta superfície sem haver penetração.

Com os resultados projetados, a figura 3.51 apresenta as deformações nas secções iniciais da soldadura e a figura 3.52 a secção no final da soldadura.

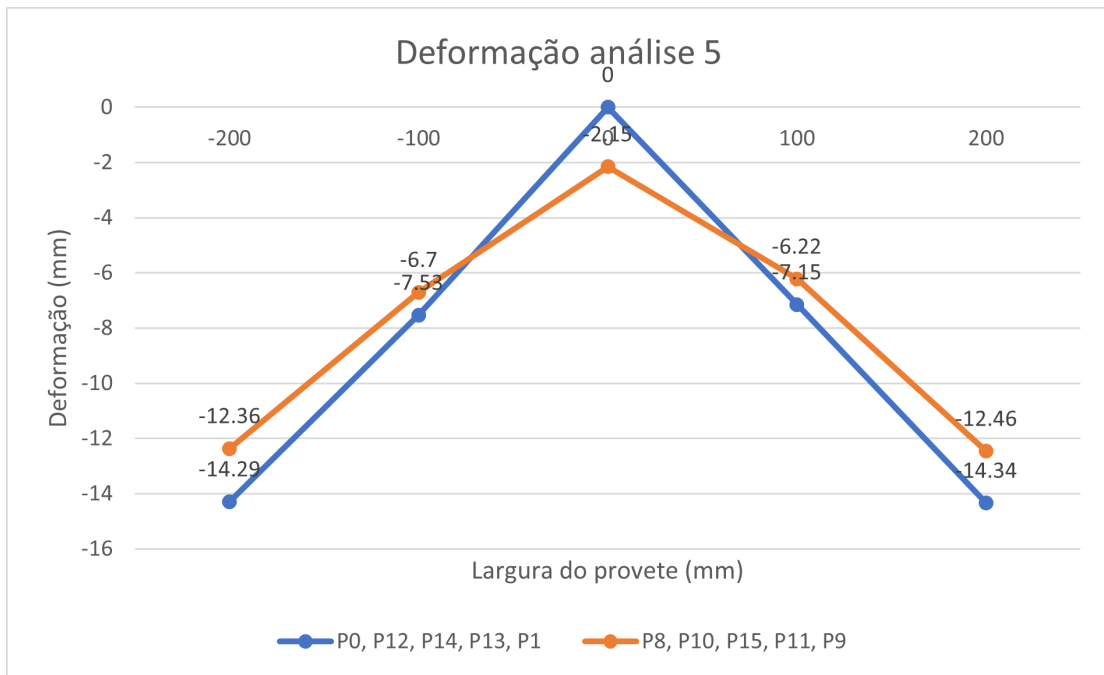


Figura 3.47: Resultado deformação transversal análise 5, centro da soldadura ponto (0,0).

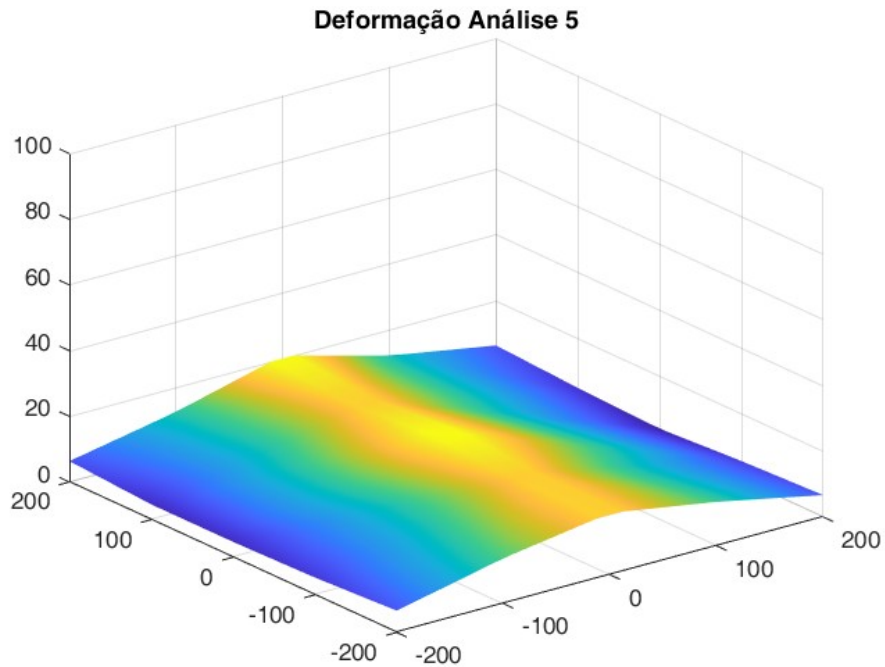


Figura 3.48: Resultado da deformação análise 5 superfície.

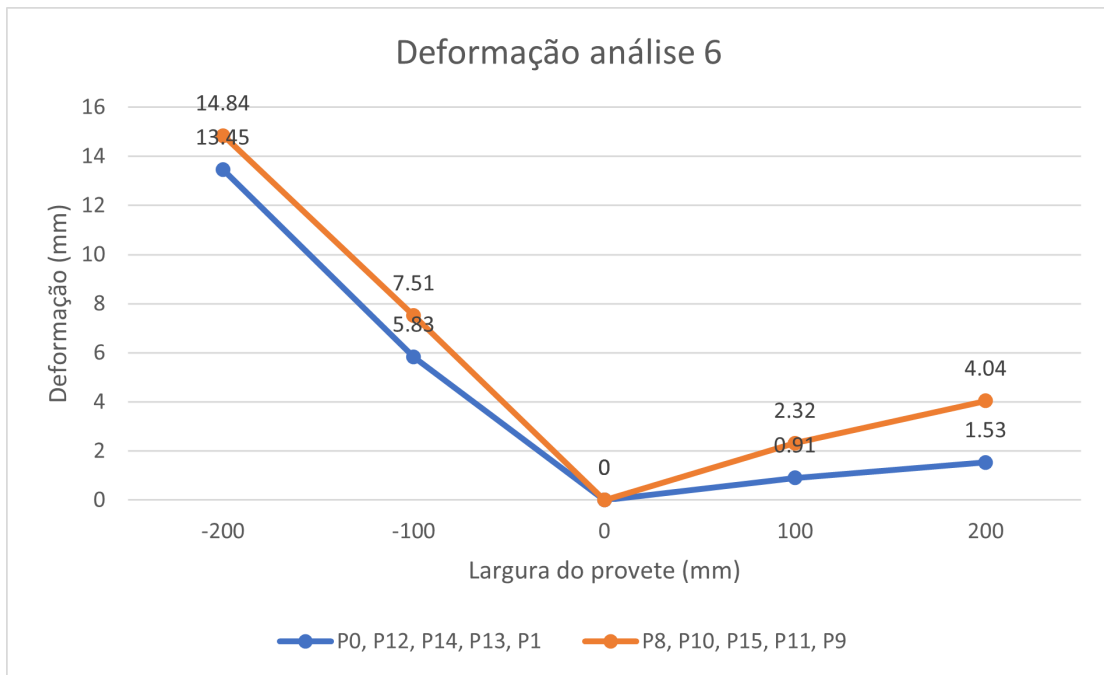


Figura 3.49: Resultado deformação transversal análise 6, centro da soldadura ponto (0,0).

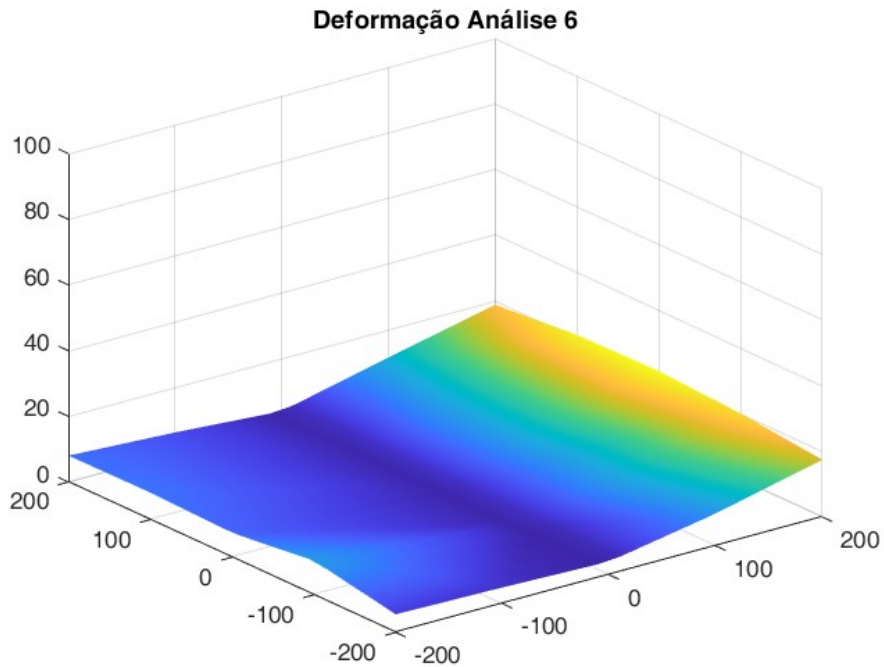


Figura 3.50: Resultado da deformação análise 6 superfície.

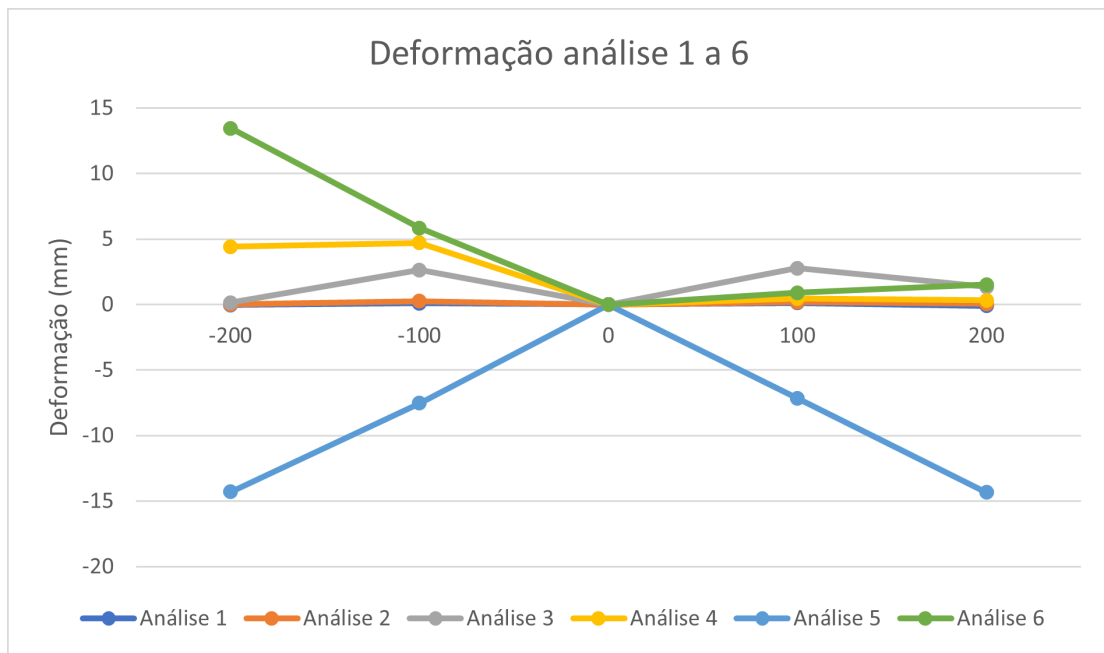


Figura 3.51: Resultado deformação transversal análise 1 a 6, secção inicial da soldadura e centro da soldadura ponto (0,0).

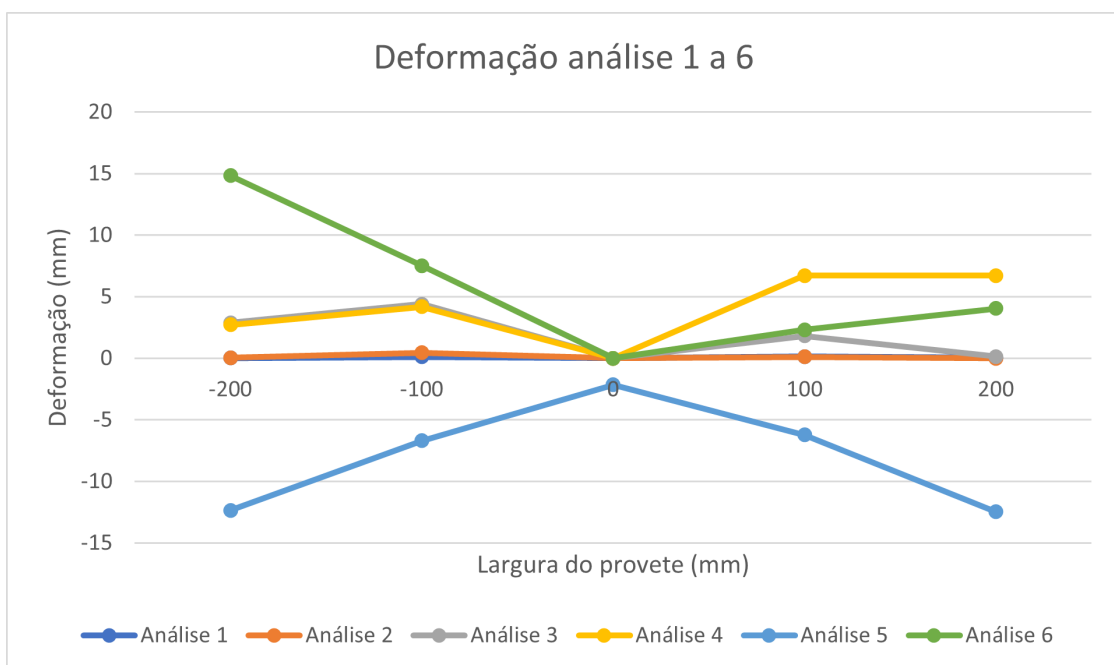


Figura 3.52: Resultado deformação transversal análise 1 a 6, secção final da soldadura e centro da soldadura ponto (0,0).

Intentionally blank page.

# Capítulo 4

## Conclusão

Com todos os resultados podemos concluir que apenas uma análise não teve deformação, a análise 1. Este resultado pode dever-se ao facto do sistema de amarração ser eficaz para o ponto de vista de produção.

Na análise 2 já foi possível observar deformação longitudinal.

Comparando as duas primeiras análises é possível concluir que o efeito de junta originou deformações.

A análise 3, já com mais liberdade para deformações, o resultado demonstrou que se obteve mais deformação neste banco de soldadura, sendo esta deformação do tipo *buckling*. Da análise 4, mais uma vez, o efeito de preparação de junta influenciou as deformações como era expectável originando deformação do tipo *buckling*.

Na análise 5 e 6 foi possível obter deformações em ambas as análises e o efeito de preparação de junta fez com que a tendência das deformações fossem simétricas, como foi possível observar nos gráficos, resultando em ambas as análises deformações do tipo transversal.

Em suma podemos concluir o seguinte:

- As análise 1 e 2 foram as análises com menor deformação, podendo esta ser justificada pela soldadura neste provete ter sido mais rápida, logo menos sujeita a calor, contudo o uso de preparação de junta leva a origem de deformação mesmo que seja pequena comparada com as restantes análises.
- Da análise 3 e 4 é notável quando comparada com a análise 1 e 2 o efeito de maior exposição ao calor de soldadura, tendo sido uma soldadura mais lenta. As análises com o calcador levantado, como era de esperar, apresentou maiores deformações.
- Da análise 5 e 6 é ainda mais evidente as consequências de menor velocidade

de soldadura e agravando mais a deformação o facto de não haver qualquer amarração do provete e a soldadura ser manual.



# Capítulo 5

## Trabalho Futuro

Na continuidade do trabalho realizado nesta dissertação seria interessante estudar o efeito de outros processos de soldadura, outro tipo de junta, materiais e combinação de materiais. Uma das aplicações mais utilizadas em fábrica é a soldadura MIG/MAG em juntas de canto. Este tipo de soldadura pode também ser automático, normalmente é utilizado um braço robótico, possibilitando assim também o estudo do mesmo processo mas em diferentes posições de soldadura.

Um dos pontos que teve impacto neste trabalho foi o facto de alguns provetes terem sido soldados com amarração. Seria também vantajoso estudar o efeito e a otimização deste ponto em processos mais restritos em deformação. Podem ser analisados desde tempo de arrefecimento com a peça sobre amarração, como também a libertação da peça deve ser progressiva. Deve também ser estudado o arrefecimento por um fluido juntamente com a libertação da peça, e analisar o impacto que teria na deformação da mesma e na qualidade da soldadura.

Intentionally blank page.

# Bibliografia

- [1] “Análise setorial da indústria metalomecânica,” Oct 2022. <https://bpstat.bportugal.pt/conteudos/publicacoes/1313> Accessed: 2022-10-21.
- [2] “Vendas e serviços-metalomecânica-tva,” Oct 2022. <https://bpstat.bportugal.pt/serie/12638654> Accessed: 2022-10-21.
- [3] N. M. Yukio Ueda, Hidekazu Murakawa, *Welding Deformation and Residual Stress Prevention*. Book Aid International, 1 ed., 211.
- [4] “Basics of distortion in welding.” <https://technoweld.com.au/2019/07/30/basics-of-distortion-in-welding/> Accessed: 2022-01-03.
- [5] A. B. Pereira, *Tecnologia dos Processos de Ligação*.
- [6] “What is tig welding : Principle, working, equipment’s, applications, advantages and disadvantages.” <https://www.mech4study.com/production-engineering/what-is-tig-welding-principle-working-equipment-application-advantages-and-dis.html/> Accessed: 2022-10-24.
- [7] K. Weman, *Welding processes handbook*. Woodhead Publishing Limited, 2 ed., 2012.
- [8] “What type and size of electrode should you use for gtaw and why?.” <https://technoweld.com.au/2019/09/18/what-type-and-size-of-electrode-should-you-use-for-gtaw-and-why/> Accessed: 2022-03-01.
- [9] P. W. Muncaster, *Practical TIG (GTA) Welding*. Abington Publishing, 1 ed., 1991.
- [10] “Arctig.” <https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/robotic-welding/tig/arctig/arctig> Accessed: 2022-10-24.

- [11] OUTOKUMPU, *CORROSION HANDBOOK*. CORROSION HANDBOOK, 11 ed., 2015.
- [12] “Stainless steel market size, share trends analysis report by grade.” <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/stainless-steel-market> Accessed: 2022-10-24.

Anexos

# Apêndice A



## Certificado de Qualificação

### PROCEDIMENTO DE SOLDADURA

WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD

CERTIFICADO N.º 2018/0078 CÓDIGO EN ISO 15614-1:2017 PÁGINA 1/3  
 CERTIFICATE No: NÍVEL 02 PAGE

A - EMPRESA (COMPANY) INOXARÕES – Construções em Aço Inox e Aço Macio, Lda (pEPSP: WPS 02/2018)

B - SOLDADOR / OP. DE SOLDADURA António Manuel Martins Santos  
 WELDER/WELDING OPERATOR

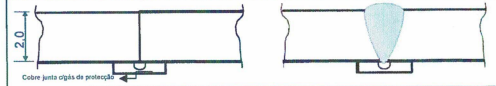
C - METAL DE BASE (BASE METAL)  
 Designação P: EN 10088-2:1.4307 (8.1) Espessura Thickness 2,0 mm Ø --- mm  
 Proveniência Acerinox Europa Nº. de Vaz. Heat N.º R4NB  
 Designação P: EN 10088-2:1.4307 (8.1) Espessura Thickness 2,0 mm Ø --- mm  
 Proveniência Acerinox Europa Nº. de Vaz. Heat N.º R4NB

D - METAL DE ADIÇÃO (FILLER METAL)

Tipo (Type)	Designação (Specification)	Desig. Comercial (Trade Mark)	N.º Lote (Batch N.º)	Ø mm
FIO (S)	EN ISO 14343A: G 19 12 3 L SI	AVESTA 316L-SI/SKR-SI	103140	1,0

E - PROCESSO DE SOLDADURA (WELDING PROCESS) / MODO DE TRANSFERÊNCIA (TRANSFER MODE) 141 / ---

F - TIPO DE JUNTA (TYPE OF JOINT)



G - POSIÇÃO DE EXECUÇÃO (POSITION) PA

H - DETALHES DE SOLDADURA (WELDING DETAILS)		Tipo de gás EN 14175: I1 (Facel Raiz)		Caudal Flow rate	18 l/min
Passe (Pass)	1				
Metal de Adição (Ø mm) (Filler Metal)	1,0				
Intensidade (A) (Current)	205				
Voltagem (V) (Voltage)	14,5				
Vel. de Sold. (cm/min) (Welding Speed)	43,5				
Entrega Térmica (kJ/mm) (Heat Input)	0,245				
Pré-aquecimento 16 °C Temperatura Interpasses --- °C			Corrente/Polaridade DC EN		

I - ENSAIOS REALIZADOS (PERFORMED TESTS)

<input checked="" type="checkbox"/> Exame Visual (Visual Examination)	---	<input checked="" type="checkbox"/> Dobragens / Fractura (Guided-Bend / Fracture-Test)	LMAT180840_DOB
<input checked="" type="checkbox"/> Radiografia / Ultra-Sons (Radiographic / Ultrasonic-Test)	LABEND 0003/18CND RT110	<input type="checkbox"/> Impactos (Impact-Test)	---
<input checked="" type="checkbox"/> Lq. Penetrantes / P.-Magnéticas (Dye Penetrant / Magnetic-Particle-Test)	LABEND 0003/18CND/PT110	<input type="checkbox"/> Durezas/Análise Química (Hardness Test/Chemical-Analysis)	---
<input checked="" type="checkbox"/> Ensaio de Tração / Nick-Break (Tensile / Nick-Break-Test)	LMAT180840_TRA	<input checked="" type="checkbox"/> Macro/Micrografia (Macro/Micrography)	LMAT180840_MAC

J - RESULTADO (RESULT)

O Procedimento de Soldadura foi qualificado pelo ISQ em conformidade com o código mencionado em 18-06-2018  
 The Welding Procedure has been qualified by ISQ in accordance with the above mentioned code on the

O Inspector:

O responsável:





ORGANISMO NOTIFICADO Nº 0028 - DIRECTIVA 2014/68 UE  
NOTIFIED BODY Nº 0028 - DIRECTIVE 2014/68/EU

**RELATÓRIO DE ENSAIOS**

TESTS REPORT

CERTIFICADO N.º CERTIFICATE No	<b>2018/0078</b>	CÓDIGO / NORMA / ESPECIFICAÇÃO CODE / STANDARD / SPECIFICATION	EN ISO 15614-1: 2017
DATA DATE	18-06-2018	PÁGINA PAGE	2/3

**1 - CICLOS TÉRMICOS (THERMAL CYCLES)**

Pré-aquecimento 16 °C Pós-aquecimento --- °C Durante ---  
Pre-heating Post-heating During

Tratamento Térmico: Procedimento --- Controle ---  
Heat treatment Method Control by

Temperatura: Subida --- °C/h Patamar --- °C/Durante --- Horas Descida --- °C/h  
Temperature Heating rate Soak temp During Hours Cooling Rate

**2 - ENSAIOS MECÂNICOS (MECHANICAL TESTS)**

**2.1 - TRACÇÕES Transversais**  
TENSILE TEST TYPE

Valores Requeridos (Min./Máx.) Tensile requirements (Min./Máx.)	E (MPa)	R (MPa)	A (%)	Local da Ruptura Fracture Location
02/2018_T1	---	5200 - 680	---	---
02/2018_T2	---	585	---	Metal Fundido (Weld metal)
02/2018_T2	---	588	---	Metal Fundido (Weld metal)
Test Nº	---	---	---	---

**2.2 - DOBRAGENS Transversais a 180 Graus, com punção Ø 8 mm**  
BEND TEST TYPE At degrees with former diameter

Tipo de Dobragem Type of Bend	Defeitos Defects
02/2018_DR1	Nada a assinalar (Nothing to report)
02/2018_DF1	Nada a assinalar (Nothing to report)
02/2018_DR2	Nada a assinalar (Nothing to report)
02/2018_DF2	Nada a assinalar (Nothing to report)

**2.3 - IMPACTOS --- À temperatura --- °C**  
IMPACT TEST TYPE Test temperature

Zona do Entalhe Notch Location	Valor Mínimo Requerido (J) Impact Requirements	Valores Obtidos (J) Impact Results	Valor Médio Obtido (J) Average
Metal Base (Base Metal)	---	---	---
Zona Term. Afectada (HAZ)	---	---	---
Metal Fundido (Weld Metal)	---	---	---

**2.4 - FILIAÇÃO DE DUREZAS - -**  
Hardness Test

**2.5 - MACRO / MICROGRAFIA -**  
Macro/Micro Examination  
Ver Doc. (see doc) **LMAT180840\_MAC**

Metal Base Base Metal	Z.T.A. HAZ	Metal Fundido Weld Metal
1	4	7
2	5	8
3	6	9
13	10	---
14	11	---
15	12	---
---	---	---
---	---	---

O Inspector  
Inspector

MEC 0880



ORGANISMO NOTIFICADO Nº 0028 - DIRECTIVA 2014/68/UE  
NOTIFIED BODY Nº 0028 - DIRECTIVE 2014/68/EU

## Certificado de Qualificação

PROCEDIMENTO DE SOLDADURA  
WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD

CERTIFICADO N.º CERTIFICATE No:	<b>2018/0078</b>	CÓDIGO / NORMA / ESPECIFICAÇÃO CODE / STANDARD / SPECIFICATION
DATA DATE	18-06-2018 PÁGINA PAGE 3/3	EN ISO 15614-1: 2017


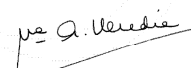
### DOMÍNIO DE VALIDADE DA QUALIFICAÇÃO: (RANGE OF QUALIFICATION)

1. Forma de Produto (Product Form)	P; T
2. Proc. de Soldadura / Modo de Transf. (Welding Process / Transfer Mode)	141/---
Processo (Process)	Nº 1 Nº 2 Nº 3 141 --- ---
Espessura de Material Depositado(mm) (Deposit Metal Thickness)	≤ 4 --- ---
2. Tipo de Junta (Joint Type)	BW; FW; ss mb, bs; ss gb
3. Metal de Base (Parent Metal)	Consultar / see §8.3.1
4. Espessura do Material (mm) (Material Thickness)	1,0 a/to 4,0
5. Diâmetro Exterior (mm) (Outside Diameter)	>500; >150 para / for PC, PF-Rotated & PA-rotated
6. Metal de Adição (Filler Metal)	EN ISO 14343A: G 19 12 3 L Si
7. Gás de Protecção / Fluxo (Shielding Gás / Flux)	EN 14175: I1 (Face/Raiz) ; ISO 14175-N2 (Complementar)
8. Tipo de Corrente de Soldadura (Type of Welding Current)	DC EN
9. Posições de Soldadura (Welding Positions)	Todas / all
10. Pré-aquecimento (Preheat)	≥16 °C
11. Tratamento Térmico após Soldadura (Post-weld Heat Treatment)	N/A
12. Entrega Térmica (Heat Input)	Consultar / see §8.4.7
13. Outras Informações (Other Information)	Gás protecção complementar da face: ISO 14175-N2 (150 N/min). Fonte de potência utilizada / power source used: Fronius TransTig 330

MEC 048



Figura A.1: Certificado de Qualificação de Procedimento e Soldador.

ACERINOX EUROPA		INSPECTION CERTIFICATE CERTIFICADO DE INSPECÇÃO						
FABRICA DEL CAMPO DE GORDALBA FALGONES (LOS BARRIOS) FERRO (34) - 956 62 93 00 FAX (34) - 956 62 93 11 P.O. BOX 83 11370 LOS BARRIOS (CADIZ) ESPAÑA		ACCORDING TO EN 10204 CONFORME						
CUSTOMER VOSOS PED ACEROL (CALDERERIA) CENTRO EMPRESARIAL DA CAR RIÇA - LOTE 6 TROFA PORTUGAL		OUR ORDER Nº CLIENTES <b>SO 70943</b>	YOUR ORDER Nº VOSOS PEDIDO <b>STOCK</b>					
REQUIREMENTS REQUISITOS <b>EN 10088-2:2014</b>		TRADE MARK SELLO DE FABRICANTE 	INSPECTOR'S STAMP SELLO DO INSPECTOR <b>A.O.D.</b>					
INTERGRANULAR CORROSION INTERGRANULAR CORROSÃO		GRADE MATERIAL <b>Acx 150 1.4307</b>	FINISH ACABAMENTO <b>2B</b>					
COIL / BOX BOBINA/CARDA	CONTENT CONTÉUDO	DIMENSIONS (mm) DIMENSÕES (mm)			MARKS MARCA	QUANTITY QUANTIDADE	TEST Nº PROVETE	
04V1MH C	04V1MH C	THICKNESS ESPESURA 4.000	WIDTH LARGURA 1500,00	LENGTH COMPRIMENTO	5	1	04V1MH C	
CHEMICAL ANALYSIS / COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)								
HEAT Nº Lote	C	CR	MN	N	NI	P	S	SI
REQUIREMENTS REQUISITOS	0,030	17,500 19,500	2,000	0,100	8,000 10,500	0,045	0,015	1,000
V1MH	0,016	17,685	1,584	0,075	8,100	0,033	0,001	0,373
MECHANICAL PROPERTIES / CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS								
TEST Nº PROVETE	THICKNESS ESPESURA	Rm N/mm2	Rp 0.2 N/mm2	Rp 1.0 N/mm2	A5 %			
REQUIREMENTS REQUISITOS		520,00 700,00	220,00	250,00	45,00			
04V1MH	C T	608,96	307,29	339,09	58,54			
REMARKS / OBSERVAÇÕES				SURFACE AND DIMENSIONAL CONTROL SUPERFÍCIE, DIMENSÃO E SUBSTITUIÇÃO				
The delivery is in accordance with the order				SATISFACTORY SATISFATORIO				
				WORK INSPECTOR INSPECTOR  A. Heredia				
				Palmones, 3 OCTUBRE 2018				

FDT0009

Figura A.2: Certificado de Material 1.4307