

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA

DANIEL DE BASSI BERNARDI

VITOR DE BASSI BERNARDI

**DETERMINAÇÃO DA TAXA DE DESGASTE ABRASIVO DE  
REVESTIMENTOS DUROS APLICADOS PELO PROCESSO TIG  
ALIMENTADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

DANIEL DE BASSI BERNARDI  
VITOR DE BASSI BERNARDI

**DETERMINAÇÃO DA TAXA DE DESGASTE ABRASIVO DE  
REVESTIMENTOS DUROS APLICADOS PELO PROCESSO TIG  
ALIMENTADO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr.Ossimar Maranhão.

CURITIBA

2013

## TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho por meio deste termo, encaminhar para apresentação a monografia do Projeto de Pesquisa " DETERMINAÇÃO DA TAXA DE DESGASTE ABRASIVO DE REVESTIMENTOS DUROS APLICADOS PELO PROCESSO TIG ALIMENTADO", realizado pelos alunos DANIEL DE BASSI BERNARDI E VITOR DE BASSI BERNARDI, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ossimar Maranhão  
UTFPR - Damec

Curitiba, 26 de agosto de 2013

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "DETERMINAÇÃO DA TAXA DE DESGASTE ABRASIVO DE REVESTIMENTOS DUROS APLICADOS PELO PROCESSO TIG ALIMENTADO", realizado pelos alunos DANIEL DE BASSI BERNARDI E VITOR DE BASSI BERNARDI, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Ossimar Maranhão  
DAMEC, UTFPR  
Orientador

Prof. Dr. Aldo Santos Pereira  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Prof. Dr. Carlos Henrique da Silva  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 26 de agosto de 2013

## AGRADECIMENTOS

*Aos nossos pais, pelo suporte incondicional nessa e em todas as etapas de nossas vidas.*

*Aos nossos familiares pela compreensão, paciência e apoio.*

*Ao nosso amigo e orientado prof. Dr. Ossimar Maranhão, pelo apoio durante todos esses anos, pelas grandes lições e pela insuperável paciência conosco.*

*Ao nosso coorientador prof. Dr. Aldo Santos Pereira, pelo conhecimento compartilhado durante o trabalho e pela ajuda na obtenção do arame.*

*Ao prof. Dr. Carlos Henrique da Silva, por toda a ajuda e conhecimento compartilhado durante o trabalho.*

*Ao Mestrando Leandro Miiller, pela grande ajuda na soldagem dos corpos de prova.*

*Ao bolsista Gabriel Fraga, pela grande ajuda e dedicação na soldagem dos corpos de prova e nos ensaios de desgaste.*

*Aos professores, bolsistas e mestrandos do Laboratório de Materiais da UTFPR, pela orientação e paciência durante os ensaios.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, pelos recursos disponibilizados para a execução do projeto.*

*À Kestra Consumíveis de Soldagem, pela doação do arame utilizado no trabalho.*

*Ao IPT, pelo fornecimento do abrasivo utilizado nos ensaios de desgaste.*

*E à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todos os recursos e oportunidades disponibilizados durante todo esse período.*

## RESUMO

Em virtude da crescente demanda por componentes de elevada dureza superficial e resistência ao desgaste, os revestimentos superficiais tem sido largamente estudados como solução para problemas até então altamente dispendiosos. Além de garantir uma superfície dura e resistente, os revestimentos soldados são capazes de aliar uma matriz dúctil e um baixo custo de fabricação aos componentes. O processo GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) tem se mostrado uma solução interessante quando o foco é a baixa diluição e baixa interferência na matriz metálica, uma vez que é um processo de baixo aporte térmico. O presente trabalho apresenta uma análise de “resistência ao desgaste abrasivo VS energia de soldagem”, quando utilizado o processo GTAW com alimentação automática de arame. Para tal, foram realizados ensaios do tipo roda de borracha em amostras com deposição de arame ligado com Cr. As amostras foram obtidas depositando o arame de revestimento em uma base de aço SAE 1045. Com o objetivo de observar a variação da resistência ao desgaste para diferentes condições de soldagem, foram utilizados três valores de velocidade de soldagem, mantendo-se os demais parâmetros constantes. Apesar dos resultados da análise morfológica terem mostrado diferenças significativas entre as três condições, os ensaios de desgaste (roda de borracha) e dureza não mostraram alterações expressivas com a velocidade de soldagem. Observou-se então, que dentro da faixa de valores analisados, a velocidade de soldagem pouco influenciou a resistência ao desgaste das amostras e, da mesma forma, a dureza.

**Palavras-chave:** Desgaste abrasivo, revestimentos duros, soldagem TIG alimentado, GTAW.

## ABSTRACT

Due the growing demand of high superficial hardness and high wear resistance components, the surface coating are being widely used as solution to problems usually very expensive. Beyond providing a hard and resistant surface, the welded surface coatings are able to put together a ductile matrix and a low cost of components manufacturing. The GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) have shown a really interesting solution when we seek for a low dilution and low metal matrix interference, once it's a low heat input process. This work presents an “abrasive wear resistance vs welding energy” analysis when GTAW process is used combined with automatic wire feeding. For this, rubber wheel wear experiments were done in Cr alloy steel wire deposition. All the samples were made using a SAE 1045 steel base. Seeking for an observation of abrasive wear resistance variance for different welding conditions, three different welding speed values were used, also keeping all the other parameters as constants. Despite the morphological analysis results have shown significant differences between the three welding conditions, the abrasive wear (rubber wheel) and the hardness tests have shown no expressive changes with the welding speed variation. Then observed that within the analyzed range, the welding speed slightly influenced the abrasive wear resistance of the samples, as well as the hardness.

**Keywords:** Abrasive wear, hardfacing, cold wire TIG welding, GTAW.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Alimentação automática de arame frio. ....	18
Figura 2 – Processo de Soldagem GTAW: (a) Processo geral; (b) Zona de soldagem ampliada. ....	19
Figura 3 - Três diferentes polaridades na soldagem GTAW. ....	20
Figura 4 – Esquema da análise morfologia. ....	25
Figura 5 - Teores típicos de Hidrogênio difusível no metal de solda, para diversos processos. ....	27
Figura 6 – Esquema do desgaste a dois corpos (a) e a três corpos (b). ....	32
Figura 7 – Desenho esquemático de abrasômetro tipo roda de borracha. ....	33
Figura 8 – Exemplo de um dos corpos de prova com o revestimento depositado. ...	36
Figura 9 – Posicionamento dos cordões e ordem de soldagem. ....	36
Figura 10 – Esquema do corte dos corpos de prova. ....	37
Figura 11 – Cordões depositados para análise metalográfica e morfológica. ....	38
Figura 12 – Esquema da retirada dos segmentos para análise. ....	38
Figura 13 – Posicionamento das identações de dureza HRc. ....	40
Figura 14 – Equipamentos de soldagem utilizados. ....	41
Figura 15 – Posicionamento da tocha e alimentação do arame. ....	42
Figura 16 - Esquema atual do Abrasômetro tipo Roda de Borracha – UTFPR. ....	43
Figura 17 – Corpos de prova após ensaio de desgaste abrasivo nas condições 10 cm/min e 20 cm/min, respectivamente. ....	44
Figura 18 – Gráfico de variação nos ensaios de desgaste. ....	46
Figura 19 – Gráfico de variação nos ensaios de dureza. ....	47
Figura 20 – Posição das identações nos corpos de prova bruto e retificado. ....	47
Figura 21 – Gráfico da variação morfológica dos cordões. ....	48



Figura 22 – Condição 1 (200x).....	50
Figura 23 – Condição 2 (500x).....	51
Figura 24 – Condição 3 (500x).....	51
Figura 25 – Condição 2 (50x).....	52
Figura 26 – Condição 3 (50x).....	52
Figura 27 – Pre set da fonte de soldagem.....	59
Figura 28 – Durômetro EMCO-TEST M4C 025 G3M. ....	59
Figura 29 – Macroscópio Óptico Olympus SZX10.....	60
Figura 30 – Cordões soldados na fase de testes. ....	61
Figura 31 – Micrografia condição 1 (50x). ....	62
Figura 32 – Micrografia condição 2 (50x). ....	62
Figura 33 – Micrografia condição 3 (50x). ....	63
Figura 34 – Micrografia Condição 1 (100x). ....	63
Figura 35 – Micrografia condição 2 (100x). ....	64
Figura 36 – Micrografia condição 3 (100x). ....	64
Figura 37 – Micrografia condição 1 (200x). ....	65
Figura 38 – Micrografia condição 2 (200x). ....	65
Figura 39 – Micrografia condição 3 (200x). ....	66
Figura 40 – Micrografia condição 1 (500x). ....	66
Figura 41 – Micrografia condição 2 (500x). ....	67
Figura 42 – Micrografia condição 3 (500x). ....	67
Figura 43 – Micrografia condição 1 (1000x). ....	68
Figura 44 – Micrografia condição 2 (1000x). ....	68
Figura 45 – Micrografia condição 3 (1000x). ....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos eletrodos baseada em sua composição química. Adaptado do AWS Welding Handbook, volume 2 (1991). .....	22
Tabela 2 - Propriedades dos gases de proteção. ....	23
Tabela 3 - Composição do arame depositado. ....	34
Tabela 4 – Variáveis e parâmetros utilizados. ....	35
Tabela 5 – Resultados de perda de massa das amostras. ....	44
Tabela 6 - Taxas de desgaste das amostras. ....	45
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de dureza. ....	46
Tabela 8 – Resultados da análise morfológica dos cordões. ....	48
Tabela 9 – Taxas de deposição. ....	49
Tabela 10 - Orçamento do projeto. ....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- AML – *Average Mass Loss* (Perda média de massa);
- ASM – *American Society for Metals* (Sociedade Americana de Metais);
- ASME – *American Society of Mechanical Engineers* (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos);
- ASTM – *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana de Testes e Materiais);
- AVL - *Average Volume Loss* (Perda média de volume);
- AWS – *American Welding Society* (Sociedade Americana de Soldagem);
- CA – Corrente alternada;
- CC+ - Corrente Contínua Polaridade Reversa;
- CC- - Corrente Contínua Polaridade Direta;
- CP – Corpo de Prova;
- FCAW – *Flux Cored Arc Welding* (soldagem com arame tubular)
- GTAW – *Gas Tungsten Arc Welding* (soldagem com eletrodo de tungstênio e gás)
- H = energia de soldagem (J/cm);
- HRC – *Hardness Rockwell-C* (Dureza Rockwell-C);
- I = corrente de soldagem (A);
- $I_p$  = corrente de pico (A);
- $I_b$  = corrente de base (A);
- L = largura do cordão (mm);
- MAG – *Metal active gas* (Soldagem por eletrodo metálico com gás ativo);
- MIG – *Metal inert gas* (Soldagem por eletrodo metálico com gás inerte);
- NBR – Norma Brasileira;
- P = penetração (mm)
- R = reforço (mm)
- SAE – *Society of Automotive Engineers* (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade);
- SMAW – *Shielded Metal Arc Welding* (Soldagem por Eletrodo Revestido);

$t_p$  = tempo na corrente de pico (s);

$t_b$  = tempo na corrente de base (s).

TIG – *Tungsten Inert Gas* (Soldagem por eletrodo de tungstênio com gás inerte);

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

$V$  = tensão de soldagem (V);

$v_s$  = velocidade de soldagem (cm/min);

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Contexto do Tema e Caracterização do Problema	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Justificativa	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1	Processo de soldagem GTAW	17
2.1.1	GTAW com alimentação automatizada de arame - <i>Cold Wire</i>	17
2.1.2	Equipamentos	18
2.1.3	Características do processo	19
2.1.4	Características geométricas do cordão	24
2.1.5	Aplicações, vantagens e desvantagens	26
2.2	Revestimentos duros	27
2.2.1	Processos para deposição	28
2.2.2	Características dos revestimentos duros	28
2.2.3	Tipos de ligas de revestimentos duros	29
2.2.4	Aplicações, vantagens e desvantagens	30
2.3	Desgaste abrasivo	31
2.3.1	Introdução	31
2.3.2	Aspectos gerais do desgaste abrasivo	31
2.3.3	Desgaste abrasivo em equipamento tipo “roda de borracha”	32
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>34</b>
3.1	Materiais	34
3.2	Procedimento Experimental	34
3.2.1	Soldagem dos corpos de prova para desgaste	34
3.2.2	Usinagem dos corpos de prova para desgaste	37
3.2.3	Soldagem e preparação dos corpos de prova para análise metalográfica e morfológica	37
3.2.4	Ensaio de desgaste em abrasômetro do tipo roda de borracha	39
3.2.5	Determinação de Dureza	40
3.2.6	Análise Morfológica e Metalográfica	40
3.3	Equipamentos	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>44</b>
4.1	Ensaio de desgaste abrasivo	44
4.2	Ensaio de dureza	46
4.3	Análise morfológica dos cordões	48
4.4	Metalografia	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>53</b>
5.1	Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros	54
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>
	APÊNDICE A – ORÇAMENTO DO PROJETO	58
	APÊNDICE B – <i>PRE SET</i> DA FONTE DE SOLDAGEM E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	59
	APÊNDICE C - MICROGRAFIAS	62

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto do Tema e Caracterização do Problema

O desgaste abrasivo de peças e equipamentos nas indústrias, como a sucroalcooleira e a de mineração, é um dos principais fatores de depreciação de capital e uma grande fonte de despesas com manutenção (LEITE e MARQUES, 2009). Em vista tal preocupação, o revestimento e recuperação destes componentes tem sido grande fonte de interesse das indústrias e foco de estudos nos últimos anos (KORKUT, YILMAZ e BUYTOZ, 2002). Então, destacam-se os componentes revestidos por soldagem, uma vez que são pouco onerosos, se comparados aos aspergidos ou mesmo nitretados, extremamente versáteis, altamente eficientes e confiáveis (BUCHELY, GUTIERREZ e TORO, (2005).

Dentro do universo de revestimentos soldados, o processo GTAW com alimentação automática de arame ainda não ocupa uma posição de destaque no cenário mundial. Entretanto, muito em breve essa alternativa será reconhecida devido às suas características de produtividade e, principalmente, qualidade (DELGADO, 2000).

Neste contexto, Delgado (2000) estudou a viabilidade e a parametrização da soldagem de revestimento com o processo GTAW alimentado. Com o objetivo de criar uma ferramenta básica de controle sinérgico do processo TIG, Delgado trabalhou os parâmetros relevantes do processo TIG pulsado e obteve comparações de taxas de deposição entre o processo em estudo e o mais difundido, MIG/MAG.

Da mesma maneira, J. C. Ribeiro e Silva (2011) estudaram as variáveis envolvidas no processo TIG alimentado focando o procedimento de soldagem de raiz em dutos utilizados nas indústrias termoelétrica e petroquímica. Além das variáveis de energia de soldagem, houve variação nas posições de soldagem e no gás de proteção. Por fim, obtiveram melhoria de produtividade quando utilizado o Argônio com 5% de Hidrogênio frente ao Argônio de pureza comercial. Além disso, destacaram a melhora no acabamento dos cordões soldados com frequências de 0,24 a 5Hz para a corrente pulsada.

Utilizando o processo GTAW na deposição de revestimentos a base de Cromo e alto teor de Ferro, Lin, et al. (2010), observaram alta resistência ao desgaste quando formados carbonetos primários do tipo  $(Cr,Fe)_7C_3$  em alta densidade.

De maneira análoga, Ribeiro, R. (2004), avaliou a influência de algumas variáveis de soldagem na resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados pelo processo SMAW do tipo Fe-C-Cr. Quando depositada uma camada apenas, Ribeiro obteve resultados de baixa resistência ao desgaste e alta diluição nas amostras soldadas com maior energia, no entanto, a perda de massa no desgaste abrasivo chegou a ser 88% menor quando aplicada a segunda camada. bem como formação de carbonetos primários do tipo  $(M)_7C_3$  quando utilizados níveis mais baixos de energia.

Baseado nos estudos descritos é nítida a oportunidade galgada no presente trabalho. A possibilidade de sequenciamento dos estudos feitos até agora, visando a resistência ao desgaste abrasivo, embasa de maneira sólida e útil o desenvolvimento deste processo promissor.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho resume-se em determinar a influência da energia de soldagem na resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos duros soldados pelo processo GTAW com alimentação automática, para tal, utilizando a velocidade de soldagem como parâmetro variável. Juntamente, serão analisados aspectos de variação de dureza, alterações na morfologia dos cordões e metalografia.

## **1.3 Justificativa**

Dentre as principais características dos processos GTAW destaca-se a baixa energia de soldagem empregada e conseqüentemente a baixa diluição do material de adição - 2 a 20%, versus 10 a 50% MIG/MAG. (BAPTISTA e NASCIMENTO, [2012]).

O processo GTAW com alimentação manual pouco é utilizado na soldagem de revestimentos devido ao alto custo e baixa produtividade (0,2 a 1,3 Kg/h versus 1 a 15 Kg/h para MIG/MAG) (WAINER, BRANDI e MELLO, 2002), apesar das características favoráveis à deposição de revestimentos duros citadas acima. Por

essas razões, este trabalho é dedicado à determinação de parâmetros que possibilitem o emprego do processo GTAW na deposição de revestimentos duros com ganhos em produtividade e uniformidade de deposição. Para isso será empregada alimentação automática do arame de deposição com uso de um sistema de deslocamento automático.

A deposição de revestimentos duros, conforme citado anteriormente, é largamente utilizada no revestimento de cilindros de laminação, equipamentos de moagem de cana, pás de mineração e outros equipamentos que requerem superfícies de alta dureza e de durabilidade em condições de alta abrasão.

Além do grande potencial deste processo na indústria de equipamentos, este trabalho também tem como objetivo abrir portas para novas pesquisas envolvendo essa natureza de equipamento, uma vez que se trata do primeiro trabalho utilizando GTAW com alimentação automática da UTFPR.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Processo de soldagem GTAW

Patenteado no final dos anos 1920, o processo GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) ou TIG (*Tungsten Arc Welding*) utiliza um arco elétrico entre a peça a ser soldada e um eletrodo de Tungstênio não consumível como fonte de calor. Um gás inerte garante proteção da atmosfera na poça de fusão, podendo haver ou não (solda autógena) adição de metal (WAINER, BRANDI e MELLO, 2002).

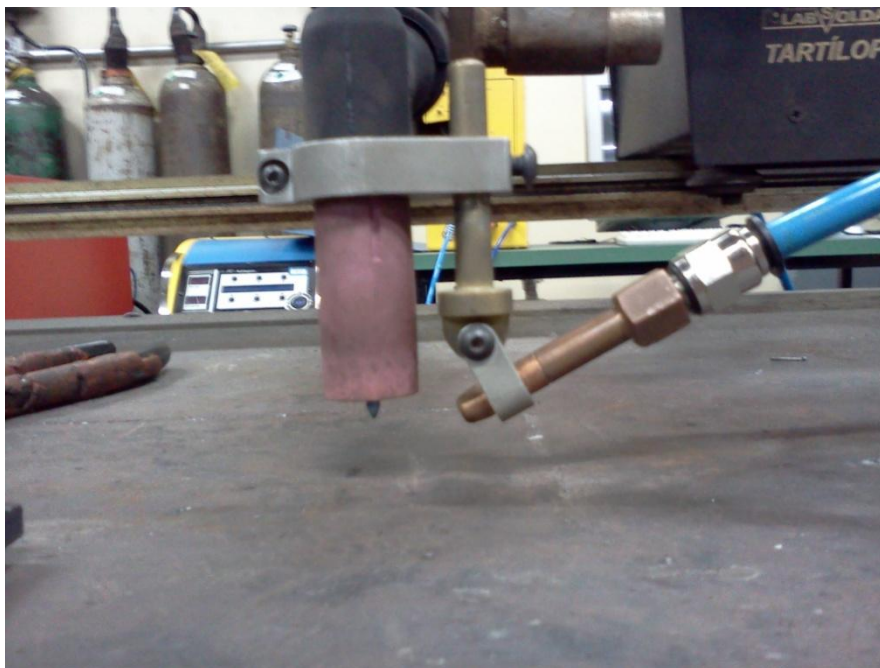
Mecanizada ou manual, a soldagem TIG é considerada um dos processos de soldagem ao arco de melhor controle. É largamente utilizada na soldagem de aços ligados, aços inoxidáveis e ligas não ferrosas. Em aços estruturais, o processo é utilizado para execução de passes de raiz (MODENESI, 2005).

#### 2.1.1 GTAW com alimentação automatizada de arame - *Cold Wire*

A soldagem com o processo GTAW alimentado possibilita uma maior produção (massa de material depositado por unidade de tempo), além de manter uma maior regularidade da taxa de fusão do arame, permitindo assim, maior controle dos parâmetros de soldagem. Além disso, acaba eliminando as variações oriundas do soldador (MASCARENHAS, 2005).

O processo pode ser dividido em dois tipos: “Hot Wire” (aramé quente) e “Cold Wire” (aramé frio). No primeiro, o arame bobinado é pré-aquecido antes de atingir o arco voltaico. Esse processo tem como objetivo elevar a taxa de fusão do arame e, conseqüentemente, aumentar a taxa de deposição. O segundo, objeto de estudo deste trabalho, consiste na alimentação do arame à temperatura ambiente (DELGADO, 2000). Esse processo acaba retirando certa quantidade de calor da poça de fusão e conseqüentemente reduzindo a diluição, o que o torna altamente indicado para aplicação de revestimentos duros (MIRANDA, 2009).

Na soldagem GTAW *cold wire* o arame é alimentado no início da poça (BRACARENSE, 2000). A Figura 1 mostra a alimentação de arame frio utilizada no trabalho.



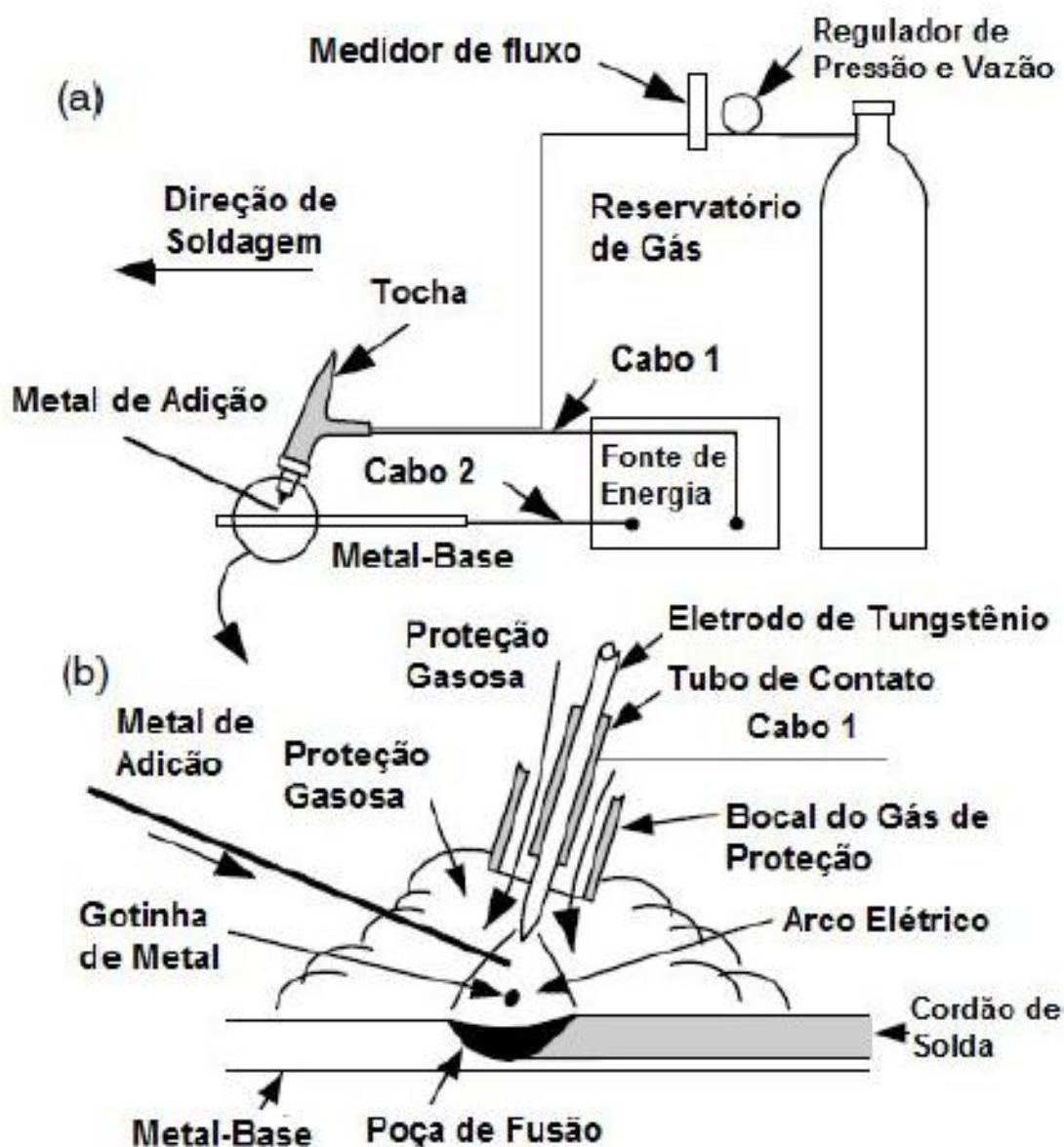
**Figura 1 – Alimentação automática de arame frio.**

### 2.1.2 Equipamentos

Os equipamentos básicos para a soldagem GTAW compreendem:

- a) Fonte de energia apropriada: do tipo corrente constante podendo ser um gerador, retificador ou transformador;
- b) Unidade de alta frequência: fundamental para a soldagem em corrente alternada;
- c) Reservatório de gás: podendo ser o próprio cilindro ou tubulação comum;
- d) Tocha TIG: a função da tocha é suportar o eletrodo de Tungstênio, direcionar o gás de maneira apropriada e conduzir energia elétrica para a manutenção do arco (MODENESI, 2005);
- e) Alimentador automático de arame, no caso de soldagem GTAW *cold* ou *hot wire*.

A Figura 2 ilustra, esquematicamente, a soldagem GTAW, bem como uma ampliação da zona de soldagem.



**Figura 2 – Processo de Soldagem GTAW: (a) Processo geral; (b) Zona de soldagem ampliada.**

**Fonte: Kou, 2002 (p.13 adaptada)**

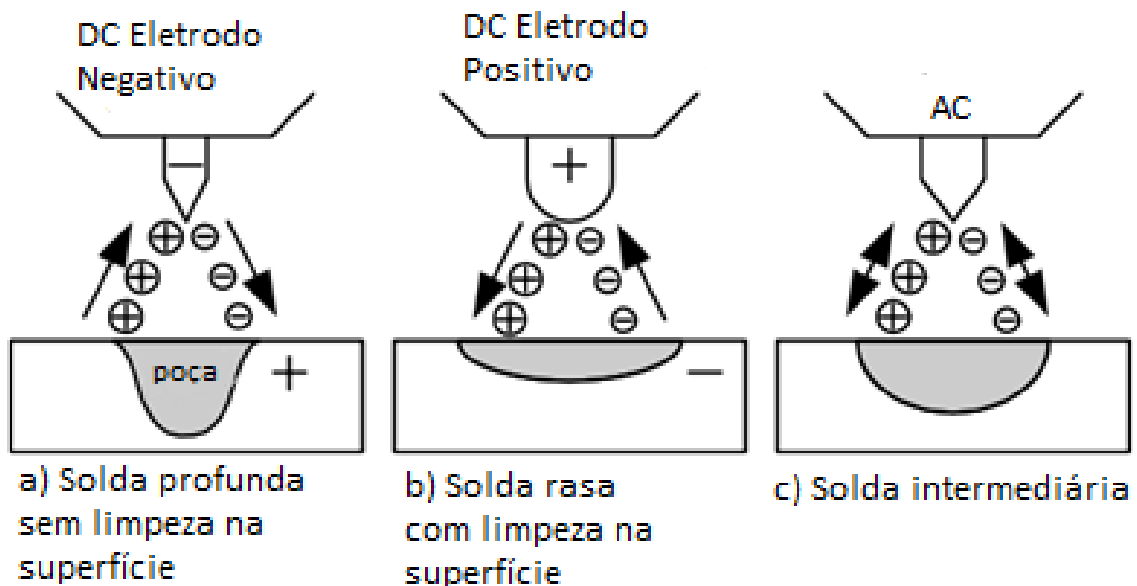
### 2.1.3 Características do processo

Segundo o código ASME IX, são variáveis do processo de soldagem TIG, os parâmetros e características que, quando modificados, alteram as propriedades mecânicas da junta soldada. Podemos citar: metal base, metal de adição, pré-aquecimento, tipo de gás de proteção, tipo de junta, posições de soldagem, características elétricas e técnicas de soldagem.

Nas características elétricas, é importante ressaltar:

- a) Soldagem em corrente contínua polaridade direta (ou corrente contínua com eletrodo negativo): nesse caso, o eletrodo torna-se o polo negativo e a peça o polo positivo, fazendo com que haja um fluxo de elétrons da tocha para a peça e um fluxo de íons positivos da peça para a tocha. Isso garante uma transferência maior de calor para a peça e como consequência aumentando a penetração e reduzindo a largura do cordão (KOU, 2002);
- b) Soldagem em corrente contínua polaridade reversa (ou corrente contínua com eletrodo positivo): ao contrário do que ocorre no caso anterior, a soldagem CC+ garante um grande aquecimento do eletrodo, fazendo com que a penetração seja pequena e larga. Acredita-se que, devido ao choque dos íons com a camada de óxido, o fluxo de íons positivos tenha efeito de limpeza (WAINER, BRANDI e MELLO, 2002).
- c) Soldagem em corrente alternada: como há alternância na intensidade e na tensão do arco, a soldagem CA garante um equilíbrio tanto de penetração/largura quanto de distribuição de calor na peça e no eletrodo. Geralmente, é utilizada na soldagem de Alumínio (KOU, 2002)

A Figura 3 mostra o fluxo de íons e elétrons nos três casos.



**Figura 3 - Três diferentes polaridades na soldagem GTAW.**

**Fonte: Kou, 2002 (p.14).**

- d) Soldagem em corrente contínua pulsada: geralmente utilizando uma onda quadrada, a soldagem pulsada varia a intensidade entre um valor mínimo e máximo. Em equipamentos com tal disponibilidade, é possível estabelecer a corrente e o tempo de base, a corrente e o tempo de pico e a frequência de pulsação. A principal vantagem da corrente pulsada é permitir uma combinação de baixa penetração e boa fusão durante o tempo de pulso, enquanto mantém a área de soldagem relativamente fria. Assim, é possível obter maiores penetrações que a corrente contínua constante e trabalhar com materiais mais sensíveis à imposição de calor com minimização das distorções (BRACARENSE, 2000).
- e) Energia de soldagem: O calor gerado durante o processo pode ser calculado conforme a Equação (1):

$$H = \frac{60 \cdot I \cdot V}{v_s} \quad \text{Equação 1}$$

Ou, para corrente contínua pulsada:

$$H = \frac{60 \cdot V \cdot (I_p t_p + I_b t_b)}{v_s \cdot (t_p + t_b)} \quad \text{Equação 2}$$

Além das características elétricas, são de grande importância para o processo GTAW as variáveis:

- f) Velocidade de Soldagem: A velocidade de soldagem afeta a penetração e principalmente a largura da solda. Como revelou Delgado, 2000, o aumento na velocidade de soldagem acarretou em redução tanto na largura quanto no reforço dos cordões.

Sua grande importância reside no fato dela determinar o custo do processo por estar intimamente ligada à velocidade do processo. Entretanto, muitas vezes a velocidade torna-se apenas uma consequência a partir da definição de qualidade e uniformidade (BRACARENSE, 2000).

Para soldagem de materiais sujeitos a alterações metalúrgicas indesejáveis, a análise da velocidade de soldagem deve ser realizada em conjunto com a tensão e corrente do arco, garantindo assim uma energia de soldagem adequada à aplicação (MIRANDA, 2009).

g) Eletrodo de Tungstênio (tipo e ponta): podendo ser puro, com óxido de tório (1 a 2%) ou com outros elementos de liga, funciona como um dos terminais do arco que irá gerar o calor para o processo. Ao aquecer-se por resistência, o Tungstênio torna-se termoiônico, como uma fonte disponível de elétrons (Bracarense, 2000). A Tabela 1 mostra a classificação dos eletrodos com base em sua composição química.

**Tabela 1 - Classificação dos eletrodos baseada em sua composição química. Adaptado do AWS Welding Handbook, volume 2 (1991).**

Classificação AWS	Cor	Elemento de Liga
EWP	Verde	-
EWCe-2	Laranja	Cério
EWLa-1	Preto	Lantânio
EWTh-1	Amarelo	Tório
EWTh-2	Vermelho	Tório
EWZr-1	Marrom	Zircônio
EWG	Cinza	Não especificado

Os eletrodos de Tungstênio puro (EWP) possuem, no mínimo, 99,5% de pureza e tem uma capacidade de corrente inferior aos de liga de Tungstênio. Entretanto, são muito utilizados em soldagem com corrente alternada, pois mantém uma extremidade limpa e arredondada, que provê boa estabilidade ao arco neste processo (BRACARENSE, 2000).

Os eletrodos com óxido de Tório (EWTh-1 e EWTh-2), possuem maior emissividade termoiônica, permitindo a operação em correntes mais elevadas (cerca de 20% maiores). Esses eletrodos mantém um fino perfil na ponta durante a soldagem, o que é desejável quando aplicado em aços, no entanto, para soldagem em CA, tem dificuldade em manter a extremidade arredondada (BRACARENSE, 2000).

Os eletrodos com óxido de Cério (EWCe-2), bem como os com óxido de Lantânio (EWLa-1), possuem características muito semelhantes aos toriados, com a vantagem de não trabalhar com um elemento radioativo. Já os eletrodos com óxido de Zircônio (EWZr) tem características intermediárias para soldagem entre os eletrodos puros e toriados. São muito utilizados na soldagem em CA (BRACARENSE, 2000).

Além da composição química do eletrodo, uma variável extremamente influente na soldagem GTAW é o ângulo de ponta do eletrodo. Uma ponta bem afiada (pequeno ângulo) torna a abertura do arco voltaico mais fácil, porém não é mantida por muito tempo, pois o calor gerado acaba por fundir a extremidade, que assume o formato de uma pequena esfera. Por outro lado, uma afiação com ângulo maior permite a utilização de correntes mais elevadas (MIRANDA, 2009).

O grau de afiação da ponta do eletrodo afeta a geometria do cordão, onde os ângulos maiores da ponta tendem a reduzir a largura do cordão e a aumentarem assim a penetração (SAVAGE, 1965).

- h) Gás de Proteção (composição e vazão): Na soldagem TIG, tanto Argônio quanto o Hélio podem ser utilizados. A Tabela 2 mostra o potencial de ionização dos dois gases (15,7 e 24,5 eV, respectivamente). Logo, é mais fácil ionizar o Argônio e a queda de tensão na extensão do arco é menor. Além disso, por ser mais pesado que o Hélio, o Argônio oferece proteção mais efetiva ao arco e maior resistência aos fluxos de ar laterais. Ainda, o Argônio possui maior poder de limpeza de óxidos quando usado em corrente alternada e corrente contínua em polaridade reversa. Por conta dessas vantagens e do menor custo, o uso do Argônio na soldagem GTAW é mais recomendado (KOU, 2002).

**Tabela 2 - Propriedades dos gases de proteção.**

**Fonte: Kou, 2002 (p. 16 adaptado).**

Gás	Símbolo Químico	Peso Molecular (g/mol)	Densidade (g/L)	Potencial de Ionização (eV)
Argônio	Ar	39,95	1,78	15,7
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	44,01	1,98	14,4
Hélio	He	4,00	0,18	24,5
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	2,02	0,09	13,5
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	28,01	1,25	14,5
Oxigênio	O <sub>2</sub>	32,00	1,43	13,2

Para determinados valores de corrente de soldagem e comprimento de arco, o Hélio transfere mais calor para a peça que o Argônio. O maior aporte térmico do arco utilizando Hélio pode ser vantajoso para união de

metais de alta condutividade térmica, e para aplicações com velocidades de soldagem elevadas. Além disso, o gás Hélio é usado com maior frequência para chapas de maior espessura. Misturas de Argônio e Hélio podem ser utilizadas quando um balanço entre as características de ambos é desejada (AWS, v2, 1992).

O controle adequado da vazão do gás de proteção é muito importante, pois quando esta é excessivamente alta ou muito baixa pode resultar na formação de descontinuidades, além de elevar os custos de soldagem. A determinação correta da vazão do gás depende de pelo menos os seguintes fatores (MIRANDA, 2009):

- Tipo de gás de proteção;
- Distância do bocal à peça;
- Geometria do bocal;
- Tipo de junta;
- Intensidade de corrente;
- Inclinação da tocha de soldagem;
- Comprimento do arco;
- Velocidade de soldagem;
- Posição de soldagem;
- Tipo de metal base;
- Existência de correntes de ar.

#### **2.1.4 Características geométricas do cordão**

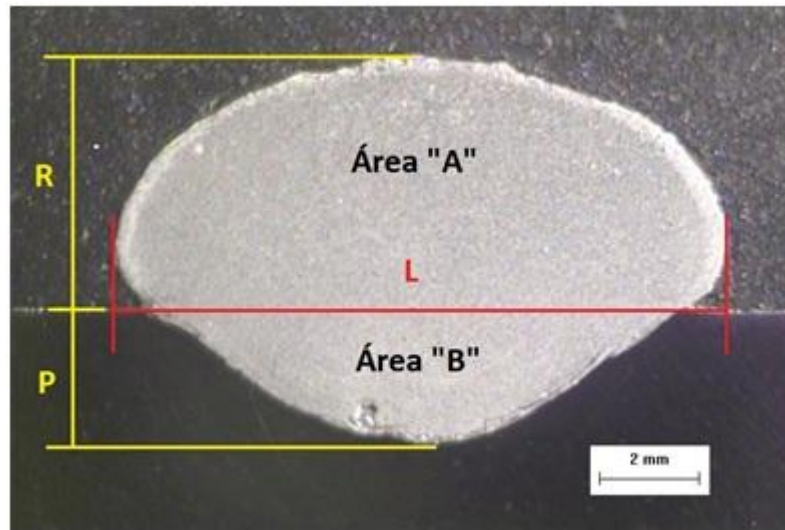
A geometria do cordão de solda é de grande importância para a soldagem de revestimentos. No caso GTAW *cold wire*, a corrente, tipo de onda, posição e velocidade de alimentação, velocidade de soldagem entre outros fatores influenciam na geometria do cordão. A largura (L), reforço (R) e a penetração (P) definem as características geométricas do cordão, como mostra a Figura 4 (MIRANDA, 2009).

##### **2.1.4.1 Diluição**

A diluição é a quantidade percentual de metal de base que entra na composição da zona fundida, na soldagem por fusão, podendo variar desde valores



muito baixos como 5% até 100% na soldagem autógena (ZEEMANN, 2003). A Figura 4 ilustra a diluição em um corte transversal feito em um cordão.



**Figura 4 – Esquema da análise morfológica.**  
**Fonte: Bernardi (2010, p.12).**

O valor da diluição é encontrado segundo a Equação 3.

$$D = \frac{\text{Área "B"}}{\text{Área "A"} + \text{Área "B"}} * 100 [\%] \quad \text{Equação 3}$$

Na maioria das aplicações (aços de baixo carbono), a diluição apresenta pequena importância no comportamento da junta, visto que, a composição do metal base e do metal de adição são muito próximas. No entanto, em aplicações “especiais” como a soldagem de revestimento, a diluição pode ser determinante para o sucesso de operação de um componente (MIRANDA, 2009). Altos percentuais de diluição podem desestabilizar a microestrutura que se pretende atingir com determinado revestimento, por isso, a escolha dos parâmetros deve ser feita de maneira cuidadosa para evitar ao máximo os efeitos de grandes percentuais de diluição (ZEEMANN, 2003).

O conceito de diluição também é importante quando se deseja controlar a participação do metal base na formação da solda, como, por exemplo, na soldagem de um metal base cuja composição seja desconhecida ou apresente elevados teores de impurezas ou elementos prejudiciais à solda (MODENESI, 2005)

A potência do arco e a velocidade de alimentação têm influência direta sobre a diluição resultante da zona fundida. A alteração destes parâmetros leva a mudanças nas taxas de fusão do metal de adição e do substrato, resultando em diferentes níveis de diluição (MIRANDA, 2009).

Estudando o controle de diluição em ligas de aço inox superaustenítico e ligas a base de Níquel aplicadas pelo processo GTAW, Banovic, (2001) observou redução nos níveis de diluição (acima de 40%) com a redução da potência do arco e/ou com o aumento da velocidade de alimentação.

Ribeiro, R. 2004, ao analisar a resistência ao desgaste abrasivo e diluição de revestimentos duros aplicados pelo processo SMAW, obteve valores altos de diluição (acima de 35%) quando utilizou correntes acima de 140 Ampérs no primeiro passe. Ao depositar a segunda camada de revestimento, os valores de diluição se mantiveram para todas as faixas de corrente, no entanto houve uma redução significativa (de até 88%) nas taxas de perda de massa por desgaste abrasivo.

### **2.1.5 Aplicações, vantagens e desvantagens**

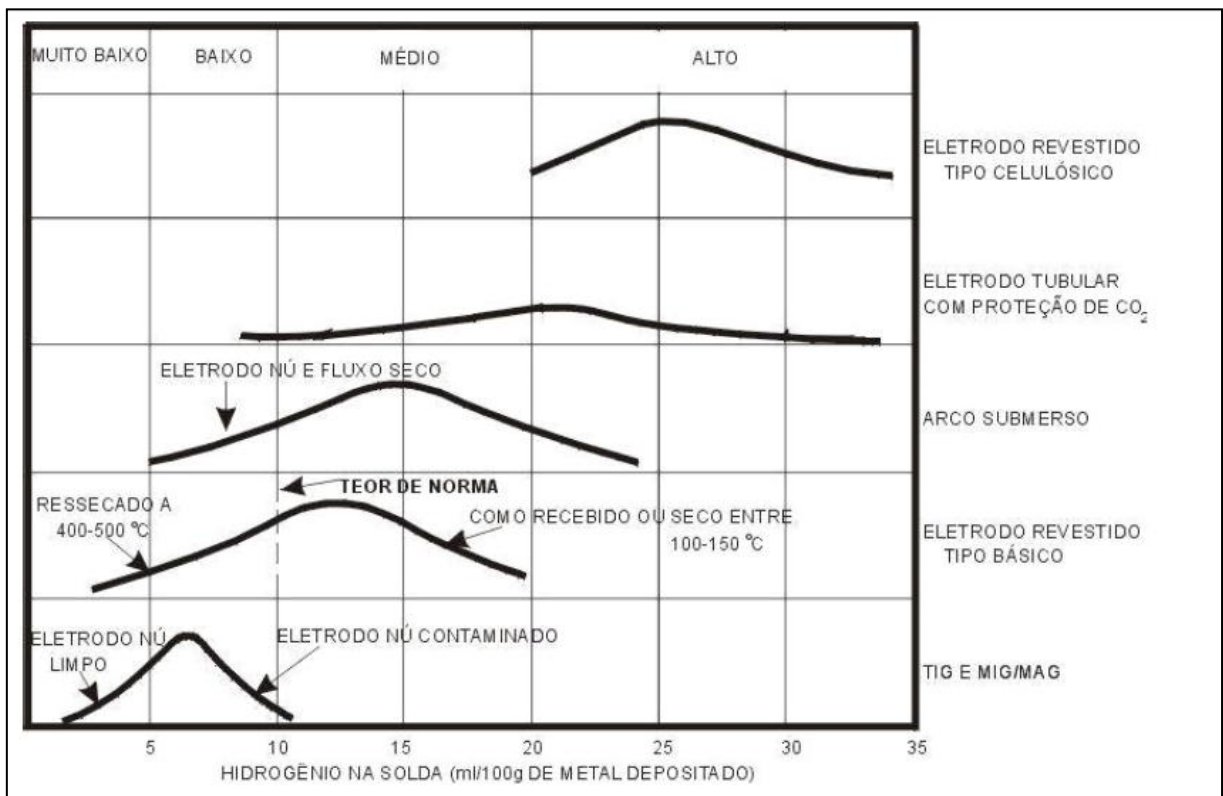
O processo TIG pode ser aplicado em alumínio, aço carbono, aços inoxidáveis, magnésio, titânio, níquel, cobre, entre outros. Industrialmente, o processo é aplicado quando é necessário um controle rigoroso de calor cedido à peça, passes de raiz em tubulações, costura e união de tubos de aço inox (BRACARENSE, 2000).

As grandes vantagens do processo TIG emergem do alto controle sobre o processo, tais como: produção de soldas de alta qualidade e excelente acabamento, gera pouco ou nenhum respingo, permite soldagem sem o uso de metal de adição, exige pouca limpeza após a soldagem, entre outras. No entanto, o processo de soldagem TIG manual promove taxas de deposição inferiores a outros processos, demanda bastante experiência do operador e oferece baixa tolerância a contaminantes no material de base (BRACARENSE, 2000).

Por outro lado, na soldagem TIG com alimentação automática de arame é possível obter taxas elevadas de deposição, cordões mais uniformes do que se conseguiria com alimentação manual e a possibilidade de automatização total do processo (DELGADO, 2000). Além disso, na soldagem de revestimentos, este

processo garante economia de material de deposição, uma vez que a uniformidade dos cordões obtidos exige menos trabalho de acabamento superficial na peça.

Outra grande vantagem da soldagem TIG é o baixo teor de contaminação por Hidrogênio. Na soldagem SMAW, mesmo com um cuidado grande no armazenamento dos consumíveis, este problema é muito recorrente (MASCARENHAS, 2005). A Figura 5 mostra um comparativo da contaminação por hidrogênio nos diferentes processos de soldagem.



**Figura 5 - Teores típicos de Hidrogênio difusível no metal de solda, para diversos processos.**

**Fonte: Coe, (1973).**

## 2.2 Revestimentos duros

Revestimento/recobrimento duro é o nome dado à deposição de material de dureza mais elevada em superfícies sujeitas ao desgaste. Pode ser utilizado para manutenção de uma camada dura ou recobrimentos pontuais de locais mais sujeitos ao desgaste. Em geral, é aplicado por deposição de varetas/arames com materiais de elevada dureza via soldagem oxiacetilênica ou ao arco elétrico, e que apresente espessuras de 1,5mm a 6,0mm (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2012).

### 2.2.1 Processos para deposição

Duas formas de energia de soldagem são utilizadas para a deposição de revestimentos duros: soldagem oxiacetilênica e soldagem por arco elétrico – MIG/MAG, TIG, Eletrodo Revestido, Arco Submerso, entre outras. Essencialmente são utilizados:

- a) Fonte de soldagem (para arco elétrico);
- b) Material de deposição (arames, varetas ou eletrodos revestidos);
- c) Maçarico e consumíveis (Acetileno e Oxigênio) – para soldagem oxiacetilênica;
- d) Equipamentos de automatização (sistemas de deslocamento, robôs).

### 2.2.2 Características dos revestimentos duros

Dentre os principais fatores que afetam as características dos revestimentos duros estão:

- a) Tipo de revestimento: A grande maioria dos materiais de depósito contém ao menos um dos elementos de liga: Cr, Mn, Mo. A escolha do material de depósito depende diretamente das condições a que a peça estará sujeita, material de base onde será depositado e custo do consumível.

Em (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2012) classificam-se os revestimentos em 4 grupos de aplicação

- Endurecimento superficial;
  - Resistência à corrosão;
  - Resistência ao desgaste e/ou impacto;
  - Recuperação ou reparos de manutenção.
- b) Energia de soldagem: Diretamente ligada à diluição do metal de adição, e conseqüentemente à dureza e resistência à abrasão da camada dura. A energia de soldagem pode ser controlada de diversas formas, desde a utilização de maior ou menor quantidade de passes até a utilização de processos com maior concentração e menor quantidade de energia, como o GTAW (MASCARENHAS, 2005).
  - c) Material base: Apesar de ser aplicável à maioria dos materiais ferrosos, os revestimentos duros apresentam melhor empregabilidade em bases de aço

baixo carbono. A utilização dos revestimentos duros em materiais de aço liga ou alto carbono necessita, como nos processos de soldagem convencional, de pré-aquecimento em alguns casos, para evitar trincas (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2012).

- d) Características da soldagem: Devido à grande quantidade de energia empregada, os revestimentos realizados com solda ao arco elétrico apresentam aspectos mais grosseiros se comparados aos revestimentos por solda oxiacetilênica. Por essa razão os revestimentos depositados por solda ao arco elétrico tendem a apresentar maior quantidade de porosidade e trincas quando comparada à solda oxiacetilênica (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2012).

### 2.2.3 Tipos de ligas de revestimentos duros

Sem levar em conta a diluição, as normas AWS A5.13-80 (eletrodos revestidos) e AWS A5.21-80 (varetas) classificam os metais de adição baseando-se na composição química do metal depositado. Spencer também desenvolveu uma classificação baseada na composição química onde os tipos de ligas ferrosas são divididas em cinco classes (MONTEIRO e CUNHA, 1993):

- Ligas a base de CrNi: indicadas para aplicações de reconstrução, uniões dissimilares e “*cladding*”;
- Ligas a base de Fe com NiMo – indicadas para uniões de aços de baixa e média liga;
- Ligas do tipo aço ferramenta: são empregadas como proteção anti-desgaste de aços ferramentas que trabalham a frio ou a quente. As durezas dos depósitos variam entre 40 e 60 HRC, podendo estes serem tratados termicamente;
- Ligas do tipo FeCrC: empregadas em serviços onde se necessita resistência a alta abrasão, choque e pressão. Os depósitos atingem durezas de até 63 HRC em um único passe de solda;
- Ligas do tipo CCrCo: são indicadas para proteção anti-desgaste contra corrosão a quente, altas temperaturas e ciclagem térmica. Suas durezas encontram-se entre 35 a 48 HRC.

### **2.2.3.1 Ligas Fe-Cr-C**

As ligas Fe-Cr-C empregadas como revestimento duro ao desgaste abrasivo possuem matriz contínua, que pode ser austenita metaestável ou martensítica, à temperatura ambiente, além de apresentar carbonetos do tipo  $M_7C_3$  como fase descontínua. A composição química destas ligas pode variar entre 1,2% e 4% em teores de Carbono e entre 6% e 40% em teores de Cromo. Há indícios de que teores inferiores a 10% de Cromo conduzem a formação do eutético, em que a matriz contínua é o carboneto  $M_7C_3$  e a fase dispersa formada por glóbulos ou bastões de austenita ou produtos de transformação (GREGOLIN, 1990).

Ribeiro, R, 2004, observou que, em ligas do tipo Fe-Cr-C depositadas pelo processo SMAW, a importância da formação de carbonetos primários para a obtenção de alta resistência ao desgaste abrasivo. Ainda, como observou Silene, a geometria e dispersão dos mesmos também se mostrou fator crucial.

### **2.2.3.2 Metais de deposição para soldagem GTAW cold wire**

Por se tratar de um processo ainda não difundido, a soldagem de revestimento pelo processo TIG com alimentação automática não conta com grande variedade de consumíveis. Os arames recomendados para a soldagem TIG alimentada, em geral, não são de aços ligados, que não funcionariam como materiais de revestimento duro. Entretanto, alguns fabricantes já disponibilizam arames para revestimento, inicialmente recomendados para a soldagem MIG/MAG, para uso com TIG.

### **2.2.4 Aplicações, vantagens e desvantagens**

Os revestimentos duros são largamente utilizados em equipamentos de uso em condições severas de abrasão, corrosão, escorregamento, erosão e choques mecânicos (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2012).

As variantes do processo permitem que os revestimentos sejam aplicados a superfícies das mais diversas formas, superfícies específicas, de difícil acesso, em campo, etc. Para algumas aplicações, o processo torna-se muito caro, pois os materiais de deposição geralmente são aços de alta liga com alto teor de Cromo e/ou Molibdênio. Além dos custos com consumíveis, em alguns casos, os revestimentos requerem acabamento superficial posterior, e como se tratam de

superfícies de alta dureza, usinagens posteriores são ainda mais dispendiosas (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2012).

Em equipamentos que requerem maior controle da camada soldada, pouca diluição, melhor acabamento superficial, ou superfícies com baixo aporte térmico, um processo indicado para o revestimento duro é a soldagem TIG alimentada. Em casos onde a produtividade/custo de uma solda TIG manual não é aplicável, pode-se ainda empregar revestimento por soldagem TIG com alimentação automática – Objeto de estudo deste trabalho (DELGADO, 2000).

## **2.3 Desgaste abrasivo**

### **2.3.1 Introdução**

De forma geral o desgaste pode ser definido como uma mudança cumulativa e indesejável em dimensões motivada pela remoção gradual de partículas discretas de superfícies em contato e com movimento relativo, devido, predominantemente, a ações mecânicas. (LEAL, 2004, p. 65)

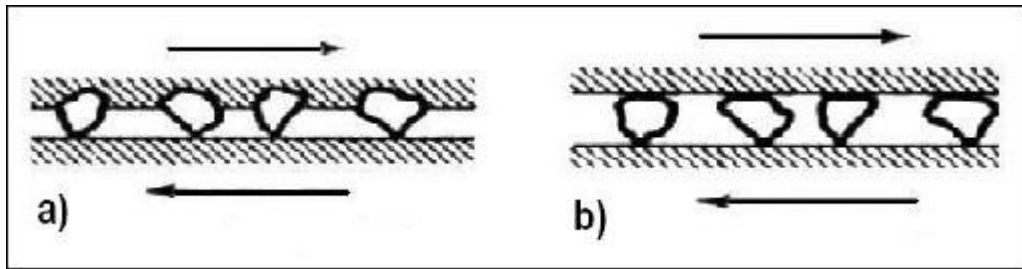
As formas de desgaste estão subdivididas em quatro categorias: desgaste adesivo, abrasivo, corrosivo e desgaste por fadiga de superfície. Neste trabalho somente será detalhado o desgaste abrasivo.

### **2.3.2 Aspectos gerais do desgaste abrasivo**

Segundo a ATSM G40-01 (ASTM, 2001) o desgaste abrasivo é definido como "a perda de massa resultante da interação entre partículas ou asperezas duras que são forçadas contra uma superfície, ao longo da qual se movem."

Nessa definição, surgem duas terminologias diferentes para o desgaste por abrasão. A primeira delas, quando as partículas estão soltas entre duas superfícies, ocorre o desgaste abrasivo a três corpos. Neste caso, o dano ocorre com o rolamento das partículas soltas com as superfícies dos corpos. A segunda, quando as partículas duras estão incrustadas em uma das superfícies, ocorre o desgaste abrasivo a dois corpos, onde o dano ocorre devido às protuberâncias existentes na interface, que podem ser asperezas oriundas do processo de fabricação, ou partículas incrustadas durante o trabalho na superfície (ZUM GAHR, K-H, 1987).

A Figura 6 ilustra o sistema tribológico das duas situações.



**Figura 6 – Esquema do desgaste a dois corpos (a) e a três corpos (b).**

**Fonte: Hutchings (1992, adaptada).**

Além disso, segundo Stachowiak e Batchelor (2005) o desgaste por abrasão pode ocorrer através de quatro mecanismos: por corte, onde há o riscamento e a partícula usina a superfície; por fratura, onde as partículas colidem na superfície e geram falhas repentinas; por fadiga, quando a superfície experimenta ciclos de compressão das partículas; e finalmente por arrancamento de grão, em que a partícula rompe as ligações intergranulares e destaca um ou mais grãos da superfície.

Por vezes, o agente abrasivo pode ser parte da ocorrência de outros modos de desgastes. Eventualmente partículas endurecidas por oxidação acabam por se soltar da superfície e, entrando em contato com dois corpos em movimento, tornam-se um agente abrasivo em potencial.

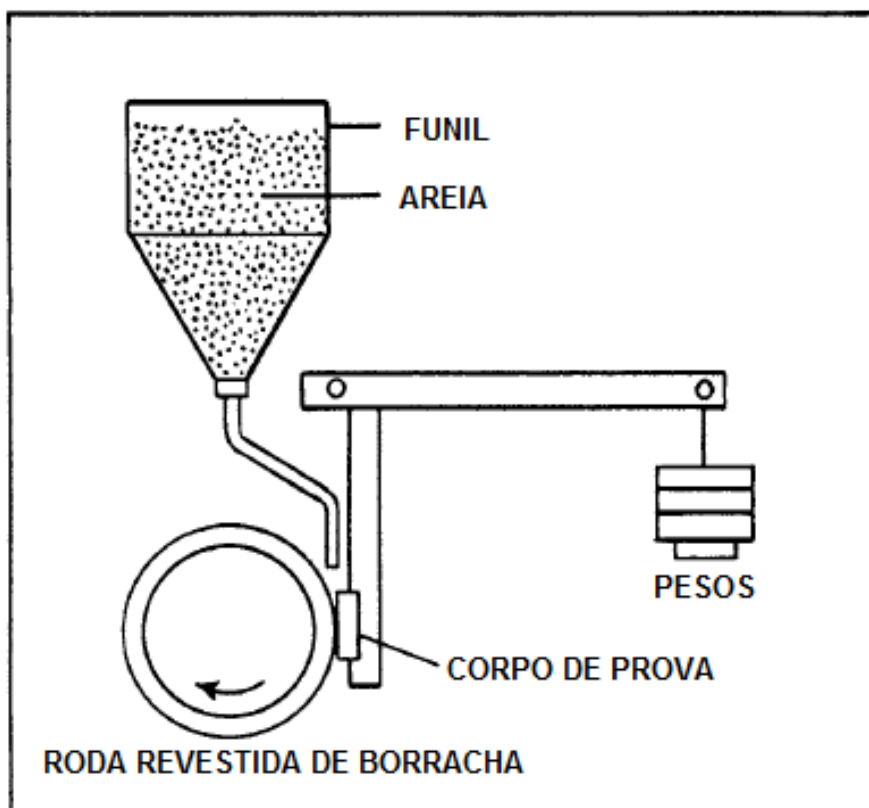
### **2.3.3 Desgaste abrasivo em equipamento tipo “roda de borracha”**

O ensaio de desgaste abrasivo utilizando roda de borracha é padronizado pela ASTM G65-04 e consiste basicamente em um sistema onde o corpo-de-prova é forçado contra uma roda de borracha em rotação e um abrasivo é inserido na interface do contato dos dois corpos, conforme Figura 7. É usualmente classificado como um sistema a três corpos, mas pode adquirir a configuração a dois corpos, devido a possibilidade dos abrasivos ficarem incrustados na borracha, após penetrarem na interface entre o corpo-de-prova e a roda. (GATES, 1998).

Para análise da perda de massa, o corpo de prova é pesado em balança de precisão antes e depois do ensaio. Há necessidade de certificar-se de que a massa de nenhuma partícula além da própria amostra está sendo medida. Dessa forma, a



diferença entre as massas da amostra antes e depois do ensaio determina a quantidade de matéria retirada por abrasão nas condições descritas para o ensaio.



**Figura 7 – Desenho esquemático de abrasômetro tipo roda de borracha.**  
Fonte: ASTM G-65 (2010, P. 2 adaptado).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Visando a soldabilidade e a composição química adequada, a equipe optou pelo arame Kestra® KST S/G 60, ou DIN WSG 6GZ60ST de composição conforme Tabela 3, sólido e de diâmetro de 1,2mm. O arame se enquadra na classificação de ligas FeCrC, recomendadas para revestimentos que necessitam de alta resistência ao desgaste abrasivo. Além disso, o fabricante indica este consumível também para aplicação com GTAW.

**Tabela 3 - Composição do arame depositado.**

<b>KST S/G 60</b>	
El. de liga	% em peso
C	0,45%
Si	3,00%
Mn	0,40%
Cr	9,00%

Segundo o fabricante, o arame é indicado para soldagem de revestimento de peças sujeitas ao desgaste pela abrasão como roscas transportadoras, matrizes para indústria cerâmica, equipamentos de terraplanagem, rebarbadores, estampos, punções, etc. Apresenta ainda, como característica ótima resistência à solitação mecânica (KESTRA – CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM, 2012).

Como metal base, foram utilizadas chapas de aço SAE 1045 6,35mm x 101,6mm (1/4" x 4") laminado a quente de aproximadamente 200mm de comprimento. As chapas foram lixadas para remoção de carepas.

#### 3.2 Procedimento Experimental

##### 3.2.1 Soldagem dos corpos de prova para desgaste

Antes de fazer a deposição nos corpos de prova, foi preciso definir uma série de parâmetros e variáveis do processo.

O eletrodo utilizado foi o EWTh-2 segundo classificação da AWS, composto por 97,3% W, 1,7~2,2% ThO<sub>2</sub> e 0,5% outros. O gás utilizado foi o Argônio puro.

Com base nos estudos de Delgado, (2000), a equipe deu início aos testes para obtenção dos parâmetros adequados à situação proposta. Visando a estabilidade e dispersão do arco voltaico, formação de uma poça de fusão suficiente para a fusão do arame, molhabilidade, porosidade e a possibilidade de variação da velocidade de soldagem, a equipe definiu as variáveis e parâmetros do processo que podem ser vistos na Tabela 4.

**Tabela 4 – Variáveis e parâmetros utilizados.**

VARIÁVEIS		PARÂMETROS	
Corrente [I]	160 A	Distância eletrodo-peça [h]	5 mm
Velocidade de alimentação do arame [Va]	0,7 m/min	Ângulo de ataque do arame [Â]	45°
Vazão de gás [vg]	10 l/min	Ângulo da tocha [σ]	90°
Velocidade de soldagem [Vs]	10, 20 e 30 cm/min	Ângulo de afiação do eletrodo [β]	90°

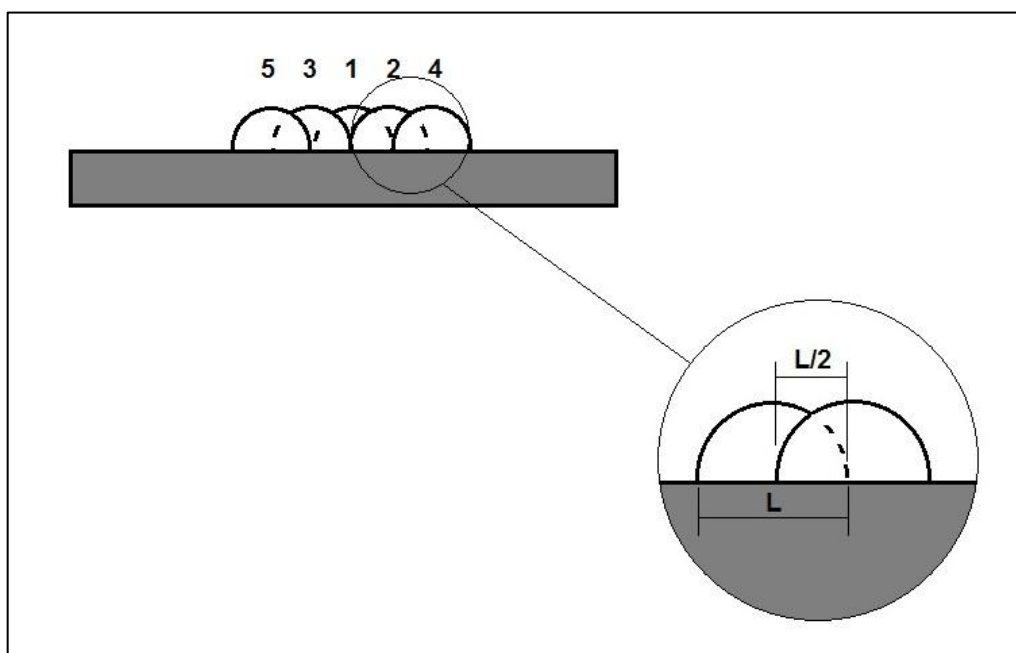
Com as chapas presas à bancada, iniciou-se a deposição do revestimento. Como as velocidades de soldagem eram diferentes, naturalmente os cordões obtidos tiveram larguras diferentes, foram depositados diversos cordões de maneira a obter a largura mínima para obtenção dos corpos de prova para abrasão: 25,4mm de largura e 76,2mm de comprimento (1" x 3").

A Figura 8 mostra um dos corpos de prova com os cordões depositados.



**Figura 8 – Exemplo de um dos corpos de prova com o revestimento depositado.**

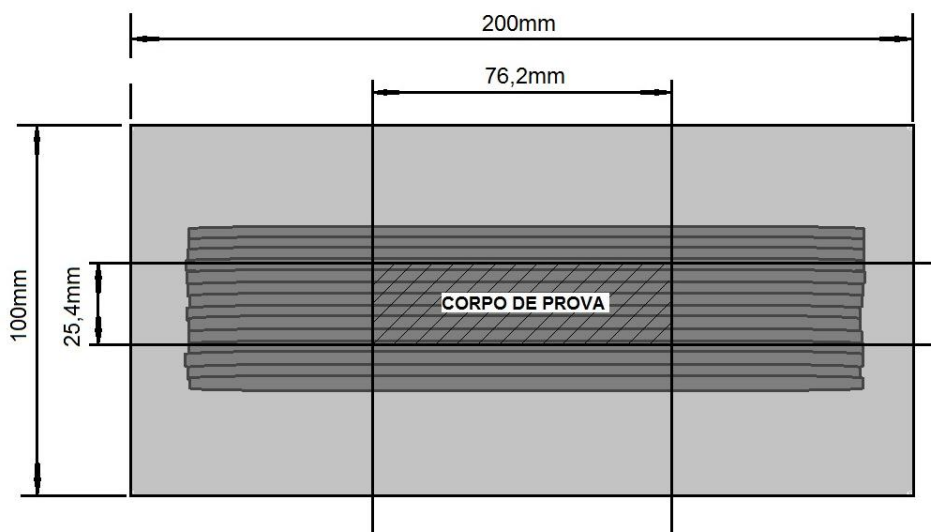
Para garantir uniformidade e preenchimento correto da chapa, os cordões foram depositados sempre com o centro alinhado à base da lateral do cordão anterior, conforme Figura 9. Além disso, a fim de garantir uma distribuição uniforme de calor, a soldagem foi feita de maneira alternada, como mostra também a Figura 9.



**Figura 9 – Posicionamento dos cordões e ordem de soldagem.**

### 3.2.2 Usinagem dos corpos de prova para desgaste

Uma vez depositados os cordões, as chapas foram cortadas nas dimensões próximas das definitivas, conforme Figura 10.



**Figura 10 – Esquema do corte dos corpos de prova.**

Após o corte, os corpos de prova foram submetidos a um fresamento para garantir perpendicularidade entre as laterais e a base e ainda chegar às dimensões finais previstas em norma (76,2mm x 25,4mm).

Na sequência, foi feita a retificação dos corpos de prova. Durante este processo, a quantidade de material retirado de cada peça foi mantida constante para que não houvesse usinagem desigual entre cada uma das amostras, o que poderia comprometer os resultados futuros.

### 3.2.3 Soldagem e preparação dos corpos de prova para análise metalográfica e morfológica

Além da soldagem dos nove corpos de prova, em uma nova chapa foram depositados três cordões, como mostra a Figura 11, representando as três condições diferentes. Na sequência, foram retirados segmentos desses cordões para posterior análise metalográfica e morfológica. A Figura 12 ilustra a deposição dos cordões e a retirada dos segmentos para análise.



Figura 11 – Cordões depositados para análise metalográfica e morfológica.

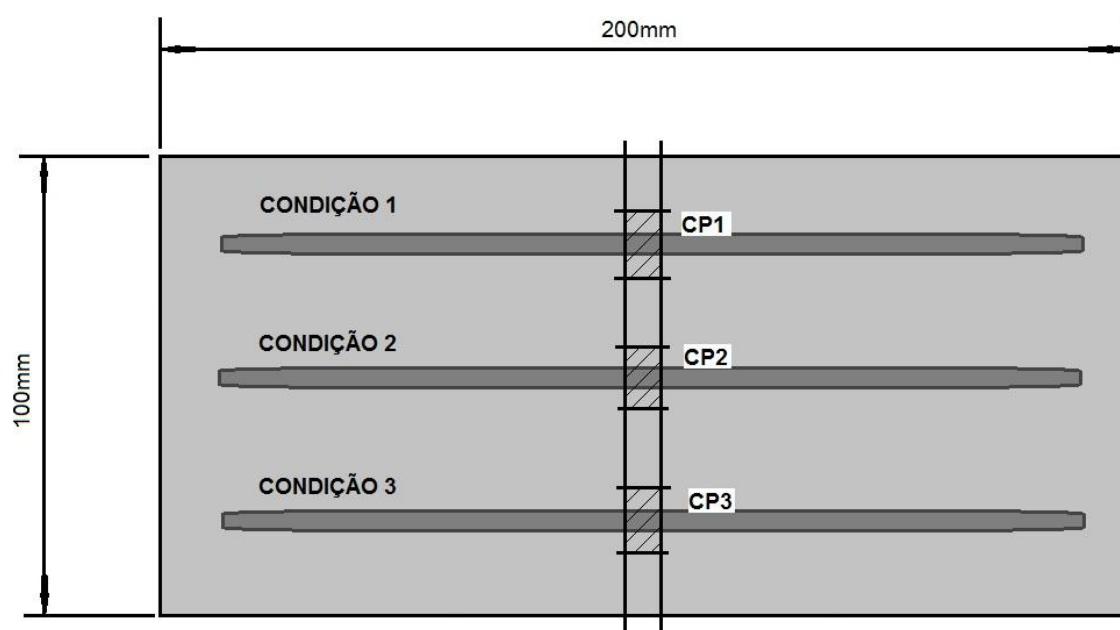


Figura 12 – Esquema da retirada dos segmentos para análise.

Posteriormente, foram embutidos em baquelite de modo a expor a face transversal ao sentido de soldagem. Depois de embutidas, as amostras foram lixadas seguindo a sequência das lixas P220, P320, P400 e P600. Em seguida, foram polidas em uma solução de Alumina 1 $\mu$ m. Pouco antes nas análises, os corpos de prova foram então atacados com reagente Vilella.

### 3.2.4 Ensaios de desgaste em abrasômetro do tipo roda de borracha

Antes dos ensaios propriamente, todos os corpos de prova foram limpos durante 10 minutos por ultrassom com álcool etílico 96°GL e, na sequência, secados com jatos de ar quente. Posteriormente, suas massas foram medidas utilizando uma balança de alta precisão. As amostras foram pesadas três vezes cada e em seguida foi feita a média e desvio padrão das medições.

Nos ensaios no abrasômetro foi utilizado o procedimento “E” previsto pela ASTM G65-04, indicado para materiais de baixa e média resistência ao desgaste abrasivo. Este procedimento determina ensaios de 5 minutos de duração e carga axial de 130N ±3%. Entre cada um dos ensaios foi feito dressamento da roda de borracha com uma lixa de granulometria P600 e intervalos de 30 minutos para que a borracha resfriasse e não causasse alterações nos ensaios subsequentes. O abrasivo utilizado foi a areia normal brasileira com granulometria 100 (tamanho médio igual a 0,15mm) conforme classificação da ABNT NBR 7214.

Ao total, foram realizados 6 ensaios (2 corpos de prova de cada condição). Após os ensaios, os procedimentos de limpeza e medição da massa foram repetidos a fim de determinar a massa perdida durante o ensaio.

A norma ASTM G65-04 prevê um termo de ajuste de perda de volume – AVL – conforme Equação 4. Entretanto, visto que todas as amostras possuíam a mesma densidade, e os resultados esperados eram de efeito comparativo entre si, a equipe optou por determinar um ajuste de perda de massa – AML – conforme a Equação 5, onde a massa seria multiplicada pelo segundo termo, que representa o desgaste da borracha.

$$AVL = \textit{perda de volume medido} \frac{228,6mm}{\textit{diâmetro da roda após o ensaio}} \quad \text{Equação 4}$$

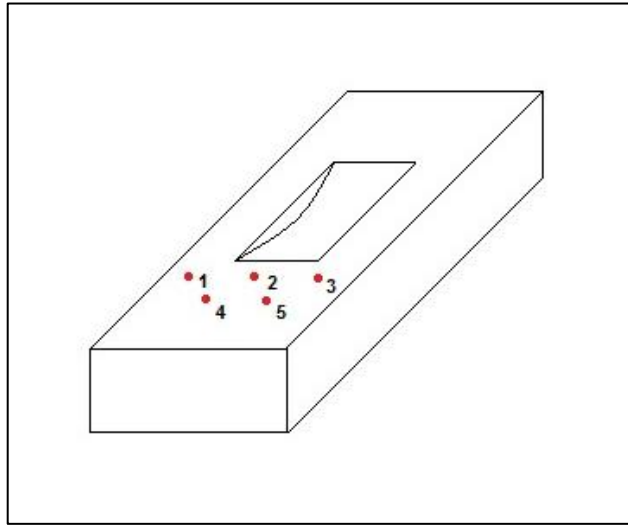
$$AML = \textit{perda de massa medida} \frac{228,6mm}{\textit{diâmetro da roda após o ensaio}} \quad \text{Equação 5}$$

Posteriormente, a fim de obter a taxa de desgaste abrasivo, o valor de AML foi dividido pela distância percorrida pela roda durante o ensaio, obtendo assim o valor de Td (taxa de desgaste), como mostra a Equação 6.

$$Td = \frac{AML [mg]}{5[min]*200[rpm]*diam[m]*\pi} \left[ \frac{mg}{m} \right] \quad \text{Equação 6}$$

### 3.2.5 Determinação de Dureza

Ensaio de dureza HRc foram feitos na superfície dos corpos de prova de desgaste. Cinco identações em uma amostra de cada condição, seguindo o posicionamento mostrado na Figura 13. Essa metodologia foi adotada pra tentar evitar ou mesclar as variações de dureza decorrentes das diferentes regiões dos cordões depositados.



**Figura 13 – Posicionamento das identações de dureza HRc.**

### 3.2.6 Análise Morfológica e Metalográfica

Antes do ataque químico feito para a análise metalográfica, foram feitas macrografias das amostras com aumento de 6,3x. A partir delas, foram feitas medições de largura, penetração, reforço e diluição nos cordões. A Figura 4 (item 2.1.4.1) ilustra a seção transversal e as medições realizadas.

Após as macrografias, as amostras sofreram ataque químico com o reagente Vilella durante 15 segundos. Considerado de uso geral, o ataque com esse reagente visa revelar contornos de grãos austeníticos, carbonetos em aços de baixa liga e microestruturas martensíticas (ASM Handbook, Vol 9, 2004).

As micrografias foram realizadas com aumentos de 50, 100, 200, 500 e 1000 vezes.



### 3.3 Equipamentos

- **Soldagem:** Os equipamentos utilizados para a soldagem foram: fonte IMC DigiPlus A7 com alimentador de arame IMC STA20-2 e o sistema de deslocamento automático IMC Tartilope V1, conforme Figura 14, de forma que não houvesse intervenção humana durante o processo. A Figura 15 mostra o sentido do deslocamento da tocha, a fixação do alimentador de arame e suas respectivas posições.

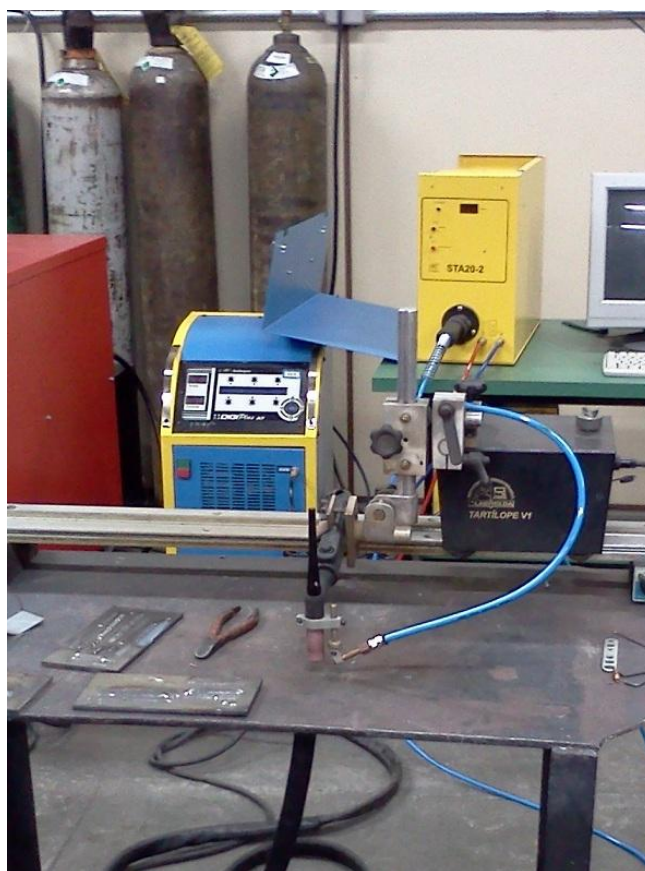
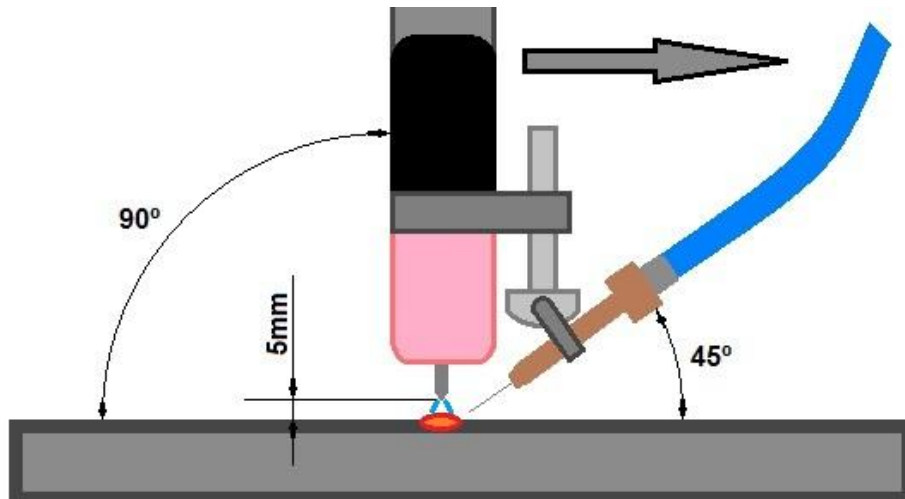


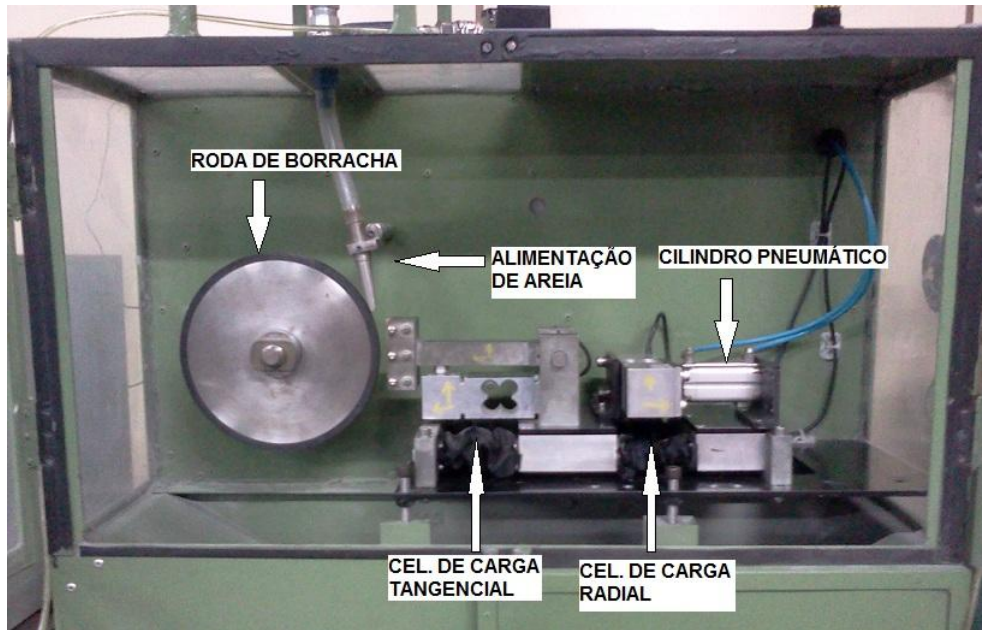
Figura 14 – Equipamentos de soldagem utilizados.



**Figura 15 – Posicionamento da tocha e alimentação do arame.**

- **Usinagem:** para o corte das chapas onde foram depositados os cordões, foi utilizada a cortadeira automatizada Buehler Delta Automatic Abrasive Cutter. No fresamento dos corpos de prova foi utilizada a fresadora Tos FA 3A-V e na sequência a retificação foi feita utilizando a retificadora plana tangencial Ferdimat T104.
- **Preparação para análise metalográfica e morfológica:** foram utilizados a embutidora Struer Predopress, a lixadeira rotativa Struers Knuth-Rotor 3, e a politriz Struers Dap-V.
- **Ensaio de desgaste:** inicialmente, foi utilizada a limpadora de amostras por ultrassom Struers Metason 60T e a secadora de amostras Struers Drybox-2. Na medição das massas, a balança de alta precisão Shimadzu AUY220, que possui resolução de 0,2mg.

Nos ensaios de desgaste em roda de borracha foi utilizado o abrasômetro tipo roda de borracha, automatizado, construído na UTFPR. Esse equipamento possui um controle das cargas envolvidas no ensaio e devolve um sinal a um motor de passo, que por sua vez corrige a carga radial aplicada sobre a roda. A Figura 16 mostra a configuração atual do equipamento.



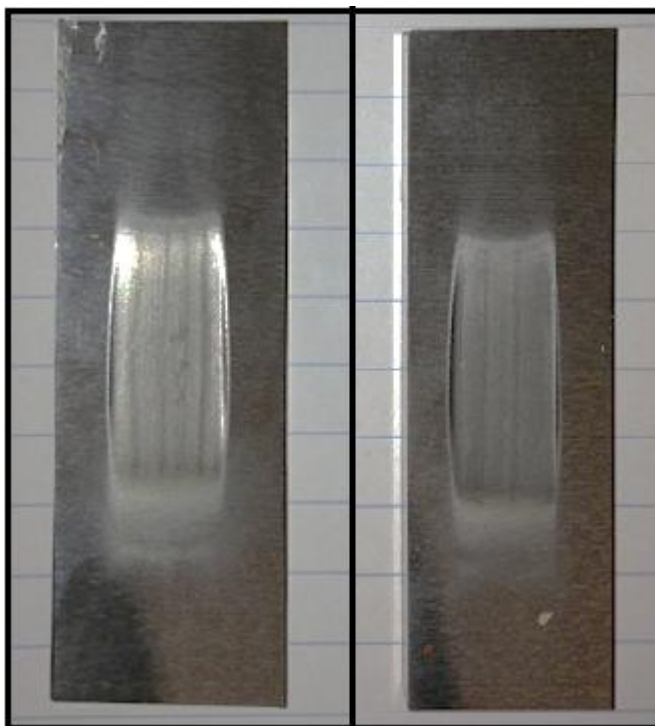
**Figura 16 - Esquema atual do Abrasômetro tipo Roda de Borracha – UTFPR.**

- **Dureza:** Nos ensaios de dureza, o equipamento utilizado foi o durômetro Emco Test M4C 025 G3M
- **Análise metalográfica e morfológica:** as análises de morfologia foram feitas utilizando o macroscópio Olympus SZX10, a câmera Olympus DP25-4 e o *software* de medição Image Pro Plus. As macrografias e análises metalográficas foram feitas utilizando o microscópio ótico Olympus BX51M e a câmera CCD CoolSNAP-Pro, bem como o *software* Image Pro Plus.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaios de desgaste abrasivo

O aspecto dos corpos de prova que sofreram desgaste abrasivo está ilustrado na Figura 15.



**Figura 17 – Corpos de prova após ensaio de desgaste abrasivo nas condições 10 cm/min e 20 cm/min, respectivamente.**

Os resultados medidos e corrigidos, conforme a Equação 5, podem ser vistos na Tabela 5.

**Tabela 5 – Resultados de perda de massa das amostras.**

Perda de massa X Velocidade de Soldagem					
Parâmetros		Perda de massa AML (mg)			
Condição	Vs (cm/min)	CP#1	CP#2	Desgaste médio	Desvio Padrão
Condição 1	10	386,3	459,3	<b>422,8</b>	51,6
Condição 2	20	434,2	479,3	<b>456,7</b>	31,9
Condição 3	30	453,3	450,6	<b>451,9</b>	1,9

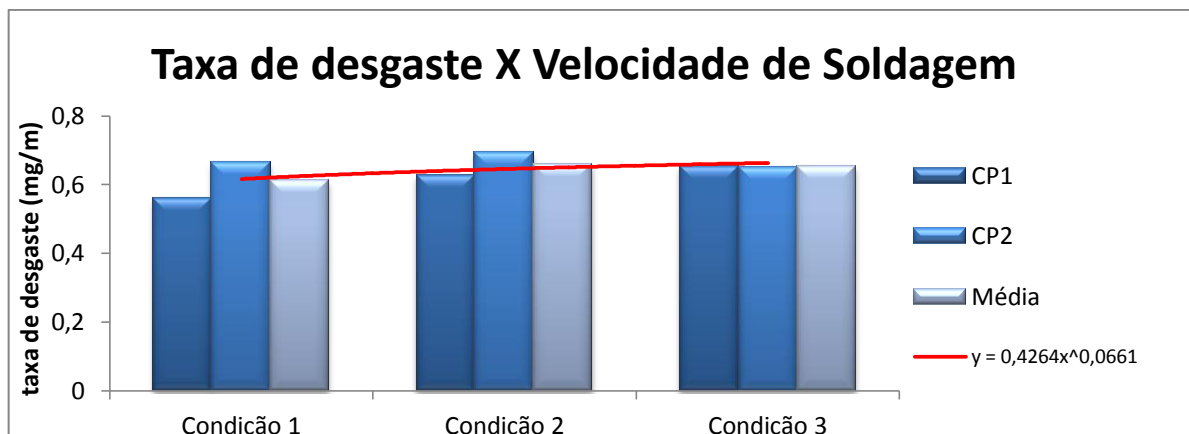
A perda de massa, portanto, foi levemente menor na primeira condição, a de menor velocidade. As condições 2 e 3 tiveram desgaste iguais. Observando os desvios padrões, não é possível dizer que houve variação significativa do desgaste nas três condições.

A Tabela 6 mostra a variação das taxas de desgaste [mg/m] com a variação da velocidade de soldagem.

**Tabela 6 - Taxas de desgaste das amostras.**

Taxas de desgaste X Velocidade de Soldagem									
Parâmetros		Desgaste AML (mg)		Diâmetro da roda pós ensaio (mm)		Taxa de desgaste (mg/m)			
Condição	Vs (cm/min)	CP#1	CP#2	CP#1	CP#2	CP#1	CP#2	Taxa média	Desvio Padrão
Condição 1	10	386,3	459,3	220,3	220,1	0,5582	0,6642	<b>0,6112</b>	0,075
Condição 2	20	434,2	479,3	220,3	219,9	0,6274	0,6938	<b>0,6606</b>	0,047
Condição 3	30	453,3	450,6	220,2	219,9	0,6553	0,6523	<b>0,6538</b>	0,0021

A Figura 18 mostra um gráfico da variação nos dois ensaios de cada condição e a tendência de desgaste, representada pela linha vermelha.



**Figura 18 – Gráfico de variação nos ensaios de desgaste.**

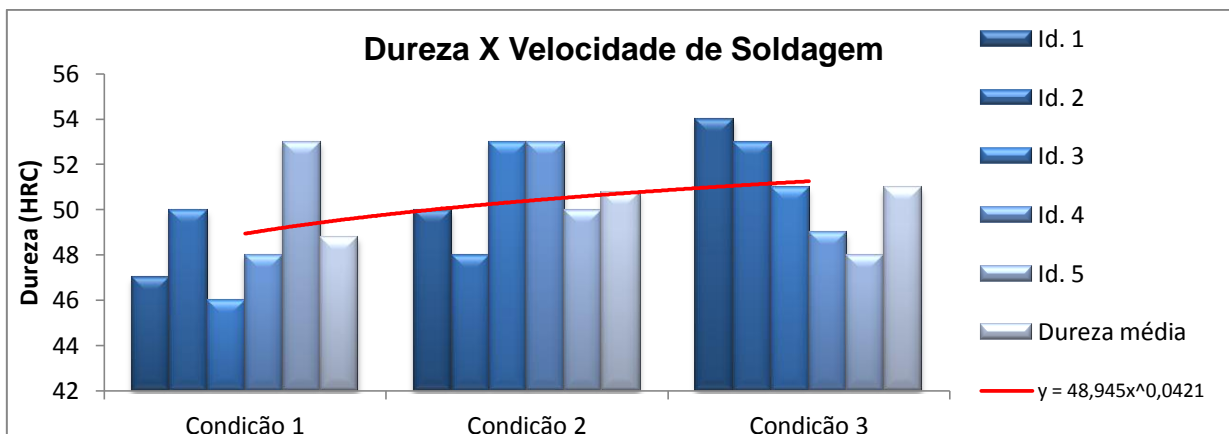
#### 4.2 Ensaios de dureza

Como discutido no item 3.2.5, as medições de dureza foram feitas nos corpos de prova de desgaste e de maneira a distribuir as identações (ver Figura 13). A Tabela 7 mostra os resultados das medições.

**Tabela 7 – Resultados dos ensaios de dureza.**

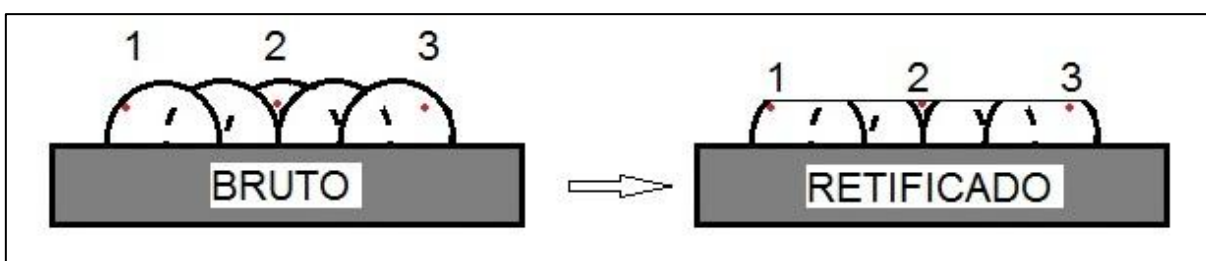
Dureza X Velocidade de Soldagem								
Parâmetros		Dureza (HRC)						
Condição	Vs (cm/min)	Id. 1	Id. 2	Id. 3	Id. 4	Id. 5	Dureza média	Desvio Padrão
Condição 1	10	47	50	46	48	53	<b>48,8</b>	2,77
Condição 2	20	50	48	53	53	50	<b>50,8</b>	2,17
Condição 3	30	54	53	51	49	48	<b>51</b>	2,55

O gráfico da Figura 19 mostra a variação nas medições em cada um dos corpos de prova, bem como a tendência na variação da dureza, representada pela linha vermelha.



**Figura 19 – Gráfico de variação nos ensaios de dureza.**

Embora, a princípio, pareça existir um aumento na dureza nas condições 2 e 3, como sugere a linha vermelha, é preciso analisar dois fatores: o desvio padrão próximo da variação percentual entre as três condições, e o fato de as identificações terem sido feitas sobre os cordões de solda já retificados. Esse segundo fator, faz com que as identificações ora estejam no ponto mais externo do cordão, ora em um ponto mais interno, como ilustrado na Figura 20, fazendo com que os resultados fiquem sujeitos à heterogeneidade dos cordões. Essa, uma possível justificativa para o alto desvio padrão, mas não descaracteriza o ensaio, visto que reflete a condição real de análise da peça revestida.



**Figura 20 – Posição das identificações nos corpos de prova bruto e retificado.**

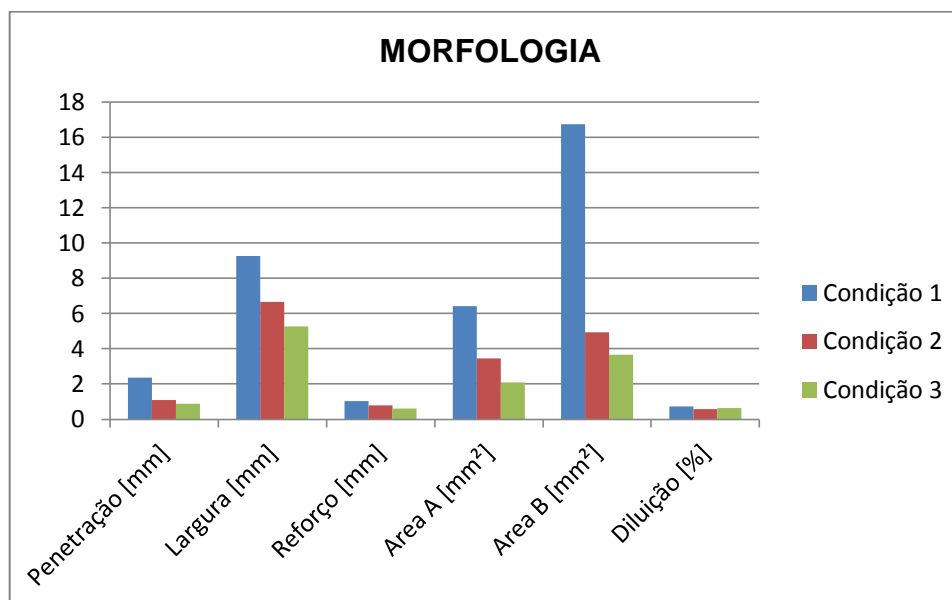
Podemos concluir então que não houve variação significativa de dureza entre as três condições analisadas.

### 4.3 Análise morfológica dos cordões

Os resultados da análise morfológica dos cordões podem ser vistos na Tabela 8 e no gráfico mostrado na Figura 21.

**Tabela 8 – Resultados da análise morfológica dos cordões.**

MORFOLOGIA			
	Condição 1	Condição 2	Condição 3
Penetração [mm]	2,35	1,08	0,87
Largura [mm]	9,26	6,66	5,28
Reforço [mm]	1,02	0,8	0,62
Area A [mm <sup>2</sup> ]	6,43	3,45	2,1
Area B [mm <sup>2</sup> ]	16,75	4,95	3,67
Diluição [%]	72,26%	58,93%	63,60%



**Figura 21 – Gráfico da variação morfológica dos cordões.**

É possível observar uma largura e penetração substancialmente maiores na condição 1, o que era esperando por ser uma condição de maior energia. Em todos os casos, porém, a diluição foi bastante alta, muito maior do que o previsto na literatura (cerca de 2 a 20%) - BAPTISTA e NASCIMENTO, [2012]. Alguns fatores que podem ter influenciado esses resultados são: soldagem em CC- (polaridade direta), ângulo de afiação do eletrodo (90°), corrente muito alta (160A) e a espessura das chapas utilizadas, que pode ter dificultado a dissipação de calor – SAVAGE [1965] e MIRANDA [2009]. A Tabela 9 mostra as taxas de deposição nos três casos:



primeiramente enfatizando a área depositada e abaixo o volume de material depositado no reforço do cordão, parcela que representa o revestimento sujeito ao desgaste efetivamente.

**Tabela 9 – Taxas de deposição.**

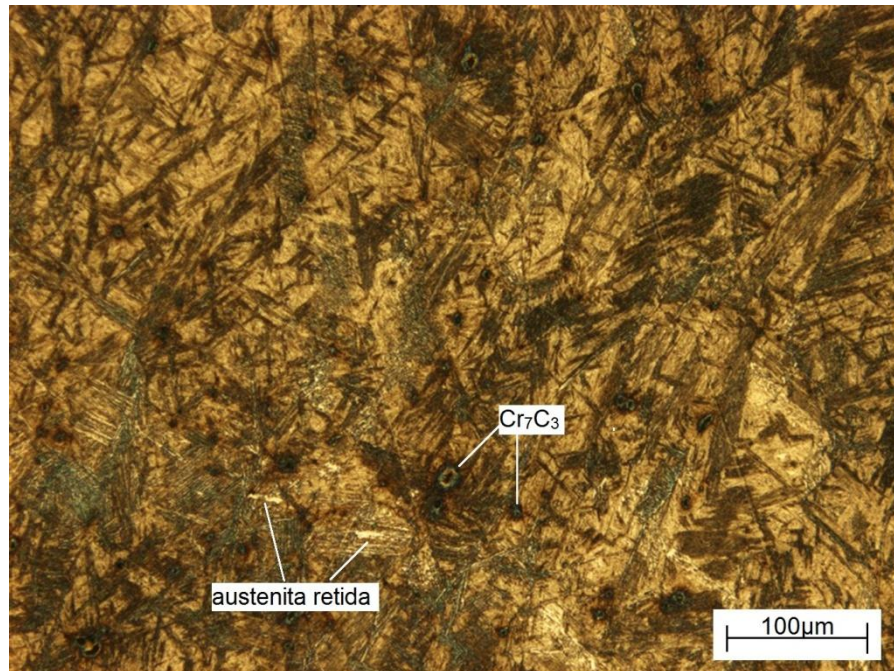
<b>TAXA DE DEPOSIÇÃO (mm<sup>2</sup>/min)</b>		
<b>Condição 1</b>	<b>Condição 2</b>	<b>Condição 3</b>
926	1332	1584
<b>TAXA DE DEPOSIÇÃO (mm<sup>3</sup>/min)</b>		
<b>Condição 1</b>	<b>Condição 2</b>	<b>Condição 3</b>
643	690	630

Apesar de cobrir uma área muito maior, a condição 3 é a que apresenta menor taxa de deposição volumétrica. Condição propícia para revestimentos menos espessos e maior produtividade. Por outro lado, a condição 1, apesar de apresentar uma cobertura de área mais lenta, oferece um revestimento mais espesso que as outras condições; cerca de 20% se comparado à condição 2 e 40% se comparado à condição 3.

#### **4.4 Metalografia**

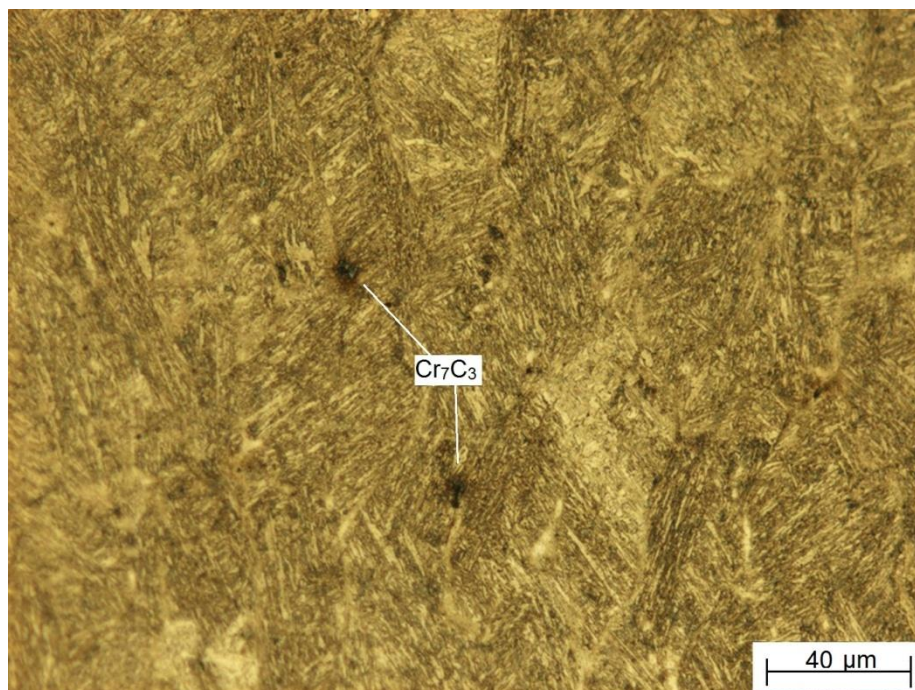
A análise metalográfica da amostra na condição 1 revelou uma estrutura predominantemente martensítica (placas e ripas). É possível observar algumas ilhas de austenita retida e provável presença de carbonetos de cromo (Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) em toda a área analisada, como mostra a Figura 22.

A condição 1 sofreu resfriamento mais lento, com velocidade de soldagem de 10cm/min, o que favoreceu a formação de carbonetos em toda a extensão do cordão. A dispersão da pequena quantidade desses carbonetos em todo o volume dos cordões pode ter conferido o ligeiro aumento na resistência ao desgaste sem que houvesse alteração da dureza.

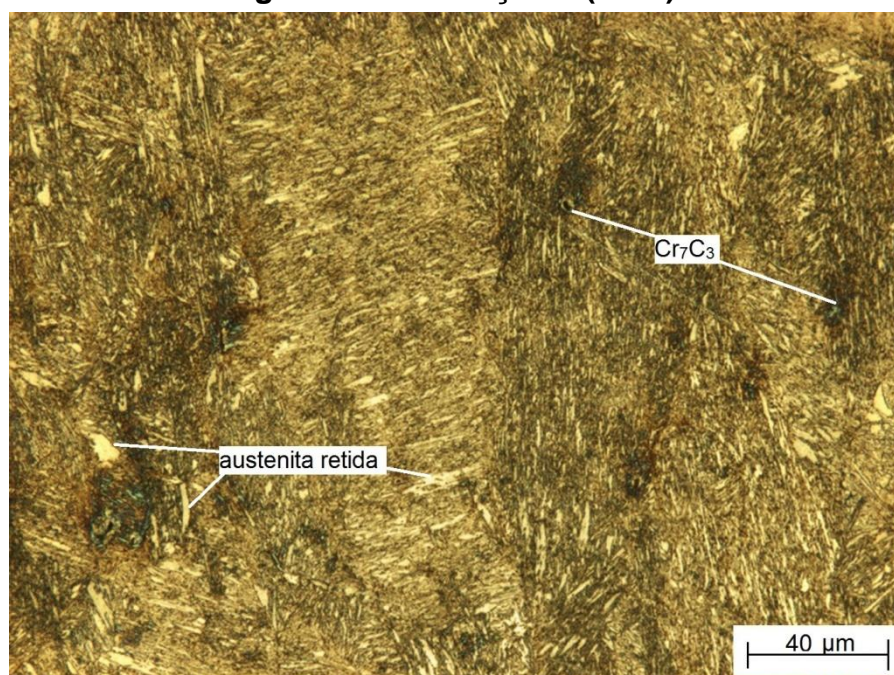


**Figura 22 – Condição 1 (200x).**

As Figuras 23 e 24 mostram as micrografias das condições 2 e 3, respectivamente. Em ambas, foram observadas estruturas martensíticas, no entanto predominantemente em forma de ripas. As ilhas de austenita retida ficaram mais evidentes na condição 3. Nos dois casos, houve a formação de poucos carbonetos, contudo somente no pé dos cordões, como mostram as Figuras 25 e 26.

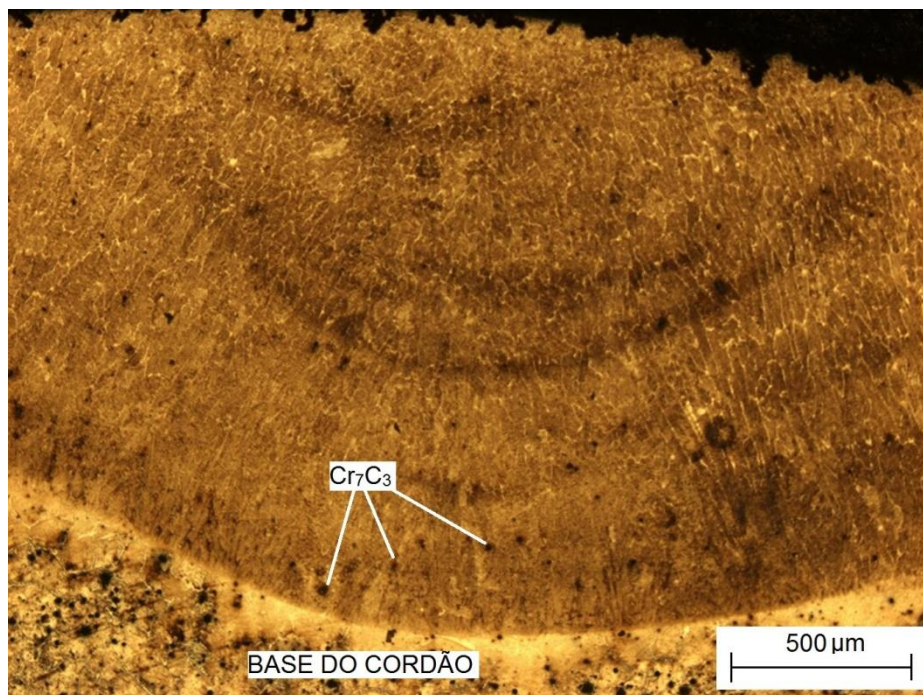


**Figura 23 – Condição 2 (500x).**

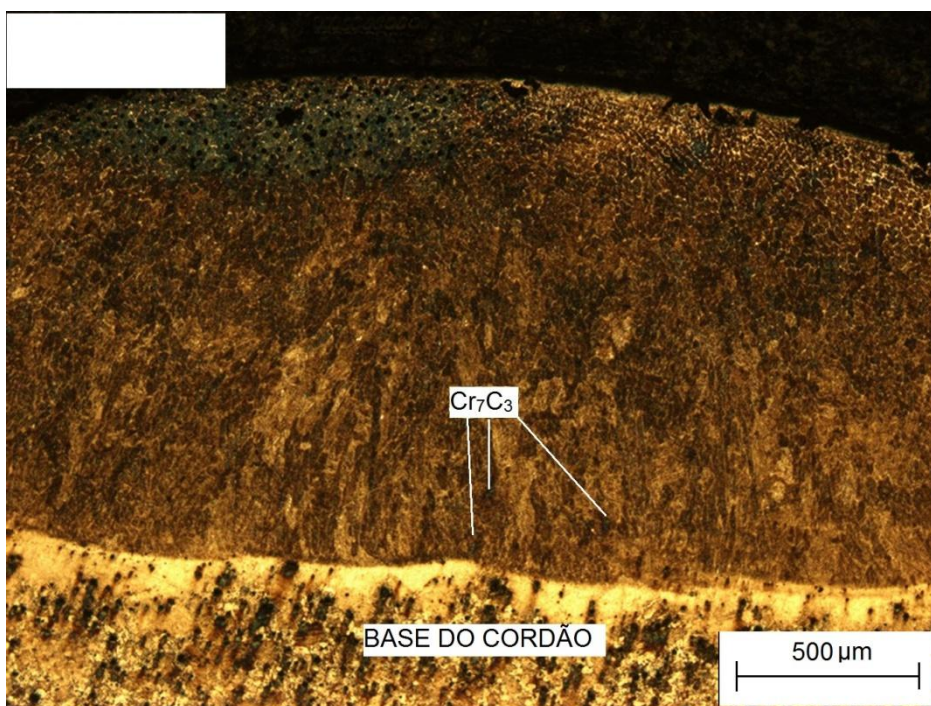


**Figura 24 – Condição 3 (500x).**





**Figura 25 – Condição 2 (50x).**



**Figura 26 – Condição 3 (50x).**

## 5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nos ensaio em roda de borracha, pode-se concluir que a variação da velocidade de soldagem não impactou de forma significativa a resistência ao desgaste das amostras. Além disso, os ensaios de dureza não mostraram alteração entre as três condições. No entanto, as análises metalográficas mostraram influência da velocidade de soldagem na formação e dispersão de carbonetos, bem como o predomínio da matriz martensítica.

Foi possível observar também uma grande diluição do metal de adição nos três casos, o que pode ter comprometido a resistência ao desgaste e a dureza, conforme observado por Zeemann (2003).

Muito embora o foco do trabalho não tenha sido a determinação de parâmetros e sim a análise comparativa, a escolha por valores de alta energia de soldagem e baixa velocidade de deposição resultou em valores relativamente altos de diluição para o processo GTAW.

## 5.1 Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros utilizando o mesmo processo, recomenda-se que o dispositivo de alimentação seja construído de forma mais robusta e simples, a fim de eliminar possíveis variações geométricas do dispositivo, possibilitando o uso de parâmetros menos conservadores.

Ainda como sugestões para futuros trabalhos, análises interessantes podem ser feitas na obtenção do perfil transversal de micro dureza, possivelmente traçando um paralelo de dureza vs resistência ao desgaste. Outras formas de analisar a empregabilidade do processo podem ser feitas aumentando a espessura das chapas de deposição e aumentando o número de passes. Para refinar parâmetros, podem ser feitos trabalhos com foco inicial na análise dos cordões sem adição.

Observou-se ainda que o ângulo de afiação do eletrodo impacta consideravelmente na facilidade da manutenção e tamanho da poça, e conseqüentemente na morfologia dos cordões, portanto também é parâmetro passível de análise isolada em futuras pesquisas no assunto.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento. São Paulo, 1982.
- ASTM International. **Standard Terminology Relating to Wear and Erosion**. Designation: G40 – 01. 2001.
- ASTM International. **Measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus**. Designation: G65 – 04 (Reapproved 2010).
- AWS. **Materials and Applications**. 8ed, Welding Handbook. USA: American Welding Society (AWS). 1991. V2.
- BANOVIC, S. W.; DUPONT, J. N.; MARDER, A. R. **Dilution Control in Gas-Tungsten-Arc Welds Involving Superaustenitic Stainless Steel and Nickel-Based Alloys**. Metallurgical and Material Transaction A. p. 1171-1176. 2001.
- BAPTISTA, André L. de B.; Nascimento, Ivaldo de A. do. **Revestimentos duros resistentes ao desgaste depositados por soldagem utilizados na recuperação de elementos de máquinas**. Disponível em: <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/soldadesgaste.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2012.
- BERNARDI, Vitor de B; **Determinação da dureza de revestimentos duros aplicados pelo processo de soldagem com arames tubulares (FCAW)**. 25 f. Relatório (Iniciação Científica – Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BRACARENSE, Alexandre Q. **Processo de Soldagem TIG**. Disponível em: <<http://www.asmtreinamentos.com.br/asm/downloads/soldador/arquivo40.pdf>>. Acesso em 01 de junho de 2013.
- BUCHELY, M.F.; GUTIERREZ J.C.; TORO, A. **The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys**. Wear 01/2005; 259 p. 52-61.
- COE, F. R. **Welding Steel Without Hydrogen Cracking**. The Welding Institute, London, 1973.
- DELGADO, Luiz C. **Estudo e desenvolvimento do processo TIG com alimentação automática de arame**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- GATES, J.D. Two-body and three-body abrasion: a critical discussion, **Wear**, 214, p.139-146, 1998.

GREGOLIN, José Angelo R. **Desenvolvimento de ligas Fe-C-Cr-(Nb) Resistentes ao Desgaste**. 1990. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

HUTCHINGS, I.M. **Tribology. Friction and wear of engineering materials**. London: Edward Arnol, 1992, 273p.

KESTRA. **Catálogo de Consumíveis de Soldagem**. Disponível em <<http://www.kestra.com.br/PDF/consumiveissoldagem.pdf>>. Acesso em 23 de novembro de 2012, 2012.

KORKUT, M.H.; YILMAZ, O.; BUYTOZ, S. **Effect of Aging on the Microstructure and Toughness of the Interface Zone of a Gas Tungsten Arc (GTA) Synthesized Fe-Cr-Si-Mo-C Coated Low Carbon Steel**. Surface Coating Technology. Vol 157, p. 5-13, 2002.

KOU, S. **Welding Metallurgy**. 2ed, New Jersey, U.S.A, John Wiley & Sons; 2002.

LEAL, Longuinho da C. **TRIBOLOGIA - EMC 5315**. Florianópolis. Disponível em <<http://www.lmp.ufsc.br/disciplinas/Stoterau/Tribolbogia-final-v4.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2012.

LEITE, Ricardo V. M; MARQUES, Paulo V. **Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento de três ligas metálicas utilizadas na indústria, aplicadas por soldagem com arames tubulares**. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação: V COBEF, Belo Horizonte, abril de 2009.

LIN, Chi-Ming; CHANG, Chia-Ming; CHEN, Jie-Hao; HSIEH, Chih-Chun; WU, Weite. **Microstructure and Wear Characteristics of High-Carbon Cr-Based Alloy Claddings Formed by Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)**. Surface and Coating Technology. Vol 205, p. 2590-2596. 2010.

MASCARENHAS, Luis Alberto B. **Estudo da Aplicação do Processo TIG Alimentado para a Soldagem em Operação**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MIRANDA, Edvan C. **Estudo Exploratório de Parâmetros de Soldagem de Revestimentos com Ligas de Níquel Empregando o Processo TIG com Alimentação de Arame Frio**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MODENESI, Paulo J; MARQUES, Paulo V. **Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte, 2006.

MONTEIRO, M. P.; CUNHA, J. A. R. N. **Tecnologia de Arames Tubulares com Proteção Gasosa para Revestimentos Anti-Desgaste para Aplicações em Usinas Sucroalcooleiras e Mineradoras**. ABS – XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. P. 195-210, 1993.



RIBEIRO, Júlio C. B; SILVA, Régis G. da. **Desenvolvimento de procedimentos de soldagem TIG e análise de diferentes parâmetros para a soldagem de raiz em tubos aço API 5L grau A.** Congresso Nacional de Soldagem: XXXVII CONSOLDA, Natal, 06 out. 2011.

RIBEIRO, Rubens. **Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Soldados do Tipo Fe-C-Cr Utilizados na Indústria Sucroalcooleira.** 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

SAVAGE, W. F.; STRUNCK, S.S.; ISHIKAWA, Y. **The Effect of Electrode Geometry in Gas Tungsten Arc Welding.** U.S.A., Welding Journal, Nov. 1965, p. 1-8.

STACHOWIAK, Gwidon W.; BATCHELOR, Andrew W. **Engineering Tribology.** 3<sup>rd</sup> ed. Butterworth-Heinemann, EUA, 2005.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio D.; MELLO, Fábio D. H. de. **Soldagem Processos e Metalurgia.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

ZEEMAN, Annelise. **Diluição.** Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/images/Downloads/Artigos/metaldiluio.pdf>>. Acessado em 01 de agosto de 2013.

ZUM GAHR, K-H. **Microstructure and wear of materials.** New York: Elsevier, 1987, v.10. (Tribology series).

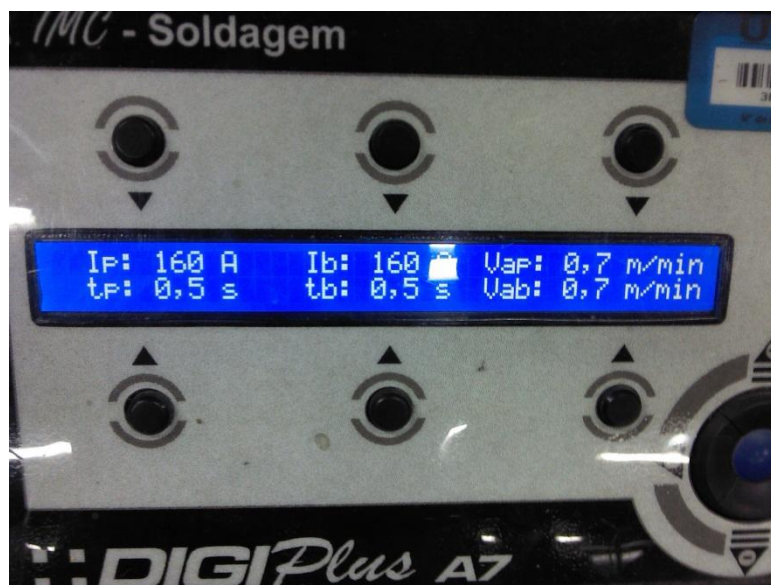
## APÊNDICE A – ORÇAMENTO DO PROJETO

Item	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Custo total	Fonte
Arame Kestra	Rolo (18 Kg)	R\$ 495,00	1	R\$ 495,00	Doação Kestra (Prof. Dr. Aldo Pereira)
Gás "Argônio puro"	Cilindro (10 m³)	R\$ 500,00	1	R\$ 500,00	UTFPr
Eletrodo Tungstênio para tocha TIG	unidade	R\$ 12,00	2	R\$ 24,00	UTFPr
Areia Normal Brasileira IPT	saco (25 Kg)	R\$ 50,00	2	R\$ 100,00	UTFPr
Chapa em aço SAE 1045 1/4 " X 4"	Kg	R\$ 4,50	12	R\$ 54,00	UTFPr
Fonte de Soldagem Multiprocesso DigiPlus A7	hora*máquina*	R\$ 20,00	20	R\$ 400,00	UTFPr
Serra fita	hora*máquina*	R\$ 15,00	3	R\$ 45,00	UTFPr
Fresadora de topo convencional	hora*máquina*	R\$ 28,00	6	R\$ 168,00	UTFPr
Retífica plana tangencial	hora*máquina*	R\$ 35,00	10	R\$ 350,00	UTFPr
Esmerilhadeira	hora*máquina*	R\$ 2,00	1	R\$ 2,00	UTFPr
Durômetro	hora*máquina*	R\$ 15,00	2	R\$ 30,00	UTFPr
Abrasômetro (roda de borracha)	hora*máquina*	R\$ 10,00	4	R\$ 40,00	UTFPr
Impressões	folha	R\$ 0,15	500	R\$ 40,00	Alunos
<b>Custo total do Projeto</b>				<b>R\$ 2.248,00</b>	
<b>Total de recursos custeados pelos alunos</b>				<b>R\$ 40,00</b>	

\*Os valores de hora\*máquina incluem todos os insumos necessários (ferramentas, utilidades, consumíveis, etc...)

**Tabela 10 - Orçamento do projeto**

**APÊNCIDE B – PRE SET DA FONTE DE SOLDAGEM E  
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**



**Figura 27 – Pre set da fonte de soldagem.**



**Figura 28 – Durômetro EMCO-TEST M4C 025 G3M.**



**Figura 29 – Macroscópio Óptico Olympus SZX10.**

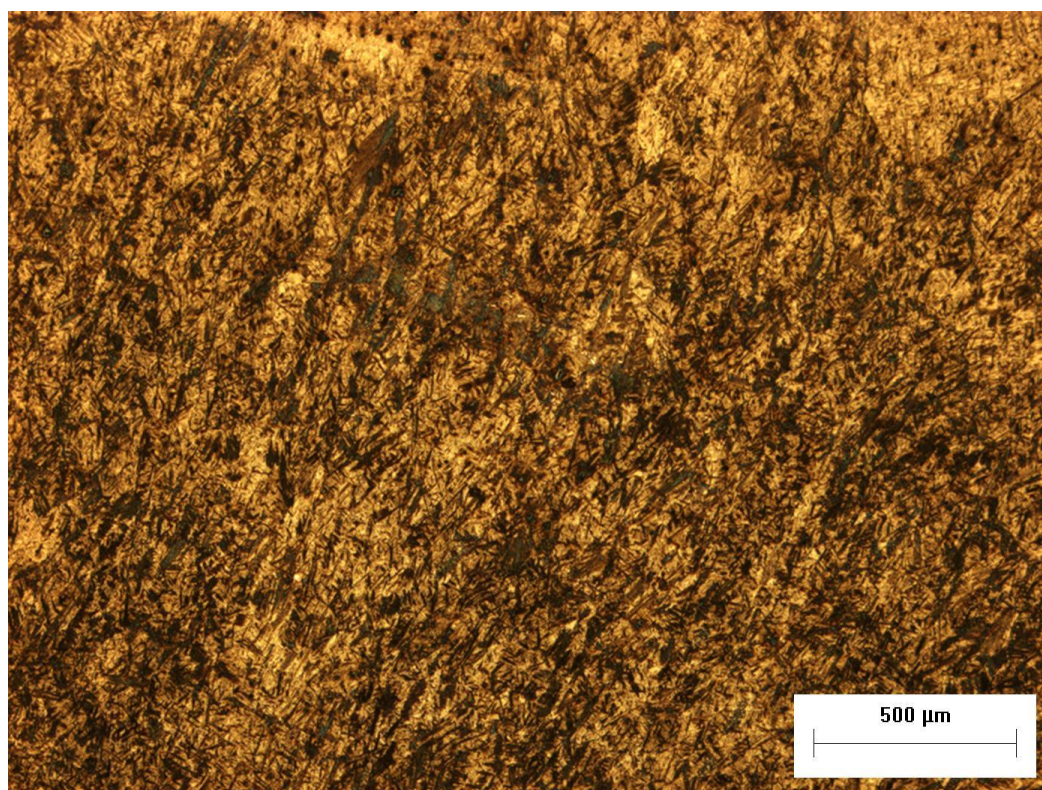
## APÊNDICE C – FASE DE TESTES



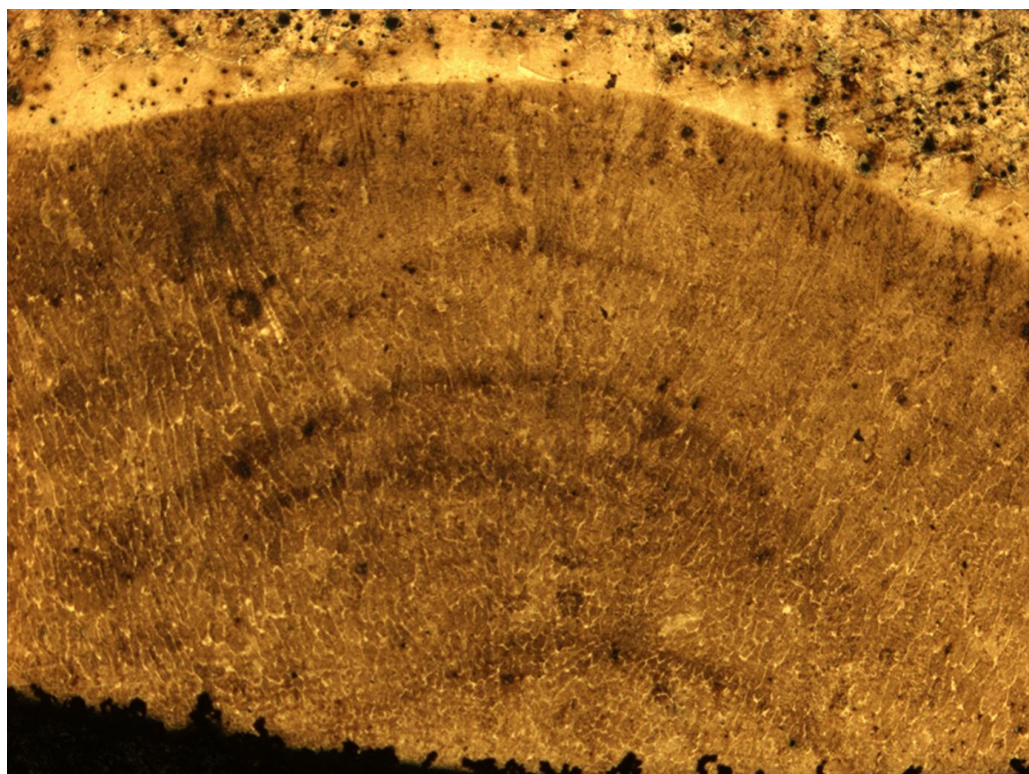
**Figura 30 – Cordões soldados na fase de testes.**



## APÊNDICE D - MICROGRAFIAS

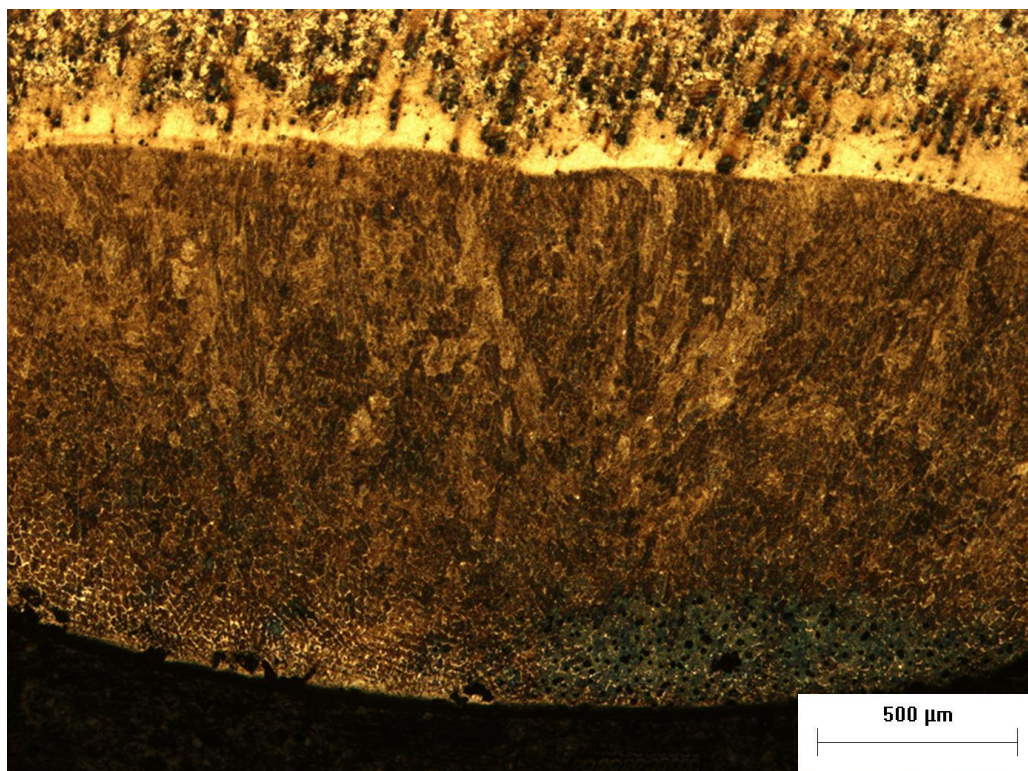


**Figura 31 – Micrografia condição 1 (50x).**

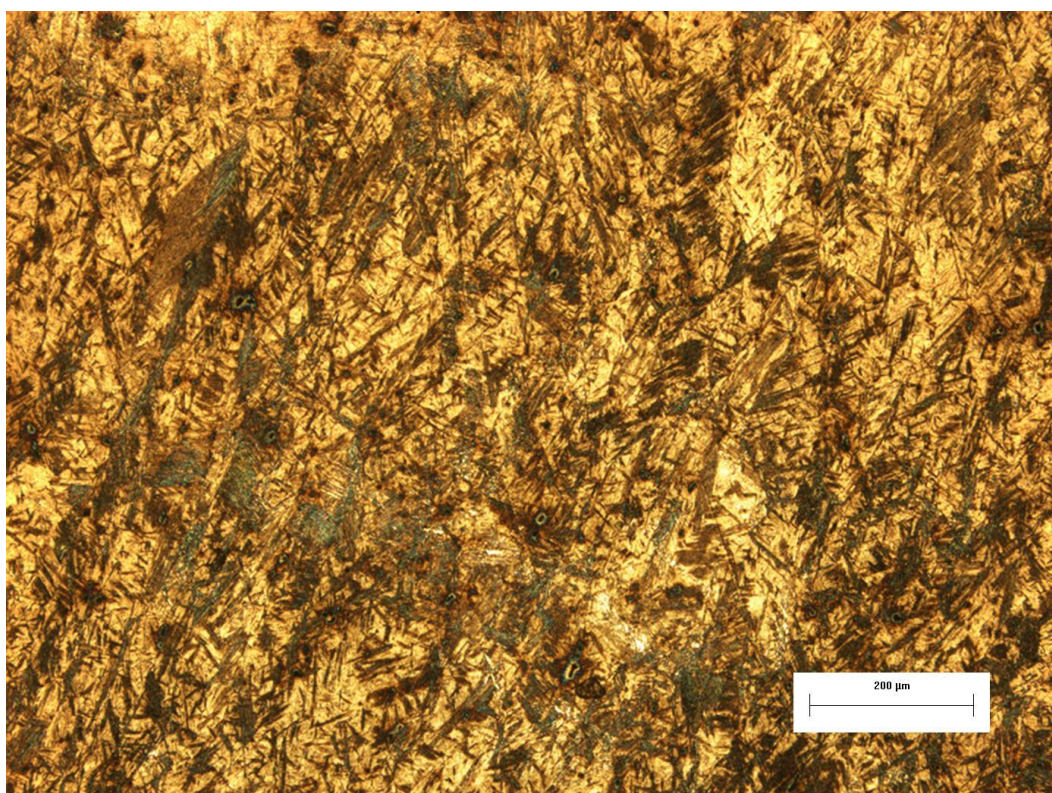


**Figura 32 – Micrografia condição 2 (50x).**



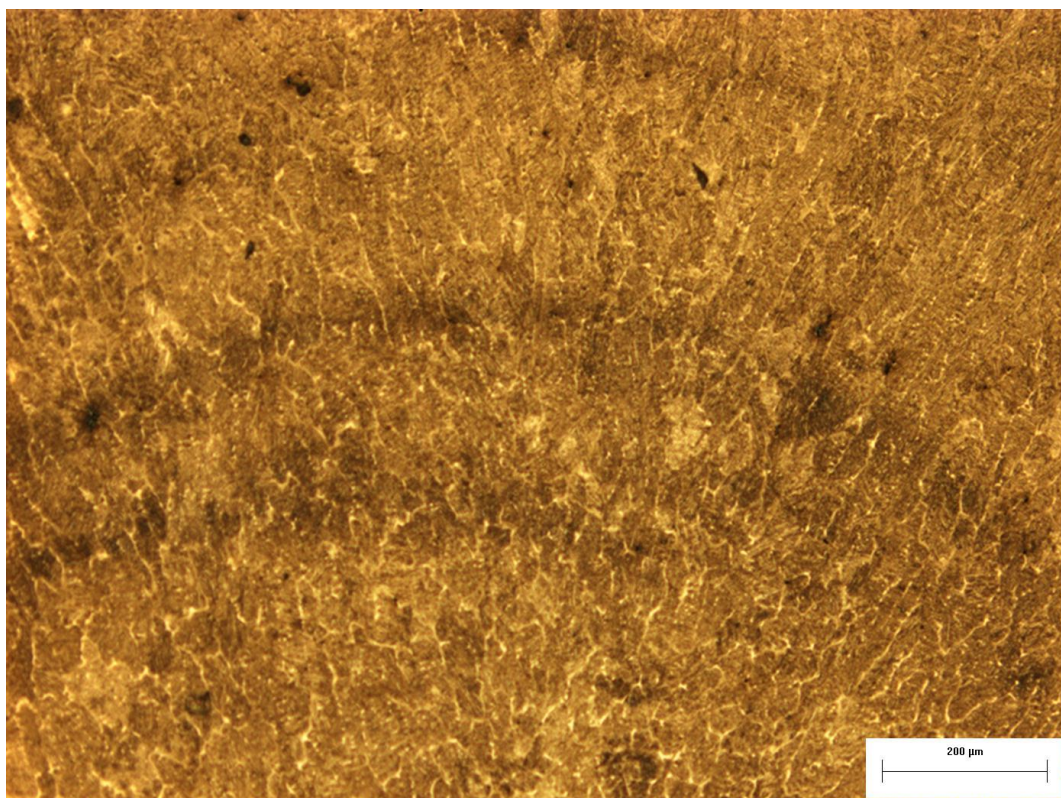


**Figura 33 – Micrografia condição 3 (50x).**

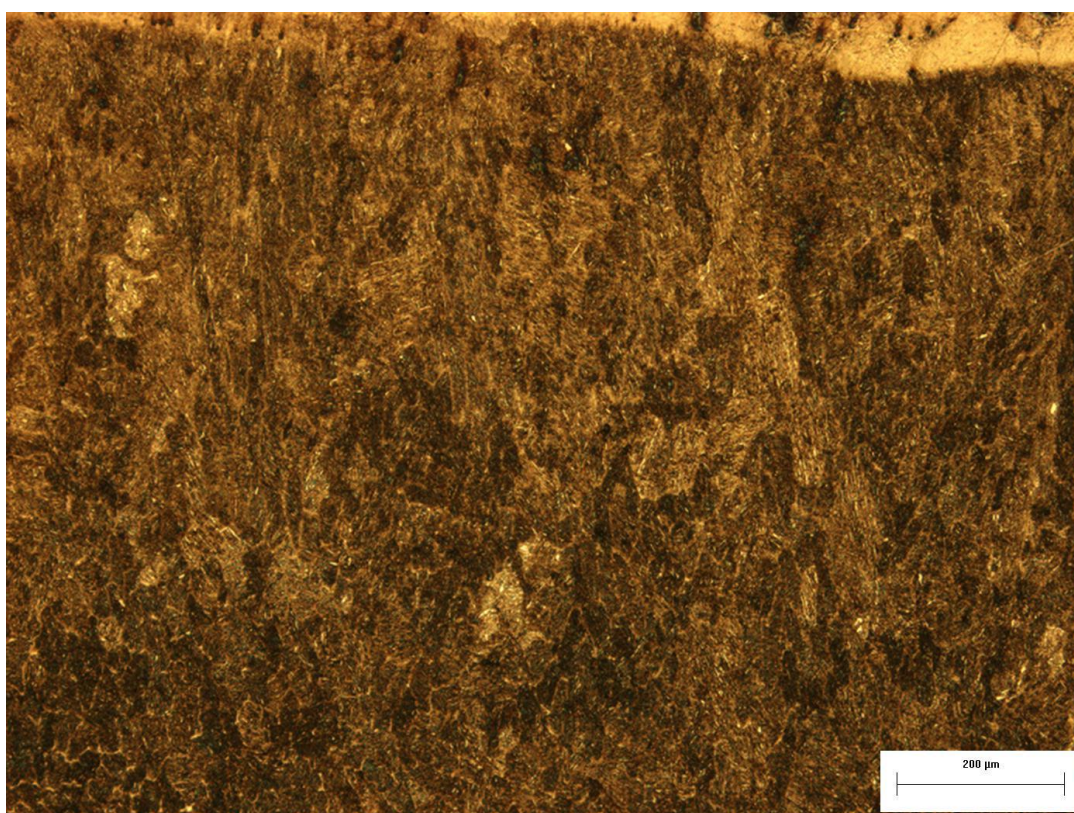


**Figura 34 – Micrografia Condição 1 (100x).**



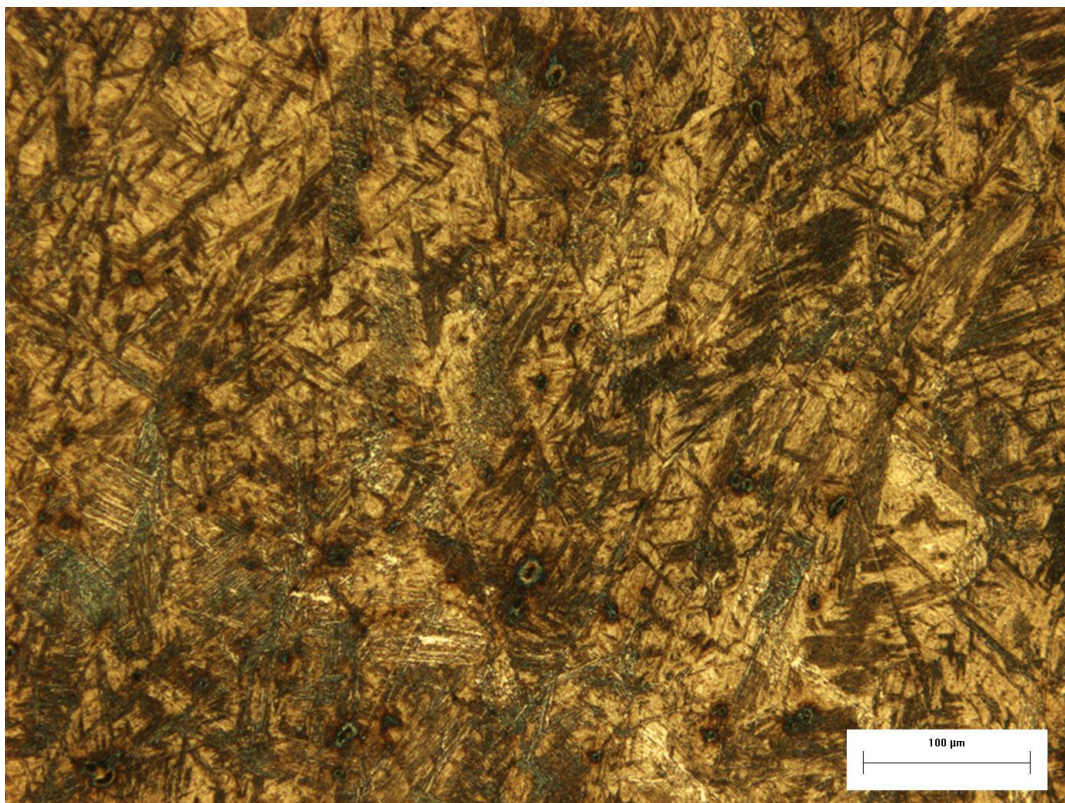


**Figura 35 – Micrografia condição 2 (100x).**

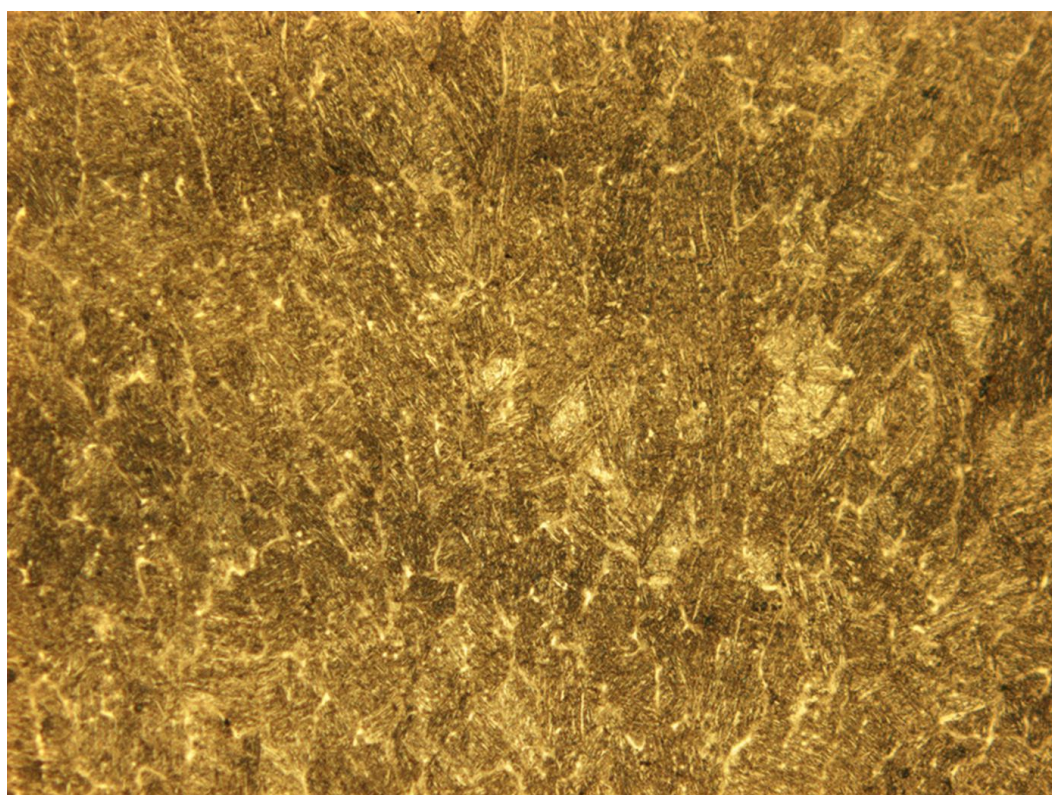


**Figura 36 – Micrografia condição 3 (100x).**



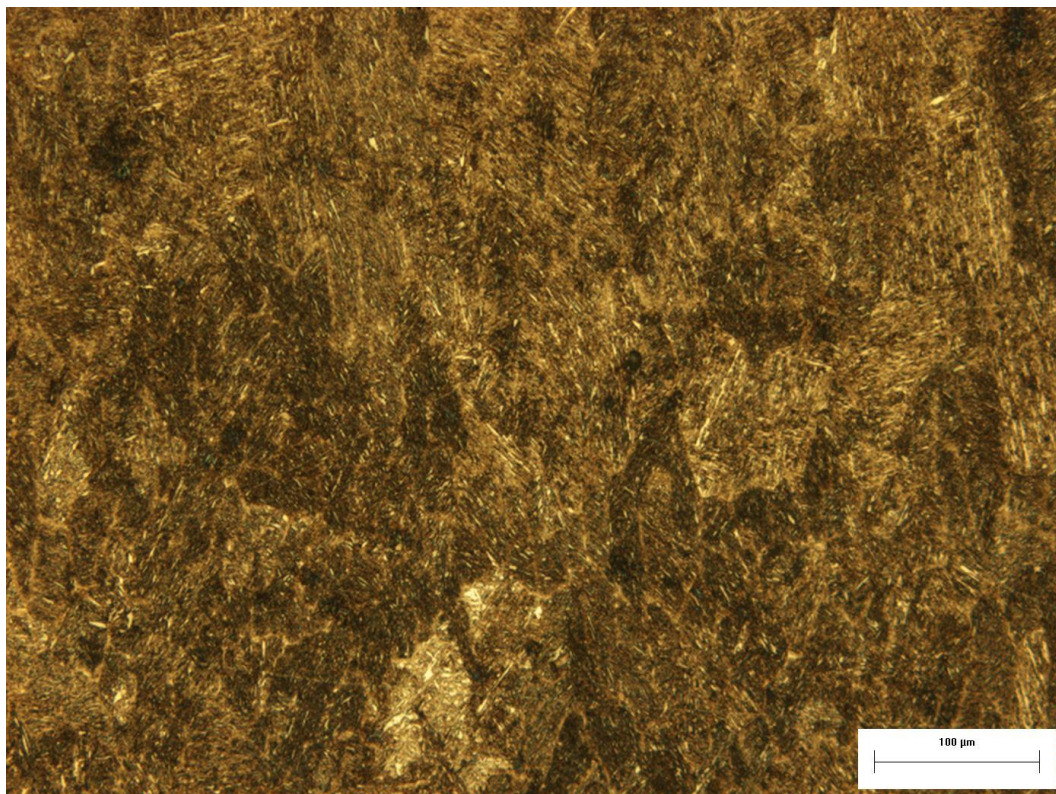


**Figura 37 – Micrografia condição 1 (200x).**

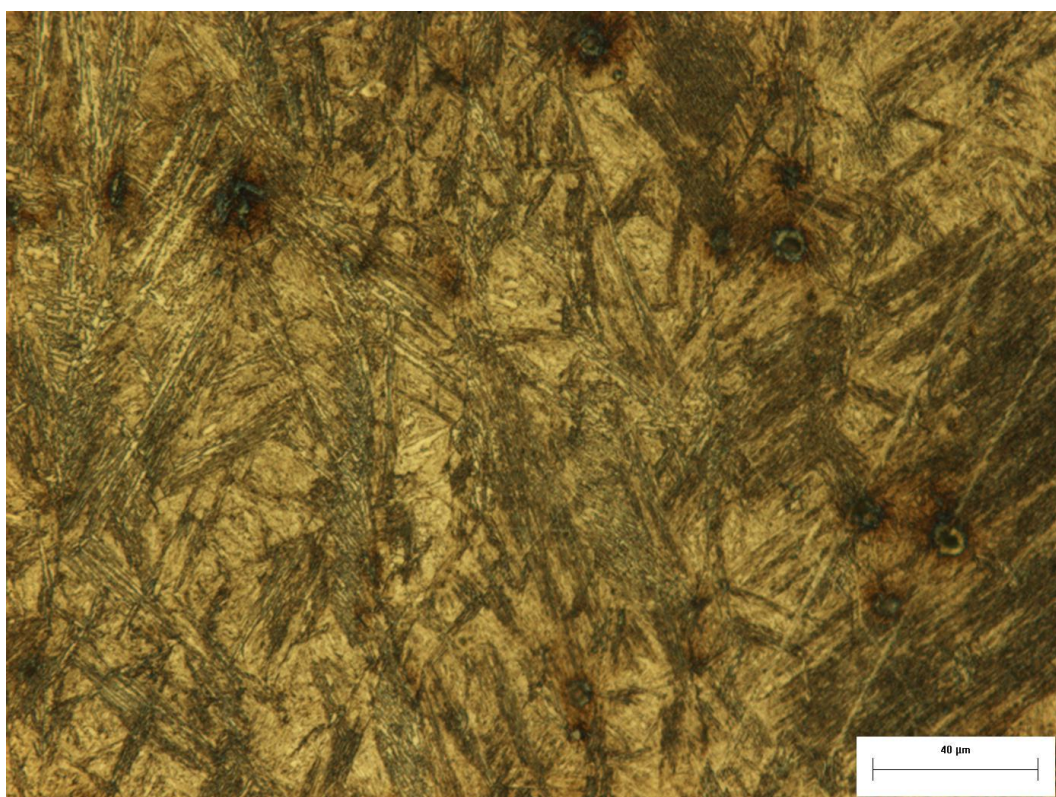


**Figura 38 – Micrografia condição 2 (200x).**



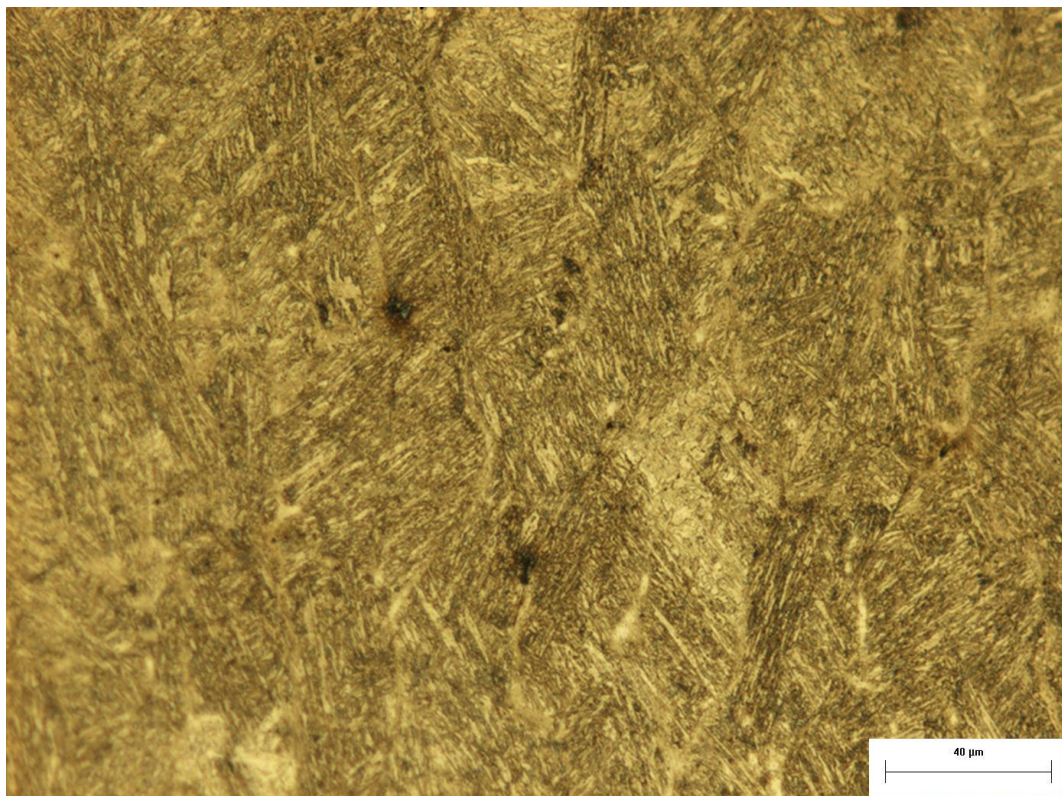


**Figura 39 – Micrografia condição 3 (200x).**

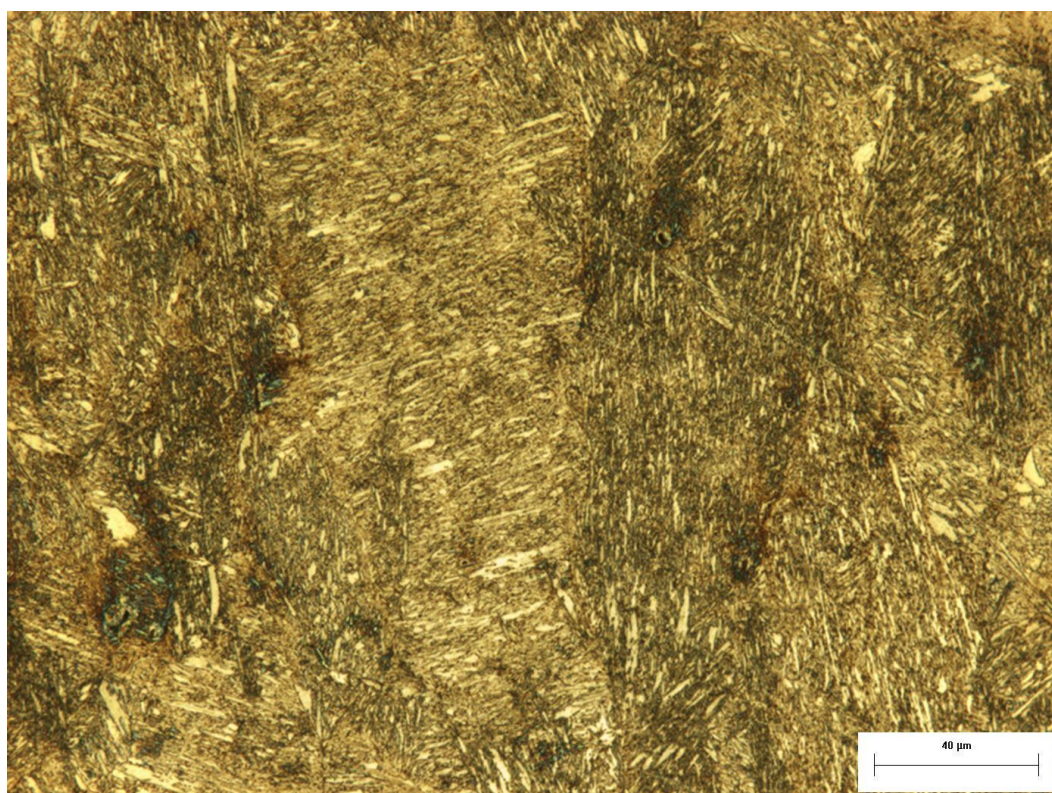


**Figura 40 – Micrografia condição 1 (500x).**



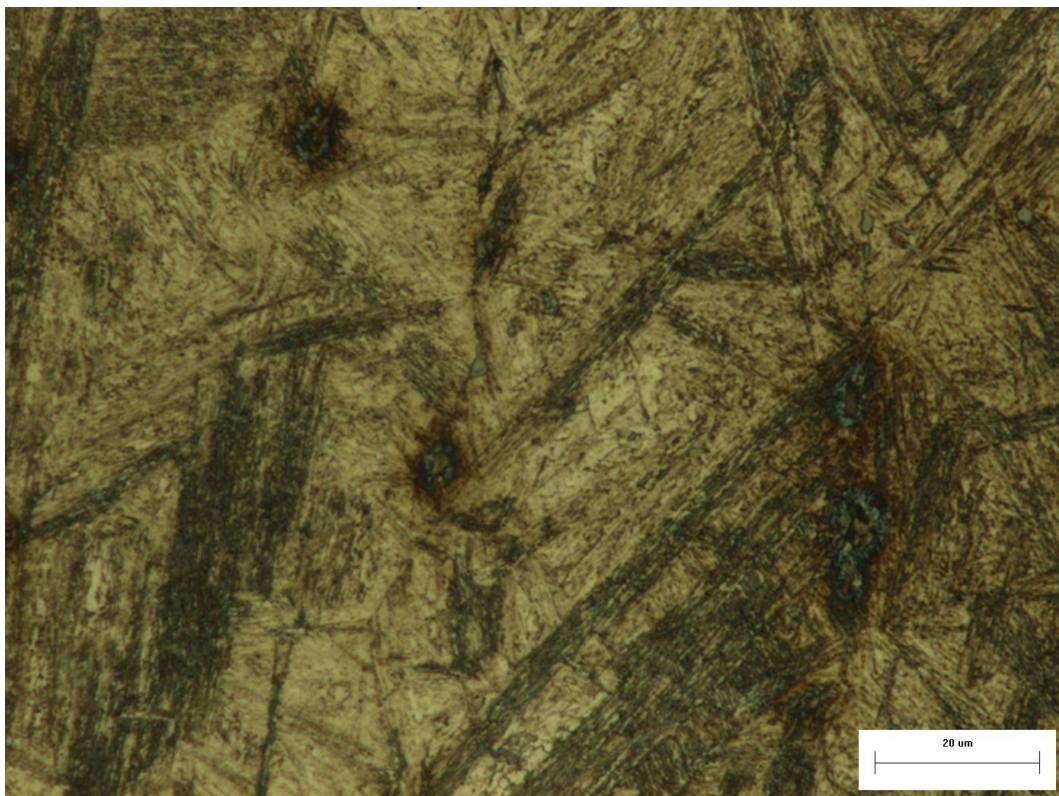


**Figura 41 – Micrografia condição 2 (500x).**

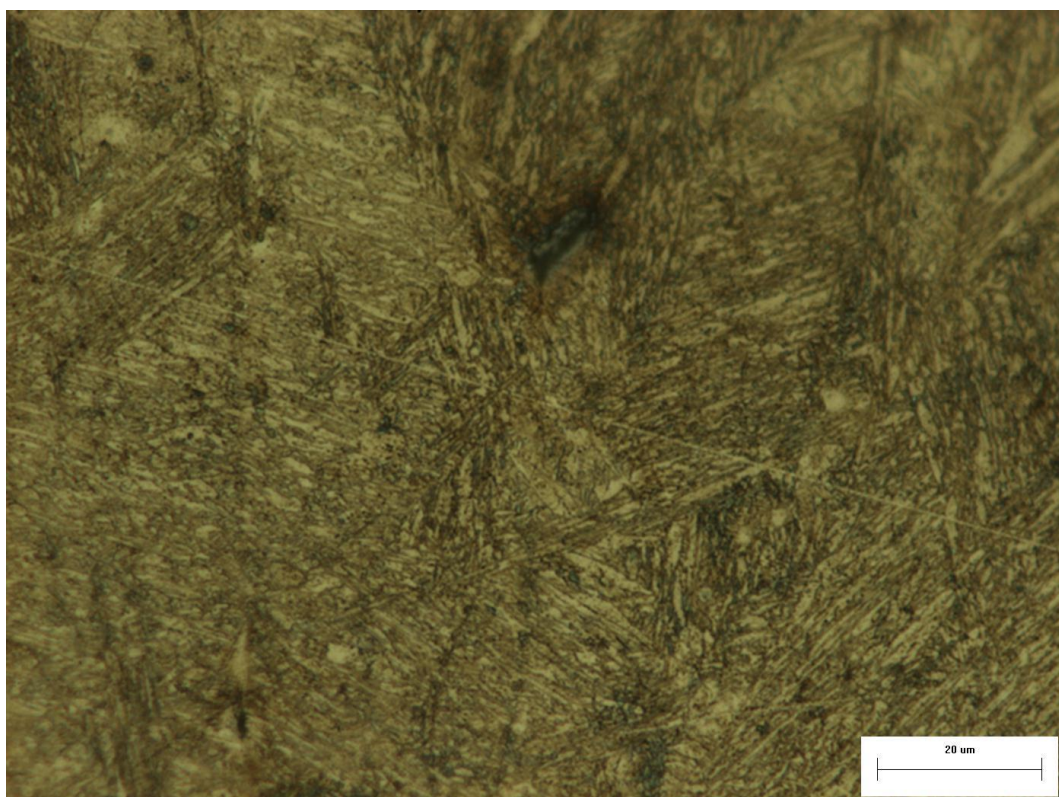


**Figura 42 – Micrografia condição 3 (500x).**

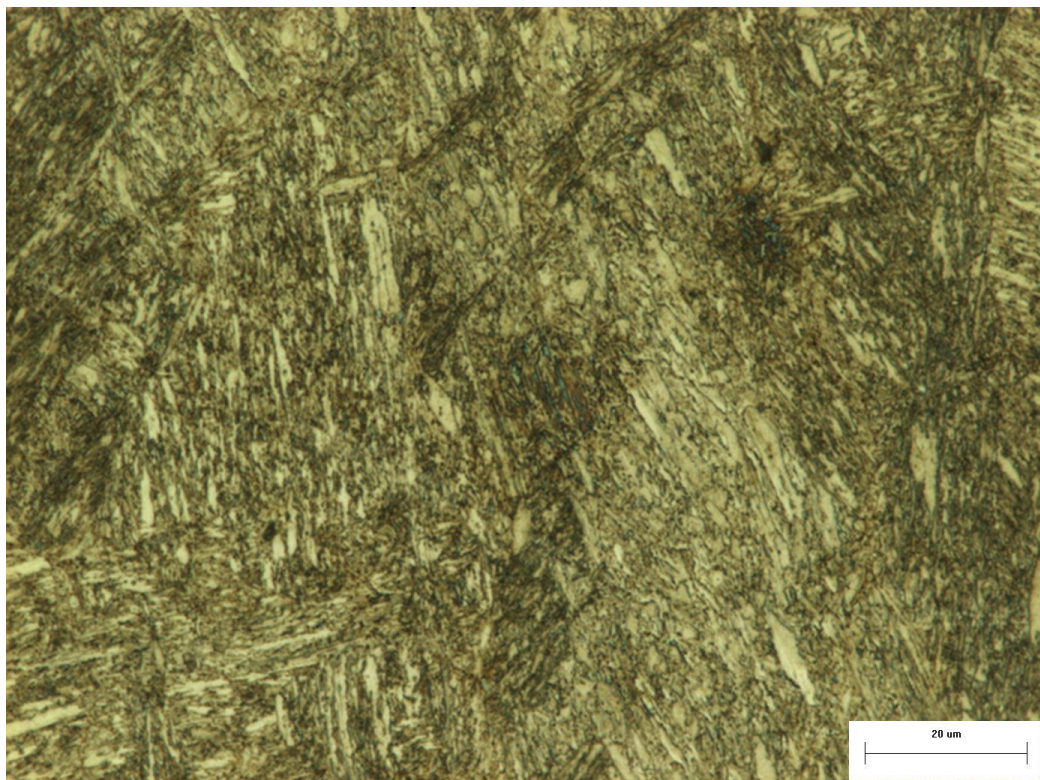




**Figura 43 – Micrografia condição 1 (1000x).**



**Figura 44 – Micrografia condição 2 (1000x).**



**Figura 45 – Micrografia condição 3 (1000x).**