

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem

Trabalho de Conclusão de Curso

**“CASE – Aumento na porcentagem de Argônio no processo GMAW com modulo de transferência Curto Circuito com intuito de diminuir o índice de Respingos (Salpicos) comparando-o com a mistura atual de fabricação ArC20 (80% Argônio e 20% de CO<sub>2</sub>)”**

Autor: Tiago Simplício da Silva

Orientador: Prof. Alexandre Queiroz Bracarense

Junho/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem

Tiago Simplício da Silva

**“CASE – Aumento na porcentagem de Argônio no processo GMAW com módulo de transferência Curto Circuito com intuito de diminuir o índice de Respingos (Salpicos) comparando-o com a mistura atual de fabricação ArC20 (80% Argônio e 20% de CO<sub>2</sub>)”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós Graduação como requisito para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Área de Concentração: Departamento de Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Alexandre Queiroz Bracarense

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

S586c

Silva, Tiago Simplício da.

CASE – aumento na porcentagem de argônio no processo GMAW com modulo de transferência curto circuito com intuito de diminuir o índice de respingos (salpicos) comparando-o com a mistura atual de fabricação ArC20 (80% argônio e 20% de CO2) [manuscrito] / Tiago Simplício da Silva. – 2018.

xiii, 56 f., enc.: il.

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da UFMG, como requisito à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Soldagem.”

Inclui bibliografia.

1. Soldagem. 2. Arco de soldagem a gás de metal. 3. Argônio.  
I. Bracarense, Alexandre Queiroz, 1959-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem

Tiago Simplício da Silva

**“CASE – Aumento na porcentagem de Argônio no processo GMAW com modulo de transferência Curto Circuito com intuito de diminuir o índice de Respingos (Salpicos) comparando-o com a mistura atual de fabricação ArC20 (80% Argônio e 20% de CO<sub>2</sub>)”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós Graduação como requisito para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem pela Universidade Federal de Minas Gerais.

---

Prof. Alexandre Queiroz Bracarense (Orientador) - UFMG

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse e ao longo dessa trajetória árdua, esteve ao meu lado, em todos os momentos. É o maior Mestre que alguém ter.

Ao professor Alexandre Queiroz Bracarense, orientador, pela paciência e dedicação mostrada ao longo do desenvolvimento do presente trabalho.

À Fundação Christiano Ottoni e a Universidade Federal de Minas Gerais representado por sua administração e todo corpo docente que deram suporte e conhecimento, aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Agradeço minha esposa, pela paciência, incentivo e compreensão nos momentos em que me mantive ausente em nossas vidas. Aos meus pais, irmão e parentes, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos engenheiros Marcos Lobato, Katarina e Claudiney Dumont da empresa White Martins, por me ajudarem na disponibilização de recursos e durante o desenvolvimento dos resultados práticos expressos neste estudo.

Aos colaboradores Amarildo do Santos, Magner Donizeti da Silva e Maurício Antônio dos Santos pela paciência e suporte prestados durante os testes práticos que propuseram o conhecimento aqui compartilhado.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

## RESUMO

A busca por uma produção cada vez mais enxuta e sem perdas tem feito a indústria fabricante de máquinas do seguimento da construção civil pesada investir pesado em melhorias que vão desde implantação de ferramentas que auxiliam na identificação de desperdícios (*Lean Manufacturing*) até inserção de novas tecnologias que aumentam o processo produtivo e eliminam operações que não agregam valores no processo de manufatura. Cada fabricante tem o seu próprio programa de melhoria contínua, porém, ambos com um só objetivo, produzir mais com menos e cada vez melhor, possibilitando se diferenciar cada vez mais da concorrência que vem enfrentando nos últimos 5 anos. Os padrões de qualidade desse seguimento tem acompanhado essa evolução da linha automobilística, a mudança na estilização de modelos já existentes com grande aceitação de mercado estão ganhando novas curvas e formatos, com menor consumo e maior segurança atrelados com menos peso e mais conforto e tecnologia. Essa visão causa mudança e toda a cadeia produtiva (fornecedores) que abrange: acabamentos, pneus, conjuntos soldados de grande porte e peças aparentemente simples (que fazem uso do processo de soldagem como forma de união). A eliminação de valores não agregados, tem inserido dentro do processo de soldagem a atenuação e eliminação da geração do respingo originado pelo modo de transferência curto circuito do processo de soldagem a arco com utilização de proteção gasosa na união de chapas finas, essa descontinuidade exige uma dedicação do soldador que não está ligada diretamente ao ato de soldar. Diante desse cenário, o presente trabalho vem expor o estudo de caso de um fornecedor de conjuntos soldados desse seguimento que compara a utilização da mistura de gás ArC10 (90% Argônio e 10% de CO<sub>2</sub>) em relação a mistura de gás ArC20 (80% Argônio e 20% de CO<sub>2</sub>) para unir de chapas de 3 mm e 4,7 mm dentro do processo de soldagem GMAW semiautomático manual com o objetivo de eliminar o tempo gasto na remoção de respingos gerados no modulo de transferência curto circuito com e sem a utilização anti-respingo.

**Palavra-Chave:** Soldagem, Mistura do Gás de Proteção, Respingo, DBCP, Transferência por curto-circuito.

## **ABSTRACT**

The search for an increasingly lean and lossless production has made the heavy machinery construction industry manufacturer heavy investments in improvements that range from the implementation of tools to the identification of waste (Lean Manufacturing) to the insertion of new technologies that increase the production process and eliminate operations that do not add values in the manufacturing process. Each manufacturer has its own continuous improvement program, however, both with only one objective, to produce more with less and each time better, allowing to differentiate more and more from the competition that has been faced in the last 5 years. The quality standards of this follow-up have accompanied this evolution of the automotive line, the change in the stylization of already existing models with great market acceptance are gaining new curves and formats, with lower consumption and greater safety, trailers with less weight and more comfort and technology . This vision causes change and the entire production chain (suppliers) encompasses: finishes, tires, large welded assemblies and seemingly simple parts (which make use of the welding process as a union). The elimination of non-aggregated values has inserted in the welding process the attenuation and elimination of the generation of the spatter originated by the short circuit transfer mode of the arc welding process with the use of gas protection in the union of thin plates, this discontinuity requires a dedication of the welder who is not directly attached to the act of welding. The present work presents a case study of a supplier of welded assemblies that compares the use of the ArC10 gas mixture (90% Argon and 10% CO<sub>2</sub>) in relation to the ArC20 gas mixture (80% Argon and 20% CO<sub>2</sub>) to join plates of 3 mm till 4,7 mm within the manual semi-automatic GMAW welding process with the aim of eliminating the time spent in removing spatters generated in the short circuit transfer module with and without the anti- spatter.

**Keywords:** Welding, Mix Gas Protection, Spatter, Stickout, Short-circuit transfer.

## Sumário

|  |     |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS .....   | ix  |
| LISTA DE TABELAS .....   | xi  |
| LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....                           | xii |
| CAPITULO 1: INTRODUÇÃO .....                                     | 15  |
| 1.1 Justificativa .....  | 17  |
| CAPITULO 2: OBJETIVO .....                                       | 18  |
| CAPITULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                          | 19  |
| 3.1 Aço Carbono .....  | 19  |
| 3.2 Processo de Soldagem .....                                   | 19  |
| 3.3 Modo de Transferência Metálica .....                         | 21  |
| 3.3.1 Distância Bico de Contato-Peça .....                       | 22  |
| 3.3.2 Estabilidade do Processo .....                             | 24  |
| 3.4 Respingo - Origens .....                                     | 25  |
| CAPITULO 4: METODOLOGIA.....                                     | 30  |
| 4.1 Materiais .....  | 30  |
| 4.2 Equipamentos.....  | 32  |
| 4.3 Preparação e Sequenciam de Soldagem.....                     | 34  |
| 4.4 Método de Avaliação .....                                    | 35  |
| 4.4.1 Limpeza .....  | 36  |
| CAPITULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                          | 37  |
| 5.1 Análise metalográfica .....                                  | 37  |
| 5.2 Comportamento do Processo .....                              | 40  |
| 5.3 Resultados com Modificação do DBCP .....                     | 43  |
| 5.4 Resultados na aparência de soldagem – Respingos gerados..... | 47  |
| CAPITULO 6: CONCLUSÕES .....                                     | 53  |
| CAPITULO 7: REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....                        | 55  |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Ilustração esquemática do processo GMAW – MODENESI (2017).....   | 20 |
| Figura 2 – Modo de transferência curto-circuito - SCOTTI et al. (2008) .....  | 22 |
| Figura 3 – Esquemática do comprimento do arco de soldagem - BRACARENSE (2013).<br>.....                             | 23 |
| Figura 4 – Parâmetro de soldagem para processos de alta produção – SÁBIO (2007).....                                | 24 |
| Figura 5 – Influência da configuração da junta na regulagem da vazão do gás de proteção<br>SCOTTI et al.(2008)..... | 28 |
| Figura 6 – Características do Arame de Solda ER70S-6 - BELGO BEKAERT ARMES<br>(2017). .....                         | 31 |
| Figura 7 – Dimensões e Características do material usado em teste. ....   | 31 |
| Figura 8 – Disposição esquemática da máquina de solda ao posto de trabalho (bancada de<br>Teste). ....              | 32 |
| Figura 9 – Distância do bico na peça de contato usadas em teste. ....   | 33 |
| Figura 10 – Equipamento portátil de monitoramento de processo de soldagem IMC. ....                                 | 34 |
| Figura 11 – Imagem dos Corpos de Prova com as respectivas marcações de soldagem. ....                               | 35 |
| Figura 12 – Adaptado de MARQUES (2017) .....  | 37 |
| Figura 13 – Resultados morfológicos dos cordões de solda CP07 com utilização de ArC10..                             | 38 |
| Figura 14 – Resultados morfológicos dos cordões de solda CP06 com utilização de ArC20..                             | 38 |
| Figura 15 – Resultados morfológica da penetração da solda nos CP05 e CP09. ....                                     | 39 |
| Figura 16 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Tensão (CP06).....  | 40 |
| Figura 17 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Tensão (CP07).....  | 41 |
| Figura 18 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Corrente (CP06) .....   | 42 |
| Figura 19 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Corrente (CP07) .....   | 42 |
| Figura 20 – Comportamento da DBCP normal e com bico reto - Arame Ø 0,9 mm (C10).....                                | 44 |
| Figura 21 – Comportamento da DBCP normal e com bico reto - arame Ø 0,9 mm (C20).....                                | 45 |
| Figura 22 – Comportamento da DBCP normal e com bico reto – arame Ø 1,2 mm (C10 x<br>C20) .....                      | 46 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 23 – Quantidade 65 testes preliminares realizados para parametrizar a nova mistura..      | 48 |
| Figura 24 – Quantidade de Respingo ArC10 sem uso de Anti-respingo .....                          | 49 |
| Figura 25 – Quantidade de respingo ArC20 sem uso de Anti-respingo.....                           | 50 |
| Figura 26– Quantidade de respingo gerados com a mistura ArC10 com uso de anti-respingo           | 51 |
| Figura 27 – Quantidade de respingo gerados com a mistura ArC20 com uso de anti-respingo<br>..... | 51 |
| Figura 28 – Resultado de aparência dos testes com o diâmetro de arame 1,2.....                   | 52 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Propriedade dos gases de proteção em comparação ao ar atmosférico – SCOTTI et al. (2008)..... | 29 |
| Tabela 2 – Sequência de corpos de prova com respectiva parametrização.....                               | 35 |
| Tabela 3 - Classificação de Limpeza.....   | 36 |
| Tabela 4 – Resultados Médios encontrados na análise metalográfica.....                                   | 37 |
| Tabela 5 – Resumo dos dados referente ao comportamento coletado no Sistema SAP.....                      | 43 |
| Tabela 6 – Avaliação dos testes quanto a remoção dos respingos gerados. ....                             | 52 |

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A – Corrente elétrica em Amperes

AL – Alongamento

Al – Alumínio

ASTM – American Society for Testing and Material

Ar – Argônio

ArC10 – (90% Arg. e 10% de CO<sub>2</sub>)

ArC20 – (80% Arg. e 20% de CO<sub>2</sub>)

atm – Atmosférica física

B - Boro

C – Carbono

C10 – (90% Arg. e 10% de CO<sub>2</sub>)

C20 – (80% Arg. e 20% de CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CP – Corpo de Prova

Cr - Cromo

CT – Condutividade Térmica

Cu - Cobre

D – Densidade

E - Espessura

DBCP – Distância bico de contato-peça

EPS – Especificação do Processo de Soldagem

GMAW – Gas Metal Arc Welding: Soldagem a Arco com Proteção Gasosa

He – Hélio

IMC – Empresa de criação da maleta de coleta de dados

LE – Limite de escoamento

LTR – Limite de resistência à tração

M - Material

MAG – Metal Active Gas (Proteção com Gases Ativos)

MIG – Metal Inert Gas (Proteção com Gases Inertes)

mm – Milímetro

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

N – Nitrogênio

Nb – Nióbio

NVAA – Not Value Activity Added (Nenhuma Atividade de Valor Agregado)

O – Oxigênio

P – Fósforo

Pb – Chumbo

PI – Potencial de Ionização

RI – Resistência ao impacto

S – Enxofre

SAP – Sistema, Aplicativos e Produtos para processamento de dados

Sb – Antimônio

Sn - Estanho

Ti – Titânio

V – Tensão

Va – Velocidade de Arame

VAA – Value Activity Added (Atividade de Valor Agregado)

Vn – Vanádio

Ø – Diâmetro

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A utilização do processo de soldagem GMAW semiautomático manual tem sido o método de fusão mais usado na indústria de metal mecânica para união de chapas de aço carbono de várias espessuras. Entre as variáveis do processo que afetam a geometria, penetração e a qualidade do acabamento da solda se destacam a composição e a mistura do gás de proteção. Esse elemento tem a principal finalidade blindar o arco de soldagem do ar atmosférico, eliminando impurezas indesejáveis à solda, além disso, pode ocorrer impacto na morfologia e acabamento da junta soldada, tornando o arco de transferência mais suave e/ou mais brusco.

A transferência do metal para união de chapas finas mais usado neste seguimento de soldagem manual é o curto-circuito, também conhecida como “*short circuit*”, capaz de produzir uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento, garantir agilidade e menor impacto ao material trabalhado na soldagem. Em contra partida, esse modo de transferência, gera alguns efeitos sendo o respingo, o mais abundante. Essa ocorrência demanda tempo de limpeza por parte do soldador junto ao processo produto, onde esta atividade não agrega valor ao produto final, diminuindo assim a eficiência da produção e aumentando os custos diretos de fabricação.

O mercado fabricante de máquinas pesadas direcionadas a construção civil vem sofrendo grandes mudanças nos últimos quatro anos que vão desde nova estilização de produtos, empregos de novas tecnologias que aumentam a eficiência de seus produtos assim como materiais que eliminam peso. Essas mudanças modificam os critérios adotados em seus padrões de qualidade, deixando os mesmos mais estreitos e ainda mais rigorosos na questão acabamento do produto final.

Ferramentas ligadas a metodologia *Lean Manufacturing* estão sendo empregadas em toda cadeia produtiva nos fabricantes desse segmento, cada um com sua própria assinatura (nomenclatura), ambas com o mesmo objetivo: menor desperdícios, menor custo, maior produtividade e maior competitividade (produzir mais com menos) em um mercado que vem enfrentando grande concorrência. Nos últimos anos, o número de fabricantes desses equipamentos tiveram um crescimento de cerca de 400%, onde até quatro anos atrás, havia no mercado apenas 10 marcas de fabricantes, atualmente esse número para 40 companhias.

Com a aplicação de ferramentas de análises de desperdício empregada em toda a fabricação, pode-se mapear todo o processo produtivo. Perdas e desperdícios são identificados e trabalhos

são realizados com a finalidade de extinguir e até eliminar esses efeitos indesejados. Durante essas análises, um fornecedor deste seguimento, reparou que o tempo gasto para realizar limpeza (remoção de respingo) em seus produtos soldados demandava um tempo muito alto, impactando a eficiência do seu processo produtivo e diminuindo seu poder de competitividade no mercado.

Entre os pontos mapeados, destacou-se uma grande quantidade de respingo na união de chapas finas, onde para soldagem destas utiliza o modo de transferência curto-circuito com o processo de soldagem GMAW em uma mistura de 80% de Argônio e 20% de CO<sub>2</sub> (conhecida como C20 e/ou ArC20) utilizando máquinas de soldagem com fontes inversoras. Em processos similares ao exposto, em outra planta do grupo, o processo se mostra mais eficiente (menor índice de retrabalho) com a utilização de uma porcentagem ainda mais rica em Argônio (90% Ar e 10% CO<sub>2</sub> – também conhecida como C10 e/ou ArC10).

Neste contexto, o presente estudo, visa correlacionar os ganhos promovidos com a alteração da mistura do gás de proteção C20 para C10 dentro do processo de soldagem utilizando as mesmas características e máquinas usadas na fabricação. Isso permitiu conhecer melhor os ganhos proporcionados pela mudança, o comportamento deste consumível dentro do processo produtivo, o que melhora significativamente o conhecimento sobre o processo de soldagem (impacto e influencia diretamente ligada ao modo de transferência).

O presente trabalho, envolveu um estudo de entendimento do processo GMAW utilizando o modo de transferência de curto-circuito para união de chapas finas entre duas misturas de proteção gasosa utilizadas comercialmente. Foram levantadas e comparadas características físicas de soldagem (distância do bico de contato ao bocal, posição de soldagem, tipo de juntas e combinações de espessuras usadas no processo) e técnicas usadas para remoção dos respingos (aplicação de produtos e forma de limpeza) com a finalidade de manter uma receptibilidade do processo manual realizado no chão de fábrica.

Durante o estudo, uma fotografia do processo produtivo atual foi retirada com a utilização de um aparelho que monitora e registra o tempo de arco aberto, tensão (V), corrente (A), velocidade de arame (Va) ligados à máquina de soldagem com fonte inversora (fonte e cabeçote), além disso, foi testado diferentes bocais com distâncias junto ao bico de contato, assim como o acompanhamento dos testes realizados em laboratório. Um refino da parametrização com a utilização da nova mistura foi realizada com intuito de estabilizar o arco

de soldagem mantendo o modo de transferência curto-circuito igual ao usado na fábrica. Para efeito de validação dos novos parâmetros foram realizado teste complementar destrutivo para certificação do atendimento de requisitos básicos de fabricação (internos ligados diretamente ao produto) como fusão total da raiz e tamanho de pernas. Após realização de cada testes foram feitas fotografias e filmagens com a finalidade de se observar ganhos qualitativos com a mudanças dessa nova porcentagem de Ar inserida no processo de soldagem.

### **1.1 Justificativa**

Devido ao aumento no padrão de qualidade por parte de muitos clientes fabricantes de máquinas direcionadas ao mercado da construção civil, o tempo gasto na limpeza de soldas para remoção dos respingos gerado no processo de soldagem GMAW no modo de transferência curto-circuito para união de chapas finas utilizadas para realizar fechamentos e partes de acabamento são considerados como retrabalho (valor não agregado ao produto). Esse efeito diminui a eficiência da produtividade e peças e conjuntos soldados através deste método.

Visando atenuar e melhorar o valor agregado no processo de soldagem (maior tempo de arco aberto e menor tempo de retrabalho), o aumento dos padrões de acabamento (melhor qualidade e maior produtividade) para atendimento ao mercado da indústria fabricante de máquinas do seguimento da construção civil pesada, e a buscar por processo cada vez mais enxutos (processos sem perdas) atrelados ao aquecimento e crescimento do seguimento, o presente trabalho objetiva mostrar e entender os impactos positivos e negativos na alteração da porcentagem de Ar e CO<sub>2</sub> utilizada na mistura do gás de proteção de soldagem com máquina de solda inversora dentro do processo GMAW com a utilização do modo de transferência curto-circuito.

## **CAPITULO 2: OBJETIVO**

O objetivo do estudo de caso é entender como e porque o aumento da porcentagem de Argônio, em uma mistura binária (com adição de CO<sub>2</sub>) podem proporcionar ganhos e/ou perdas dentro do processo de soldagem que utiliza o modo de transferência curto-circuito – GMAW na união de chapas finas de aço carbono (espessuras de 2 à 4,7 mm) na fabricação de peças e conjuntos soldados em uma caldeiraria.

O presente trabalho, para entender o comportamento deste impacto, se propôs à:

- Estudar a origem e a história do aço carbono, o processo de soldagem utilizado assim como o modo de transferência de curto-circuito para união de chapas finas, origem do respingo no processo de soldagem e o comportamento de uma mistura de gases de proteção dentro do processo de soldagem;
- Aplicar os conceitos estudados em uma simulação representada por corpos de provas (representando as características idênticas as usadas no chão de fábrica), porém em menor escala, usando uma porcentagem diferente de argônio da usada atualmente (atual: ArC20, mistura em teste: ArC10);
- Identificar os impactos (ganhos e/ou perdas) operacionais devido à mudança da mistura com projeção dos mesmos dentro do processo produtivo (fabricação).

## **CAPITULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Aço Carbono**

A origem do Aço Carbono se deu com a adição do elemento químicos chamado Carbono junto ao Ferro, esse outro elemento em questão é usado pelo homem a pelo menos 1200 a.C. A. Segundo COLPAERT (2008) a adição significativa de carbono possibilitou a fabricação em escala industrial no século XVII. A aplicação deste material ao longo dos anos como material de engenharia vão desde fatores técnicos e econômicos. Segundo COLPAERT (2008), na última década do século XX, o uso deste material tem ganhado mais projeção através da adição de outros elementos químicos que possibilitam desde estruturas, propriedades e desempenhos melhores que ao do ferro carbono usado anteriormente. A adição desses elementos proporciona incessantes desenvolvimentos “técnicos” e “científicos” a procura de ligas ainda mais resistentes.

Em seus estudos COLPAERT (2008) define aço com liga de ferro carbono material com cerca de até 2% de Carbono em sua composição geral. Um exemplo desta evolução é o Aço ao Manganês, onde segundo ROMEIRO (1997), trata-se de um aço em estado fundido ou laminando, onde a adição deste supere a 1% de sua massa, ocasionando melhor resistência mecânica. Esta é exigida e empregada em componentes, equipamentos para exploração de madeira, máquinas agrícolas e da construção civil pesada, onde são unidos através dos vários modos em específico o processo de soldagem.

### **3.2 Processo de Soldagem**

Como abordado no subitem anteriormente, o processo de soldagem é uma das maneiras de se unir peças e que vem sendo usado em grande escala na fabricação de máquinas e equipamentos de movimentação de terra (construção civil) e agrícola. Atualmente existem muitos processo de soldagem, porém o processo mais abordado neste estudo de caso é GMAW – *GAS METAL ARC WELDING* – Soldagem a Arco com Proteção Gasosa. Segundo MARQUES et al. (2017) trata-se de um processo no qual à união de peças metálicas são feitas através do aquecimento gerado através de um arco elétrico estabelecido em um eletrodo (consumível) gerando uma poça de fusão que funde e une as peças metálicas e o eletrodo durante o caminho percorrido por este. A região onde ocorre este fenômeno (peças de trabalho e o arco elétrico junto ao eletrodo) são protegidas através de uma cortina gasosa que se faz necessária para conter

contaminações atmosféricas existentes no ambiente. A Figura 1, ilustra de forma esquemática o processo GMAW.

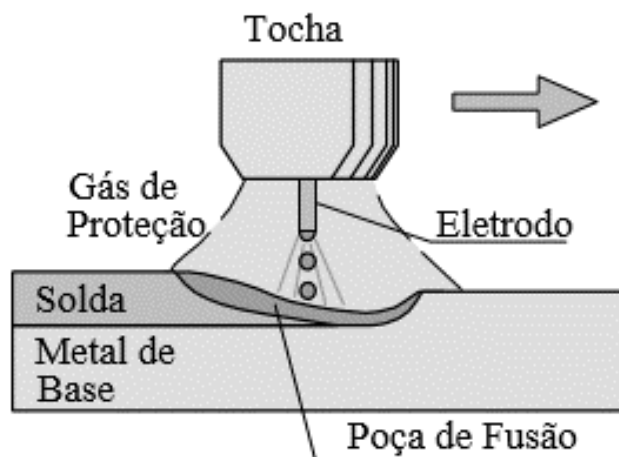


Figura 1 – Ilustração esquemática do processo GMAW – MODENESI (2017)

De acordo com SCOTTI et al. (2008), o arco elétrico, também conhecido como arco voltaico localizado na ponta do eletrodo de soldagem e o metal de base é oriundo da passagem de uma grande quantidade de corrente elétrica é capaz de produzir calor e uma alta intensidade de luz, a qual, age como fonte de calor. Em sua definição MARQUES et al. (2017) menciona que o processo GMAW também é conhecido como MIG| MAG (*Metal Inert Gas / Metal Active Gas*) – a diferenciação entre a nomenclatura MIG|MAG será melhor abordada no item 3.5 deste estudo. A utilização de diferentes gases proporcionam diferentes resultados, desde sua geometria, acabamento, assim como diferentes morfologias de penetração. Em suas citações, BRACARENSE (2013) menciona que a adição de CO<sub>2</sub> ao argônio pode melhorar de penetração no cordão de solda.

As formas de se aplicar o processo de soldagem a arco com proteção gasosa segundo SCOTTI et al. (2008) pode ser realizada de duas maneiras: “*automática*” e “*semi-automática*” sendo uma feita com movimento da tocha sendo realizada por uma máquina e a outra conduzida manualmente pelo soldador respectivamente. Em ambas as forma, o equipamento mantém por si só a alimentação de arame assim como o comprimento do arco constantes. O arco elétrico gerado atrelado a combinações de variáveis usadas dentro do processo de soldagem impacta a transferência metálica junto a poça de fusão. A variação das variáveis junto ao processo GMAW gera diferentes modos de transferência, que serão elencados no subitem 3.3 a seguir.

### 3.3 Modo de Transferência Metálica

A união metálica realizadas no processo GMAW se dá pela forma com que o eletrodo se transfere para poça de fusão. RESENDE (2007), menciona que o modo de transferência metálica no processo de soldagem GMAW é influenciado pela tensão do arco, tipo e valor da corrente, diâmetro e composição do eletrodo, gás de proteção, entre outros. Entre a classificação desses modos de transferência ganha destaque o curto-circuito, pois é bastante usado na união de chapas finas. Esse modo de transferência segundo MARQUES et al. (2017) ocorre quando se usa baixos valores de tensão e corrente, onde uma gota de metal se forma na ponta do eletrodo e vai aumentando de diâmetro até tocar a poça de fusão, sendo rapidamente atraída para esta, como consequência da ação da tensão superficial. A caracterização deste modo de transferência se dá pela grande instabilidade do arco elétrico o que apresenta uma grande quantidade de salpicos, também conhecidos como respingos.

De acordo com SCOTTI et al. (2008) a transferência por curto-circuito é denominada devido a gota formada durante o processo de soldagem tocar a poça de fusão antes do seu destacamento do eletrodo, onde a força governante principal é a tensão superficial. SCOTTI et al. (2008) e MARQUES et al. (2017) também reconhecem que os aspectos dessa modalidade de transferência estão relacionados com os parâmetros de soldagem, SCOTTI et al. (2008) menciona que os gases de proteção utilizados durante o processo (combinações e quantidades) também são fatores que influenciam na transferência metálica.

Ainda em seus estudos tanto SCOTTI et al. (2008), como MARQUES et al. (2017), mencionam que esse modo de transferência por curto-circuito ocorre geralmente em correntes e tensões de soldagem baixas. Esse tipo de combinações permitem um grande diâmetro da gota, e arcos curtos o suficiente para que a gota toque a poça de fusão antes de se destacar em uma frequência de 20 a 200 vezes por segundo. Em uma análise comportamental de sinais, os autores descrevem que a tensão cai bruscamente quando a gota toca a poça de fusão (início do curto-circuito), enquanto a corrente aumenta rapidamente e decaiando apenas no destacamento da gota na poça. Veja na Figura 2 a esquematização da formação da gota pelo modo de transferência por curto-circuito.

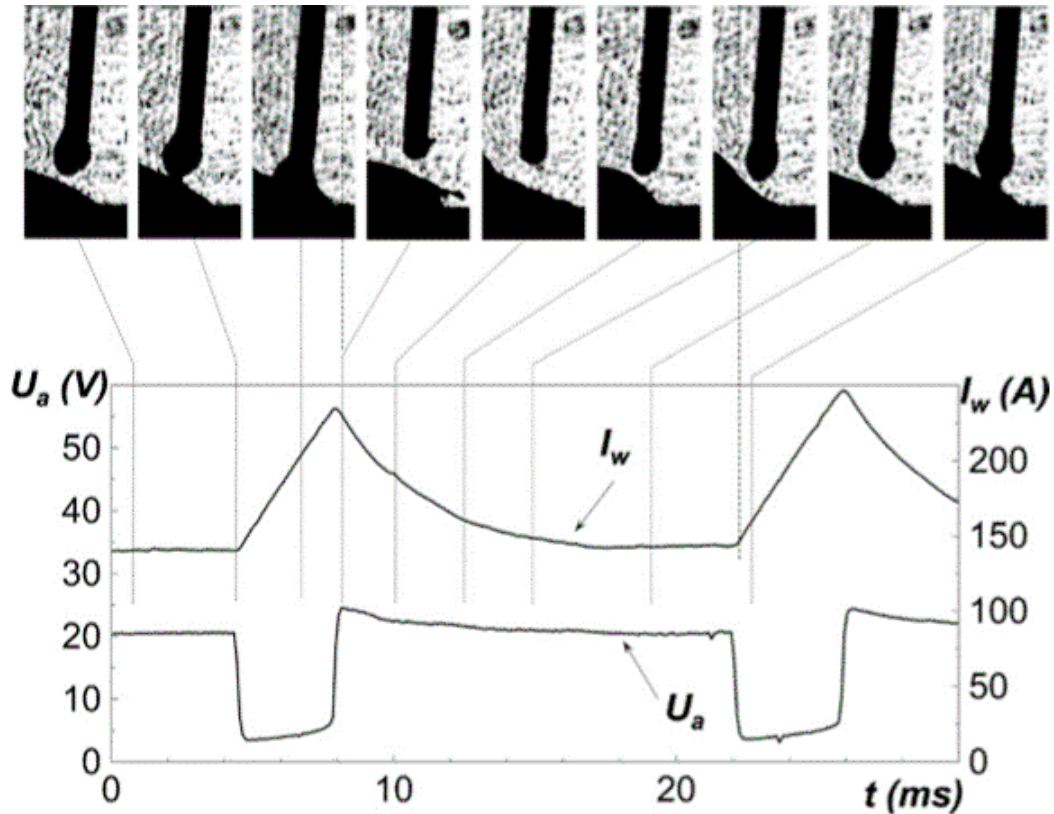


Figura 2 – Modo de transferência curto-circuito - SCOTTI et al. (2008)

SOUZA et al. (2011), menciona que o uns dos principais problema do modo de transferência por curto circuito é a geração de respingo, onde causa impacto na capacidade produtiva não só de material mas também demandando recursos para sua retirada. Ainda em seus estudos SOUZA et al. (2011) correlaciona os impactos da composição do gás junto ao modo de transferência por curto circuito, fenômeno esse que será abordado no tópico 3.5 deste referencial bibliográfico. Assim como SCOTTI et al. (2008) e MARQUES et al. (2017), mencionam em seus estudos que a distância bico de contato-peça – DBCP é um dos fatores importantes neste modo de transferência e que será abordado a seguir no subitem 3.3.1.

### 3.3.1 Distância Bico de Contato-Peça

A distância entre a extremidade do bico de contato e a ponta do eletrodo nu ainda sólido ocorre segundo FORTES (2005) um aquecimento oriundo da resistência à passagem de corrente neste percurso, este efeito é conhecido como efeito Joule. Segundo FORTES (2005), quanto maior esse aquecimento resistivo maior é a corrente de soldagem, está extensão é conhecida como *Stick-out*. A distância bico de contato-peça segundo SCOTTI et al. (2008) é o comprimento entre a extensão do eletrodo (*Stick-out*) e o Arco Voltaico. De acordo com BRACARENSE (2013), esse comprimento é uma variável independente e crítica que deve ser cuidadosamente

controlada. Esse ponto em específico, no processo semiautomático, depende não só da habilidade do soldador em manter o comprimento uniforme como também outros fatores, como gás de proteção (iremos abordar melhor o assunto no subitem 3.5 deste estudo). A Figura 3 esquematiza a interpretação do comprimento do arco.

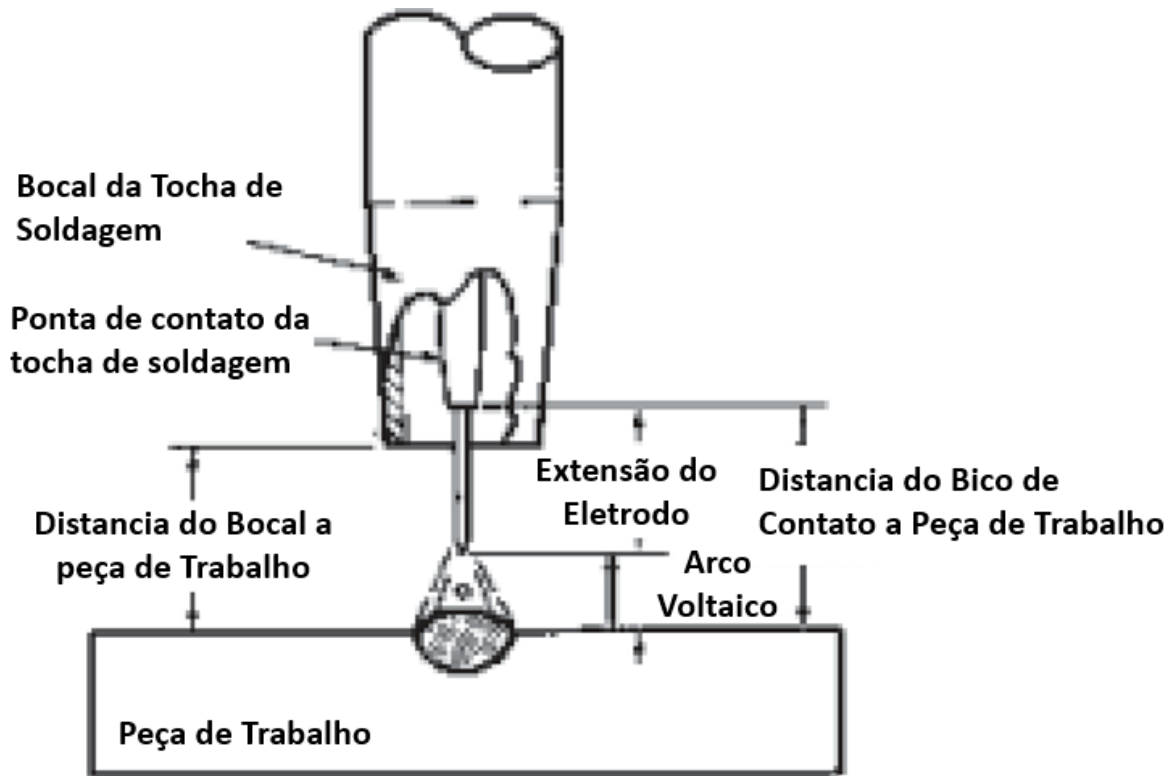


Figura 3 – Esquematização do comprimento do arco de soldagem - BRACARENSE (2013). SÁBIO (2007) também menciona que a distância da DBCP pode ser calculada somando-se o comprimento formado pela extensão do eletrodo e o comprimento do arco, porém essa deve ser mantida constante durante a operação. Segundo estudos de SÁBIO (2007), os parâmetros de soldagem para processo de alta produção em específico MAG, sofre impactos diretos pela DBCP (Z) que pode ser calculados através da equação [1] onde se divide a intensidade de corrente demanda em operação por um fator fixo derivado das equações pertinentes à distância por ela percorrida, a Figura 4, esquematiza essa estrutura.

$$Z = I / 20 [1],$$

onde “I” é a intensidade de corrente (A) e “Z” a distância da DBCP (mm).

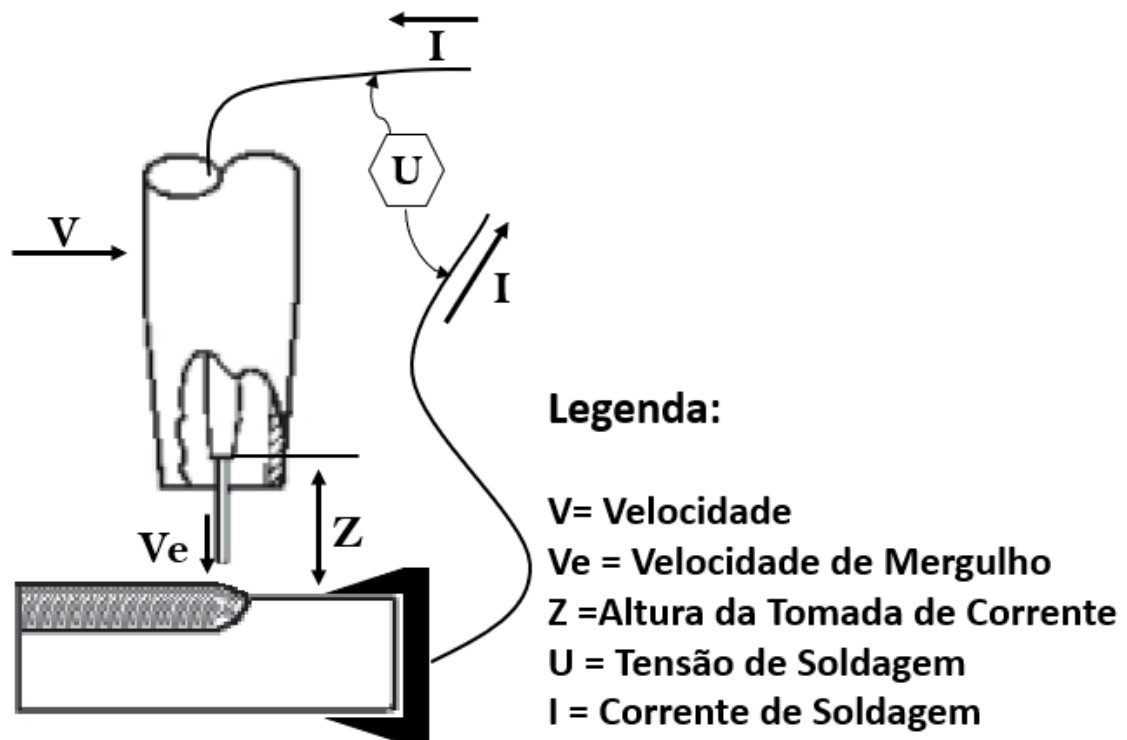


Figura 4 – Parâmetro de soldagem para processos de alta produção – SÁBIO (2007).

FORTES (2005) ainda menciona que o controle desta distância afeta a passagem de corrente necessária para fundir o eletrodo na peça a uma certa velocidade de alimentação. Segundo o autor, quando esta distância aumenta o aquecimento por efeito Joule cresce e a corrente diminuiu e vice versa. SCOTTI et al. (2008), menciona que o comprimento ideal de trabalho para transferência por curto-circuito deve ficar de 1 mm para fora do bocal, pois segundo o mesmo, essa técnica minimiza a perda por efeito Joule, causando menos distúrbios no arco gerado.

DOBIGNIES (2008), em seus estudos, relata que a distância do bico a ponta de contato influencia o tamanho do respingo (impactando diretamente no rendimento do processo) e os correlacionam com a estabilidade do arco de soldagem. Os distúrbios gerados no arco, impactam a estabilidade do processo de soldagem e essas variações serão melhores descritas e trabalhadas a seguir no subitem 3.3.2.

### 3.3.2 Estabilidade do Processo

A estabilidade do processo de soldagem GMAW – MAG em juntas fora da posição plana de maneira manual (semiautomático) é algo difícil de ser controlado. Segundo MONDENESI et al. (2006), não é possível selecionar valores de correntes, tensão e a velocidade de soldagem

de forma independentes, pois delas há uma extensa lista de variáveis adicionais que devem ser levadas em consideração. SOUZA et al. (2011) menciona em suas análises, que as posições produzem variações nas frequências dos curtos-circuitos, proporcionando correlações diversas a estabilidade do processo.

Antes do ato de soldar, o soldador realiza algumas regulagens pré definidas em sua EPS (Especificação do Processo de Soldagem), como: gás e vazão do gás de proteção, diâmetro do arame, tensão, velocidade de alimentação do arame de soldagem, posição, tamanho do bico, bocal, entre outros. Essa orientação ajuda o soldador a controlar o arco de soldagem, porém a fadiga do mesmo faz com que algumas variações ocorram durante o ato da soldagem, segundo SÁBIO (2007), em suas citações, essa instabilidade pode ocasionar uma intensa quantidade de respingos (respingos), impacto no rendimento produtivo, distorções no consumo de material entre outros. Segundo JUNIOR (2001), o fator humano (soldador) tem uma parcela muito importante e decisiva na qualidade da solda mas que pode variar de pessoa para pessoa, sendo essa difícil de ser mensurável.

Segundo SCOTTI et al., uma das formas do soldador controlar o arco de soldagem durante o processo de soldagem é o “ruído” gerado durante o ato de soldagem. O curto-circuito gera um ruído característico e praticamente único desse modo de transferência. Um outro ponto importante citado pelo autor é que o soldador não deve se dispersar durante a soldagem, o foco e concentração deve estar em sinergia. Essas dispersões ocasionam interferência não só durante a soldagem, mas também na abertura e fechamento do arco voltaico. Segundo HERMANS et al. (1999) esses picos causam distúrbios na frequência durante o início e fim e são responsáveis pela oscilação no processo de soldagem, sendo o comprimento do arco o vilão, ocasionando entre outros efeitos o respingo – sua origem será melhor abordada no subitem 3.4 deste referencial teórico.

### **3.4 Respingo - Origens**

SOUZA et al. (2011) em suas citações, descreve que a estabilidade do modo de transferência por curto-circuito está relacionada a regularidade na formação e separação das gotas metálicas durante o ato de soldagem e que o principal efeito desta constante quando não bem controlada é a geração de respingo, onde essa falha, impacta diretamente a capacidade produtiva do ato de soldagem e que pode ser minimizada, reduzida, através do uso correto dos parâmetros de soldagem.

Em suas revisões, SOUZA et al. (2011), menciona que as falhas ocasionadas pela instabilidade decorrentes da transferência por curto-circuito podem ocorrer por três causas: curtos-circuitos instantâneos onde o eletrodo toca a poça de soldagem por um curto período de tempo, mas não há transferência de metal; falha na reignição do arco e variação na velocidade de alimentação do arame, onde em ambos os casos ocorre a geração indesejada de respingos.

Segundo SCOTTI et al. (2008), menciona que as forças normalmente atuantes (tensão superficial, eletromagnética, gravitacional, etc.) em conjunto com movimento caótico da superfície na poça de fusão (instabilidade), são fatores que fazem com que a gota seja repelida no momento em que encosta na poça de soldagem, com isso não ocorre a transferência metálica do arame de solda à poça de fusão propriamente dita, esse efeito é classificado como respingo, podendo atingir as mais diferentes distâncias em relação ao local de soldagem com intensidades que facilitam e/ou dificultam sua remoção.

BRACARENSE (2013) e MONDENESI (2012) definem que o respingo é causado pela separação violenta da gota de metal durante a alternância da corrente dentro do modo de transferência por curto-circuito no processo de soldagem GMAW. BRACARENSE (2013), ainda afirma em sua abordagem, que a composição do gás de proteção tem efeito importante na tensão superficial do metal fundido, podendo afetar o tamanho da gota e a duração do curto circuito.

DOBIGNIES (2008), em seus estudos, menciona que a frequência de curtos e a frequência da oscilação da poça de fusão possuem correlação direta a incidência de respingos durante o processo de solda, e que uma vez que essas frequências se iguala, esse efeito é minimizado, pois o contato entre as gotas e a poça de fusão transferem uma alta estabilidade (eliminando os impactos gerados pela oscilação). De acordo com MONDENESI (2012), a abertura rápida de arcos de soldagem através do modo de transferência por curto circuito, podem ser gatilhos para formação de respingos, pois durante um curto intervalo de tempo, os patamares de tensões causam uma forte perturbação no arco elétrico.

DOBIGNES (2008), MONDENESI (2012), BRACARENSE (2013) e SCOTTI (2002), evidenciam em seus relatos que a variação na estabilidade da Distância Bico de Contato-Peças (DBPC) durante o processo de soldagem afetam a o arco, causando perturbações junto o arco elétrico e proporcionando a presença de respingos. No processo de GMAW, transferência de curto-circuito semiautomático, essa variável depende muito da técnica aplicada, qualificação

do soldador assim como periféricos da tocha de soldagem (distância entre o bico de contato e o bocal) que ajudam a manter essa distância mais equalizada, garantindo um melhor controle do processo.

MOREIRA (2008), relata em seus estudos que as propriedades gás de proteção, assim como sua mistura proporcionam níveis de estabilidade, classe de acabamento superficial e quantidades de respingos diferentes quando combinados. Esse assunto será melhor estudado no subitem a seguir 3.5.

### **3.5 Gases de Proteção**

O Gás de Proteção, tem a função de eliminar o contato do ar atmosférico junto ao metal fundido. BRACARENSE (2013) e SCOTTI et al. (2008), descrevem que o gás denominado como proteção também exerce efeitos adicionais (não tão menos importantes) como: estabilidade do arco, controle a operacionalidade e transferência de metálicas. Segundo MARQUES et al. (2017) o tipo de gás influencia desde a morfologia do cordão de solda até o custo da operação .

Os gases utilizados no processo de soldagem como proteção, são classificados como inerte (MIG) e ativo (MAG), ou seja, de acordo com SCOTTI et al. (2008) gases inertes são aqueles que não reagem quimicamente com o metal de solda, já os ativos são aqueles que têm reatividade química com o metal de solda. Segundo MARQUES et al. (2017), mesmo o CO<sub>2</sub> sendo um gás inerte, quando elevado a altas temperaturas (condições similares ao gerado no arco elétrico de soldagem) se decompõe em CO e O, tornando-se ativo.

Segundo TATAGIBA et al. (2012), os gases possuem uma influência predominante nas características do arco, tipo de transferência metálica, velocidade de soldagem, perda por projeções de material não fundido (respingos), na morfologia do cordão e na aparência superficial. Durante o ato de soldagem, há uma propriedade muito importante que de acordo com TATAGIBA et al. (2012) é chamada de potencial de ionização (PI), este efeito se dá por uma atmosfera em forma de vapores criada pelo metal em processo de união e gases em seu estado de vapor, essa condição facilita a condução da corrente assim como estabilidade do arco.

Outro fator muito importante é propriedade física de condutividade térmica (CT) criada através do gás de proteção em estado de ionização. Segundo TATAGIBA et al.(2012) a quantidade de calor transferido através dos choques entre as partículas na coluna de plasmas, influenciam

expressivamente o modo de transferência metálica no processo assim como a morfologia de penetração no processo de soldagem GMAW. SOUZA et al. (2011), ressalta em seus estudos que a misturas de CO<sub>2</sub> com Ar contem influências bem marcantes, pois o CO<sub>2</sub> necessita de uma maior energia durante a manutenção do arco (devido a dissociação das moléculas de Carbono e Oxigênio) comparadas ao Ar, e que o uso acima 15% de CO<sub>2</sub> proporciona desestabilização da transferência metálica, mostrando que a regularidade do processo é dependente do gás de proteção e tensão utilizada.

TATAGIBA et al.(2012) defende em seus estudos sobre formulações de gases formadores de atmosferas oxidantes em material de aço carbono, que a adição de CO<sub>2</sub> não só proporciona uma aumento na penetração solda como também uma diminuição na quantidade de inclusões. De acordo com SCOTTI et al. (2008), a eficiência da proteção está primeiramente relacionada à capacidade em que o sistema tem em excluir os gases atmosféricos do meio ambiente. Em seus relatos, SCOTTI et al., menciona a importância conhecer a configuração de junta a serem soldadas para poder correlacionar a regulagem da vazão ao processo de proteção (veja na Figura 5 a influência da vazão do gás de proteção em comparação a junta de solda), o autor ainda menciona que não há um cálculo exato para se calcular a vazão correta e descreve um regra baseada em sua experiência e bom senso, onde a vazão à ser utilizadas é igual o diâmetro do arame x 10, e seu resultado é expresso em l/min. Outro ponto enfatizado por SCOTTI et al. é calibração da vazão a ser realizada na tocha de soldagem, pois trata-se de um recurso que minimiza a variação de perdas dentro do circuito e demonstra maior exatidão na saída (região onde o gás de proteção se faz necessário).

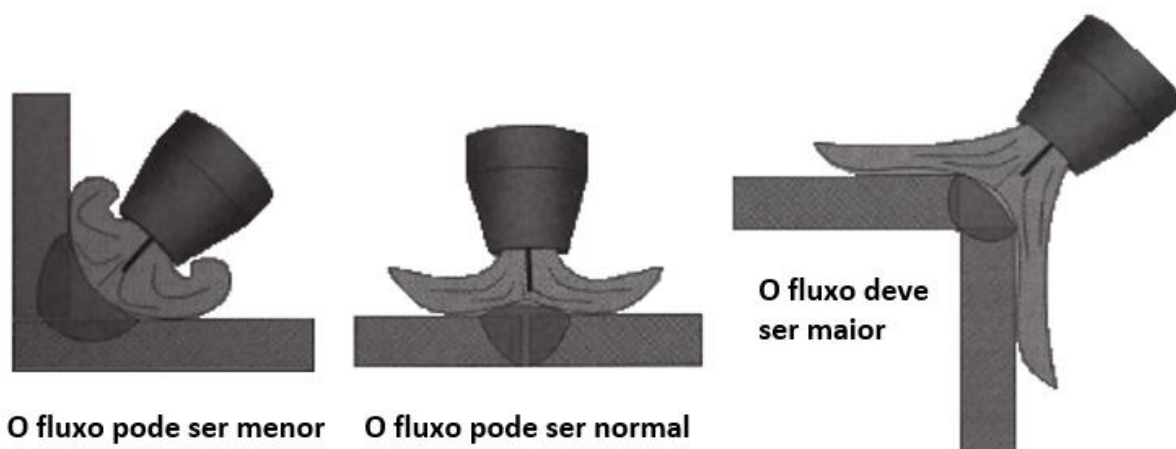


Figura 5 – Influência da configuração da junta na regulagem da vazão do gás de proteção SCOTTI et al.(2008).

Outra propriedade importante do gás de proteção segundo SCOTTI et al. (2008) é a densidade (D) relativa ao meio ambiente, onde segundo o autor, este fator tem impacto fundamental na soldagem fora da posição plana, demandando em algumas juntas uma quantidade ainda maior que a estipulada anteriormente. A Tabela 1 a seguir correlaciona algumas propriedades de acordo como gás de proteção em relação ao ar atmosférico, onde D = densidade do gás, medida a 0°C e 1 atm (densidade do ar atmosférico a aproximadamente 1,2), PI = potencial de ionização e CT = condutividade térmica, média à 0°C e 1 atm.

Tabela 1 – Propriedade dos gases de proteção em comparação ao ar atmosférico – SCOTTI et al. (2008)

| <b>GÁS</b>         | <b>SÍMBOLO QUÍMICO</b> | <b>PESO MOLECULAR</b> | <b>D (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>PI (eV)</b> | <b>CT (mW/m.K)</b> |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|
| Argônio            | Ar                     | 39,90                 | 1,78                        | 15,80          | 16,40              |
| Dióxido de Carbono | CO <sub>2</sub>        | 44,00                 | 1,98                        | 14,40          | 14,70              |
| Hélio              | He                     | 4,00                  | 0,18                        | 24,60          | 142,60             |
| Oxigênio           | O <sub>2</sub>         | 32,00                 | 1,33                        | 13,20          | 24,20              |

SCOTTI et al. menciona que a modo de transferência por curto-circuito, mesmo não transferindo metal através do arco, sofre interferência no tamanho das gotas geradas assim como, a duração do curto-circuito devido a composição do gás de proteção. Segundo o autor, a adição de CO<sub>2</sub> junto ao Ar trás uma estabilidade em soldagem de materiais ferrosos, melhorando o desempenho de soldagem por curto-circuito (deixando-a mais quente), porém a porcentagem de CO<sub>2</sub> inserida nesta mistura pode causar efeitos indesejado dependendo da espessura da chapa a ser soldada recomendando quantidades de CO<sub>2</sub> entre 18 a 25% para chapas acima de 6 mm e quantidades de CO<sub>2</sub> entre 8 a 15% para chapas menores que 3 mm.

## **CAPITULO 4: METODOLOGIA**

No presente trabalho, a metodologia utilizada para analisar os impactos operacionais com a mudança na porcentagem de Ar na mistura do gás de proteção (atual em processo: ArC20, mistura comparada em teste: ArC10); em juntas em ângulo soldadas pelo processo GMAW – MAG com processo semiautomático - manual (sem a utilização de equipamentos mecanizados), foram realizados teste de soldagem (representando as mesmas condições e posições utilizada no chão de fábrica da indústria estudada) em chapas de aço carbono de espessura de 3 mm e 4,7 mm como a utilização arame de soldagem sólido cuja as dimensões e características estão abordadas nos subitem 4.1 com e sem a utilização de anti-respingo (material usado para facilitar a remoção dos respingos gerados e aderidos a superfície da chapa soldada).

Para avaliar e comparar as duas combinações de misturas de gás de blindagem, foram realizados testes preliminares para estabelecer uma parametrização (tensão e velocidade de arame) para nova mistura (ArC10) – descritas na Tabela 2 do subitem 4.3. Os equipamentos de soldagem, monitoramento de processo e a configuração da DBPC utilizados nos teste de soldagem estão detalhados no subitem 4.2. A modelagem, montagem e sequenciamento da confecção dos corpos de prova utilizados em estudo também estão detalhadas no subitem 4.3.

A metodologia de avaliação usada para análise de resultados e discussão de resultados neste estudo de caso, foram de ordem qualitativa e comparativa, com a utilização de um equipamento portátil de monitoramento de processo de soldagem IMC e a classificação de três modalidades de aceitação de classe de acabamento superficial por parte da indústria (considerados como requisito indesejado impactando o acabamento final do produto) causando assim, perda de tempo produtivo agregado ao processo de soldagem e estão descritos nos subitens 4.2 e 4.4 deste capítulo.

### **4.1 Materiais**

O arame de solda utilizado para realização dos teste foi o AWS A5.18 ER70S-6 BME-C4 (Belgo Bekaert Arames) com diâmetros de 0,9 mm e 1,2 mm de diâmetro nominal em carretel metálico de 18 kg. A escolha destes consumíveis se deu pela utilização dos mesmos dentro do processo produtivo analisado, utilizados no processo GMAW - MAG com o modo de transferência curto-circuito. A Figura 6 detalha as características químicas e mecânicas deste consumível.

## BME-C4 - AWS A5.18 / ASME SFA5.18 ER70S-6

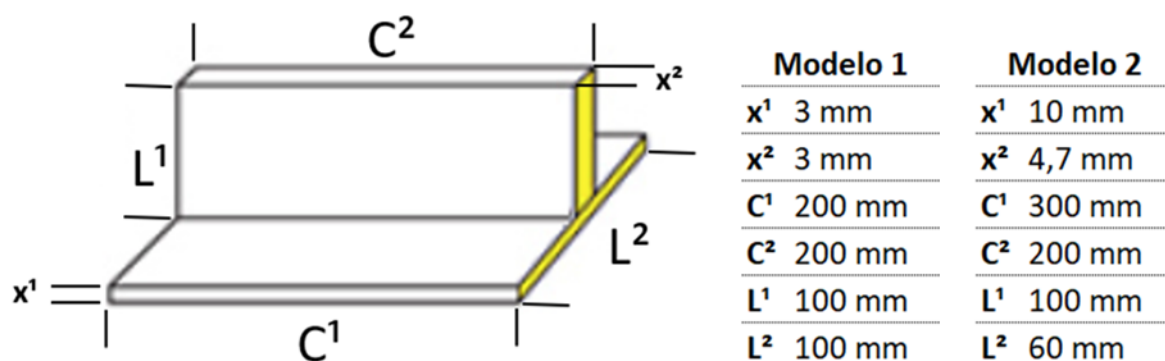
Faixa de composição química (%):

Faixa de propriedade mecânica:

| C              | Si            | Mn            | P             | S             | Cu          | LTR      | LE       | AL      | RI          |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|----------|----------|---------|-------------|
| 0,06 a<br>0,15 | 0,8 a<br>1,15 | 1,4 a<br>1,85 | 0,025<br>máx. | 0,035<br>máx. | 0,5<br>máx. | MPa      | MPa      | %       | J a - 30 °C |
|                |               |               |               |               |             | 480 mín. | 400 mín. | 22 mín. | 27 mín.     |

Figura 6 – Características do Arame de Solda ER70S-6 - BELGO BEKAERT ARMES (2017).

Para confecção dos corpos de prova foram utilizadas chapas de aço carbono com dimensões e características expressas na Figura 7, cuja representatividade é feita em grande escala dos produtos usados na empresa utilizando o modo de transferência por curto circuito. Para corte das chapas foi utilizado uma máquina de corte a Laser.



| M                   | E      | C     | Si   | Mn   | P     | S     | Al    | Cu   | Nb    | Vn    |
|---------------------|--------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| SAE-J403<br>14-1008 | 3 mm   | 0,06  | 0,01 | 0,21 | 0,011 | 0,011 | 0,054 | 0,01 | 0,000 | 0,001 |
|                     |        | Ti    | Cr   | Mo   | Sn    | N     | B     | Sb   | Pb    | X     |
|                     |        | 0,001 | 0,03 | 0,00 | 0,000 | 0,003 | 1E-04 | 0,00 | 0,000 |       |
| ASTM A572<br>GR 50  | 4,7 mm | 0,09  | 0,02 | 0,62 | 0,018 | 0,009 | 0,041 | 0,01 | 0,025 | 0,001 |
|                     |        | Ti    | Cr   | Mo   | Sn    | N     | B     | Sb   | Pb    | X     |
|                     |        | 0,001 | 0,01 | 0,00 | 0,001 | 0,002 | 1E-04 | 0,00 | 0,002 |       |
| ASTM A572<br>GR 50  | 9,5 mm | 0,09  | 0,01 | 0,86 | 0,027 | 0,01  | 0,029 | 0,01 | 0,023 | 0,002 |
|                     |        | Ti    | Cr   | Mo   | Sn    | N     | B     | Sb   | Pb    | X     |
|                     |        | 0,001 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,003 | 1E-04 | 0,00 | 0,001 |       |

Fonte: Autor (2018)

Figura 7 – Dimensões e Características do material usado em teste.

## 4.2 Equipamentos

Para realização dos testes, foi utilizada uma fonte de soldagem inversora multiprocesso trifásico e cabeçote de alimentação, ambos da marca Lincoln, com respectivos modelos: fonte FLEXTEC 450 e cabeçote LF-33. O processo de soldagem foi realizado com polaridade inversa onde o cabo negativo foi ligado à bancada de teste (peça) e o positivo no alimentador de arame (tocha). A Figura 8, mostra as disposições esquemática dos equipamentos descritos e utilizados durante a amostragem dos corpos de prova soldados.

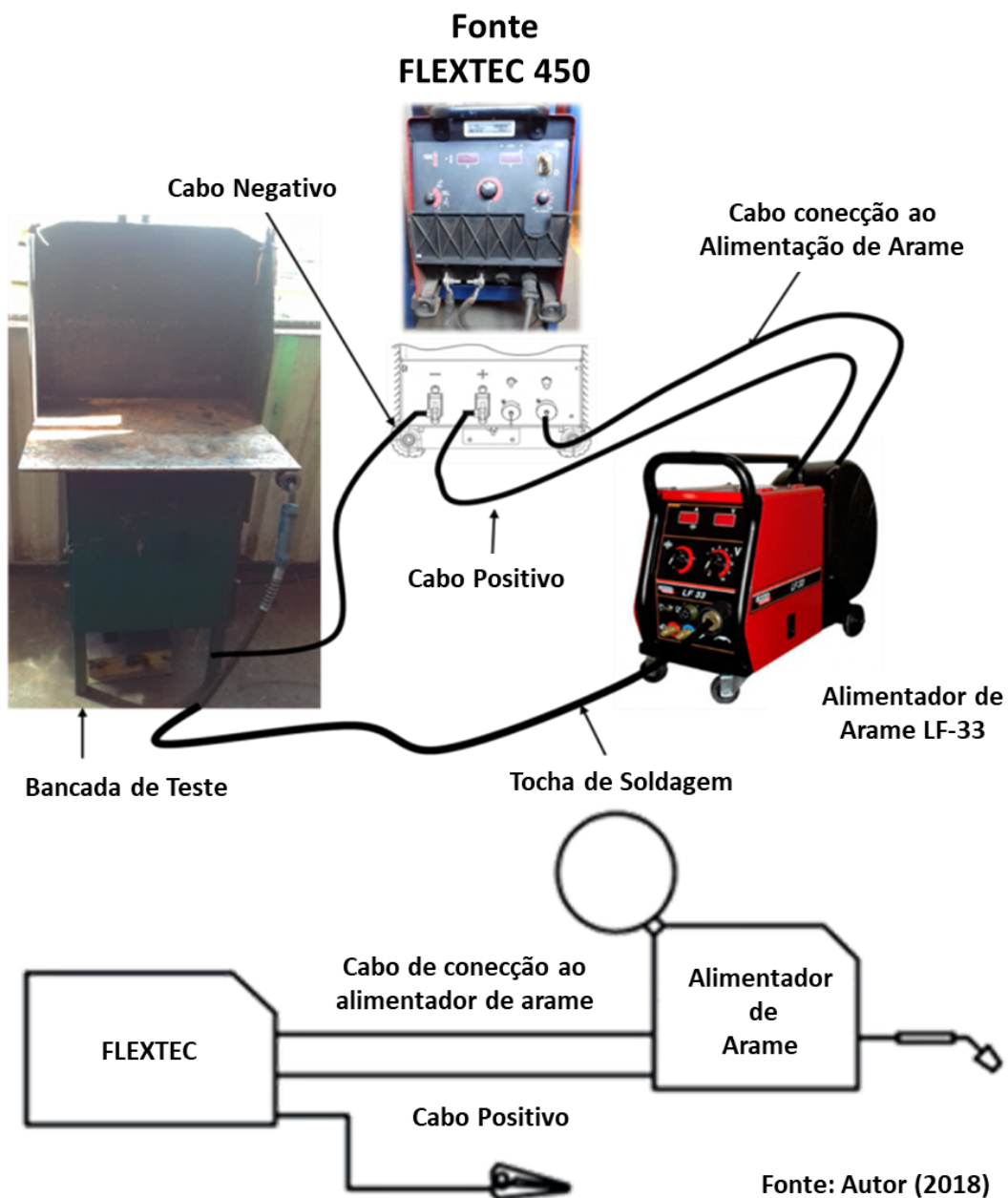
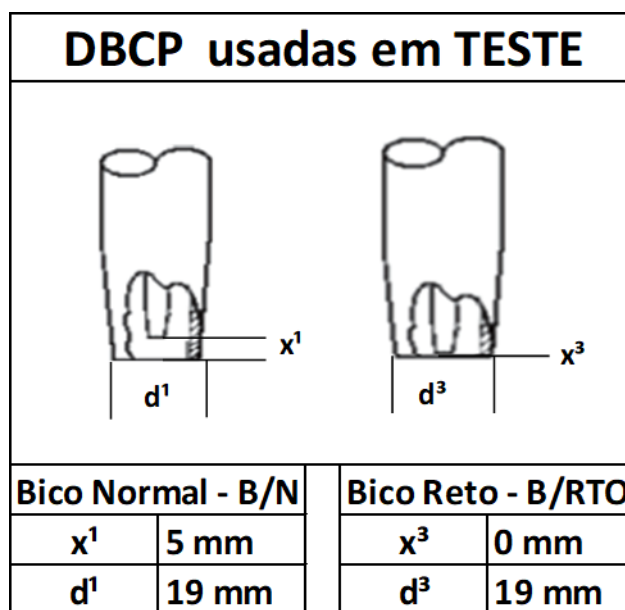


Figura 8 – Disposição esquemática da máquina de solda ao posto de trabalho (bancada de Teste).

A tochas de soldagem usadas durante a confecção dos corpos de prova foram da marca OXIMIG, modelo: 325 com cabo de corrente 35 mm (aplicada para soldagem de arame 0,9 mm) e modelo 525 com cabo de corrente de 50 mm (aplicada para soldagem de arame 1,2mm) ambos com 3 m de comprimento. A distância da DBCP foi controlada através da distância do bico de contato e o bocal (ambos bocais utilizados em testes tiveram o mesmo diâmetro de 19 mm) a Figura 9, detalha as características técnicas dos materiais utilizados para este controle.



**Fonte: Autor (2018)**

Figura 9 – Distância do bico na peça de contato usadas em teste.

Para avaliar o controle do arco durante o processo de soldagem, foi utilizando uma maleta com um sistema portátil de monitoramento de processos de soldagem da marca IMC Soldagem que registra os dados de tensão, corrente e velocidade de alimentação durante a realização dos testes possibilitando avaliar e comparar o comportamento do arco durante o processo de soldagem (gerando gráficos instantâneos e histogramas que serão discutidos no Capítulo 5). Foi posicionado no alimentador de arame, antes das roldanas, um tacômetro para coleta de dados referente à velocidade de arame usado em soldagem. Na saída do alimentador a tocha (euroconector) foi instalado um sensor para medir a corrente usada durante a soldagem e um par de sensores na saída do cabo negativo e positivo (respectivamente) ligados na fonte de soldagem para coletar de informações referente a tensão usada durante o arco aberto. A Figura 10, mostra o equipamento utilizado junto a máquina de solda onde os testes foram realizados.



**Maleta de monitoramento portátil IMC-SAP**



**Equipamento no local de Teste**

**Fonte: Autor (2018)**

Figura 10 – Equipamento portátil de monitoramento de processo de soldagem IMC.

### **4.3 Preparação e Sequencia de Soldagem**

A preparação e sequenciamento de soldagem nas chapas usadas (corpos de prova) se deram com posicionamento da junta no formato “T” (junta em ângulo na posição horizontal) conforme mencionados na Figura 7, com as respectivas espessuras, onde nenhum tipo de preparação na superfície foi aplicado antes da soldagem. As chapas receberam dois pontos de solda, ambos em cada extremidade, ao lado oposto da região a ser realizada as soldas a serem analisadas. Após soldagem, foram registrados com uma caneta de tinta branca as seguintes variáveis no Corpo de Prova (CP) durante a realização dos testes: V (tensão);  $V_a$  (Velocidade de Alimentação em metros/min); Mistura do Gás utilizada (ArC10 – C10 e ArC20 – C20), com ou sem adição de anti-respingo (C/AR e S/AR). O tamanho dos cordões com os respectivos espaçamentos: chapa de 3 x 3 mm, 3 cordões de solda cada com 40 mm de comprimento e espaçamento de 20 mm de espaçamento entre eles e para chapa de 4,7 x 9,5 mm, 2 cordões de solda cada com 80 mm de comprimento e 20 mm de espaçamento entre eles. A utilização de Bico de Contado usada recebeu a seguinte nomenclatura: B/N (Bico Normal) e B/RTO(Bico Reto) com a distinção dos respectivos diâmetro do arame ( $\emptyset$ ) usados. Todos os corpos de solda foram soldados por um mesmo soldador (este qualificado), a Figura 11, esquematizam a representatividade de como os dados foram inseridos e como ficaram o posicionamento dos cordões no corpo de prova.



**CP com chapas de 3 x 3 mm**



**CP com chapas de 4,7 x 10 mm**

Figura 11 – Imagem dos Corpos de Prova com as respectivas marcações de soldagem.

A Tabela 2 a seguir, resume as sequências dos 16 corpos de prova soldados com as respectivas combinações mencionadas anteriormente.

Tabela 2 – Sequência de corpos de prova com respectiva parametrização.

| AMOSTRA | MISTURA DO GÁS | TENSÃO (V) | V. ARAME (M/min) | SEM ANTI RESPINGO | COM ANTI RESPINGO | DBCP (BOCAL) |
|---------|----------------|------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| CP1     | ArC10          | 20,1       | 10,5             | X                 |                   | B/RTO        |
| CP2     | ArC10          | 20,1       | 10,5             |                   | X                 | B/RTO        |
| CP3     | ArC20          | 20,1       | 10,5             | X                 |                   | B/RTO        |
| CP4     | ArC20          | 20,1       | 10,5             |                   | X                 | B/RTO        |
| CP5     | ArC20          | 21,0       | 11,8             | X                 |                   | B/N          |
| CP6     | ArC20          | 21,0       | 11,8             |                   | X                 | B/N          |
| CP7     | ArC10          | 20,1       | 10,5             |                   | X                 | B/RTO        |
| CP8     | ArC10          | 20,1       | 10,5             | X                 |                   | B/RTO        |
| CP9     | ArC10          | 20,1       | 10,5             |                   | X                 | B/N          |
| CP10    | ArC10          | 20,1       | 10,5             | X                 |                   | B/N          |
| CP11    | ArC10          | 27,0       | 9,9              |                   | X                 | B/N          |
| CP12    | ArC10          | 27,0       | 9,9              | X                 |                   | B/N          |
| CP13    | ArC10          | 27,0       | 9,9              |                   | X                 | B/N          |
| CP14    | ArC10          | 27,0       | 9,9              | X                 |                   | B/N          |
| CP15    | C20            | 27,0       | 9,9              |                   | X                 | B/N          |
| CP16    | ArC20          | 27,0       | 9,9              | X                 |                   | B/N          |

#### 4.4 Método de Avaliação

Para a avaliação dos resultados obtidos serão usados os seguintes métodos e informações:

- Aquisição de dados de tensão, corrente e tempo através de sensores conectados nos cabos de passagem de energia e tratados estatisticamente;

- Gráficos de tensão e corrente;
- Avaliação da classe de acabamento (tempo e dificuldade) de acordo com o requisito descrito no subitem 4.4.1.
- Análise da comparação entre o processo e as duas porcentagem de Ar usadas (ArC10 e ArC20)

#### 4.4.1 Limpeza

Os respingos gerados durante o processo (realização dos teste que simulam o processo produtivo) , são considerados como requisito indesejado de aparência e impacta o acabamento final do produto (tanto nas regiões de soldas assim como partes periféricas a mesma). A remoção do respingo demanda mais tempo de limpeza aumentando a atividade que não agregam valor chamados de NVAA e diminuindo a de eficiência da mão de obra chamado de VAA.

Para analisar esse contexto, todo corpo de prova após soldagem foi fotografado para contagem de respingos aderidos superficialmente (com e sem a aplicação de anti-respingo) e sua remoção foi realizada com espátulas idênticas a usadas na produção, sendo este processo filmado, e o grau de limpeza (remoção de respingo) foi classificada em 3 modalidades descritas na Tabela 3, com o intuito de julgar o tempo de NVAA necessário para remoção do mesmo.

Tabela 3 - Classificação de Limpeza

| <b>CLASSIFICAÇÃO DE LIMPEZA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>REMOÇÃO FÁCIL</b>            | <b>Respingo se solta da CP/ Peça com uma passada de pano.</b>                                      |
| <b>REMOÇÃO MODERADA</b>         | <b>Respingo se solta fácil, mas há necessidade de ferramenta para remoção &lt; 30s</b>             |
| <b>REMOÇÃO DIFÍCIL</b>          | <b>Respingo apresenta dificuldade ao sair, demanda ferramenta e tempo para sua remoção &gt;30s</b> |

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise metalográfica

A Tabela 4 apresenta os resultados dos valores (média) encontrados na análise metalográfica do tamanho das Pernas (P) no sentido vertical e da Penetração (P) no sentido horizontal - de acordo com a Figura 12. Os dados obtidos nas amostras, mostram um cordão de tamanho menor quando usado um bocal com bico reto (faceado com o bocal) independente da mistura usada C10 e C20. Observa-se também que a penetração sofre influência sobre a condição do bico, comprovando a teoria abordada por FORTES (2005), onde correlaciona a distância à passagem de corrente necessária para fundir o eletrodo na peça, com a redução da distância, o aquecimento por efeito Joule diminui e a corrente cresce, proporcionando uma garganta efetiva (aqui tratada de penetração – P) maior.

Tabela 4 – Resultados Médios encontrados na análise metalográfica

| GÁS | TIPO BOCAL | Z (V) MÉDIA | P (H) MÉDIA |
|-----|------------|-------------|-------------|
| C10 | RETO       | 4,96        | 0,44        |
| C10 | NORMAL     | 5,45        | 0,04        |
| C20 | RETO       | 4,74        | 0,31        |
| C20 | NORMAL     | 5,26        | 0,32        |

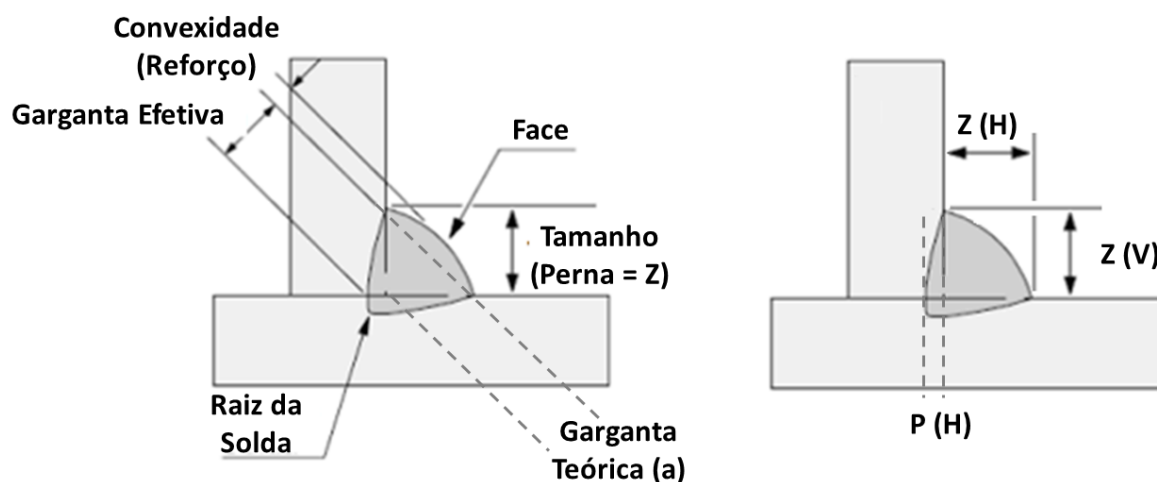


Figura 12 – Adaptado de MARQUES (2017)

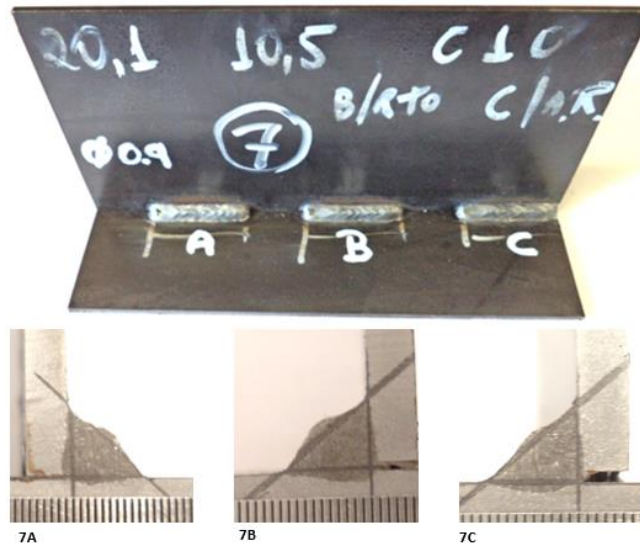


Figura 13 – Resultados morfológicos dos cordões de solda CP07 com utilização de ArC10

Continuando a análise morfológica dos cordões de solda, observasse que o fator humano mencionado por JUNIOR (2001), causa impacto muito importante e decisivo na qualidade do cordão de solda em um processo GMAW semiautomático manual. Observa-se nas três seções realizadas tanto no CP07 – Figura 14, quanto no CP06 – Figura 15, morfologia da região de zona fundida, possui diferentes resultados para uma mesma parametrização. Observa-se que a instabilidade de se manter um ângulo de deslocamento retilíneo durante a solda, proporciona resultados diferenciados, ocasionando em alguns casos, descontinuidade estrutural, como falta de penetração na raiz (como mostrado na Figura 16) onde MARQUES (2017) classifica a causa prática como falha na manipulação do eletrodo de soldagem.

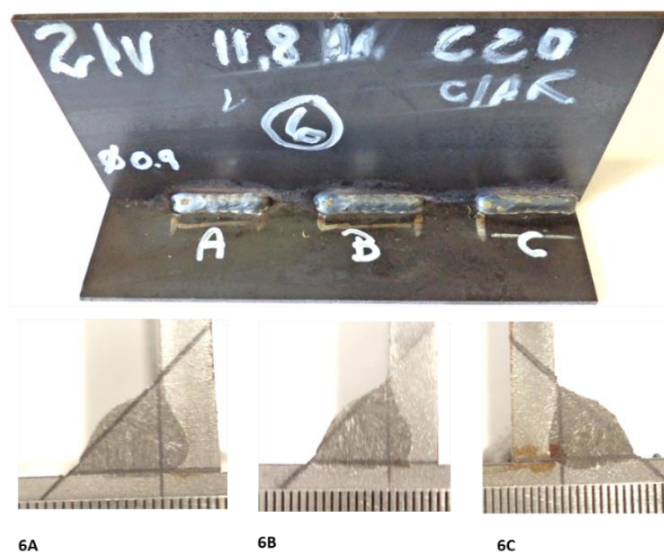
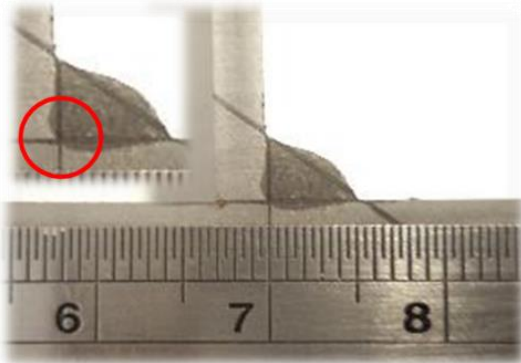


Figura 14 – Resultados morfológicos dos cordões de solda CP06 com utilização de ArC20

**Com Penetração na Raiz**



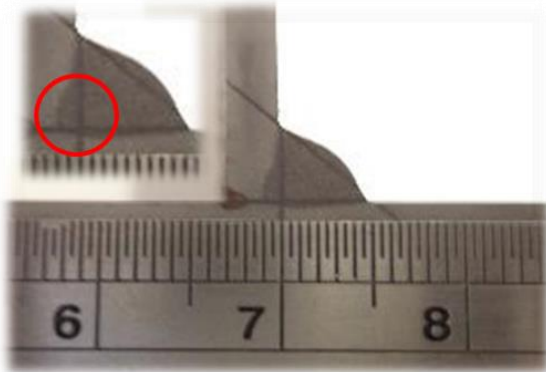
**5A**  
Gás de Proteção = Arc20 (C20) - DBCP (Reto)  
Penetração Horizontal = 0,13 mm  
Penetração Vertical = 0,10 mm

**Sem Penetração na Raiz**



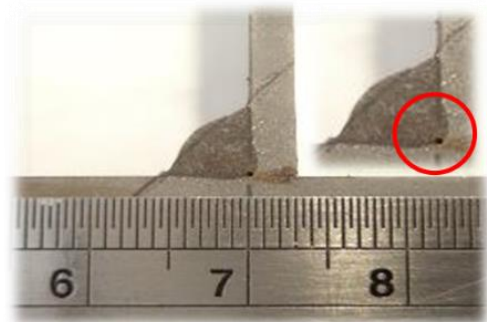
**9A**  
Gás de Proteção = ArC10 (C10) - DBCP (Normal)  
Penetração Horizontal = 0,00 mm  
Penetração Vertical = 0,00 mm

**Com Penetração na Raiz**



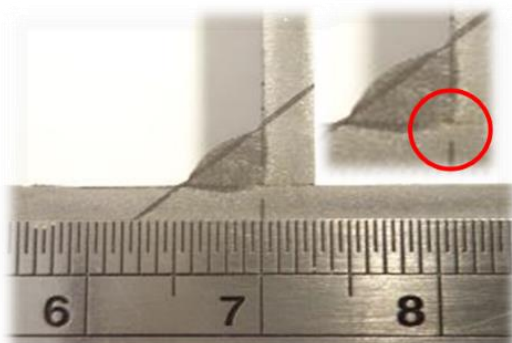
**5B**  
Gás de Proteção = Arc20 (C20) - DBCP (Reto)  
Penetração Horizontal = 0,75 mm  
Penetração Vertical = 0,25 mm

**Sem Penetração na Raiz**



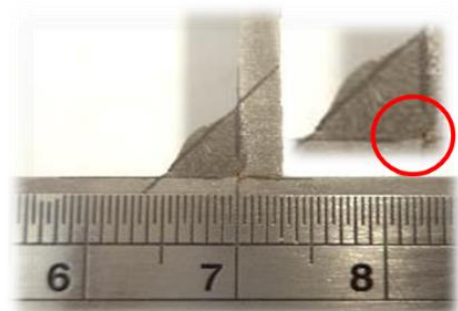
**9B**  
Gás de Proteção = Ar120 (C10) - DBCP (Normal)  
Penetração Horizontal = 0,00 mm  
Penetração Vertical = 0,00 mm

**Sem Penetração na Raiz**



**5C**  
Gás de Proteção = Arc20 (C20) - DBCP (Reto)  
Penetração Horizontal = 0,00 mm  
Penetração Vertical = 0,00 mm

**Sem Penetração na Raiz**



**9C**  
Gás de Proteção = Arc10 (C10) - DBCP (Normal)  
Penetração Horizontal = 0,00 mm  
Penetração Vertical = 0,00 mm

Figura 15 – Resultados morfológica da penetração da solda nos CP05 e CP09.

## 5.2 Comportamento do Processo

Os histogramas da Figura 16 e 17 obtidos pelo monitoramento do processo durante os testes dos CP06 (parametrização corrente de produção, utilização de mistura ArC20 e com DBCP convencional) e CP07 (parametrização nova, utilizando mistura ArC10 e com DBCP faceado com bocal) mostra uma diferença de comportamento de tensão durante o processo de soldagem - ambos em um intervalo de 20 segundos. A configuração com porcentagem rica em Ar (ArC10), demonstra uma maior estabilidade na faixa de tensão tendo sua média picos na ordem de 25 Volts, com a ocorrência e um ponto na ordem de 30 Volts. Os resultados obtidos entre as duas configurações compara uma visão abordada pelos autores TATAGIBA et al.(2012) e SCOTTI et al. (2008) que correlacionam o efeito apresentado (melhor estabilidade) devido ao baixo poder de ionização presente no Ar, elemento esse presente em maior quantidade em relação ao processo vigente da operação (CP06). Outro ponto analisado é a diferença de tensão usada em ambos corpos de prova, pois há a necessidade de uma tensão maior para dissociar o CO2 presente na mistura Arc20, tornando-se o arco mais quente. Segundo SCOTTI et al. (2008), este efeito interfere na instabilidade da corrente (visto na Figura 18 e 19), pois causando um incomodo térmico junto ao soldador e como isso há um afastamento natural da tocha durante o ato de soldagem, proporcionado um aumento da corrente devido a resistividade gerada pela distância percorrida entre o bico à peça de contato .

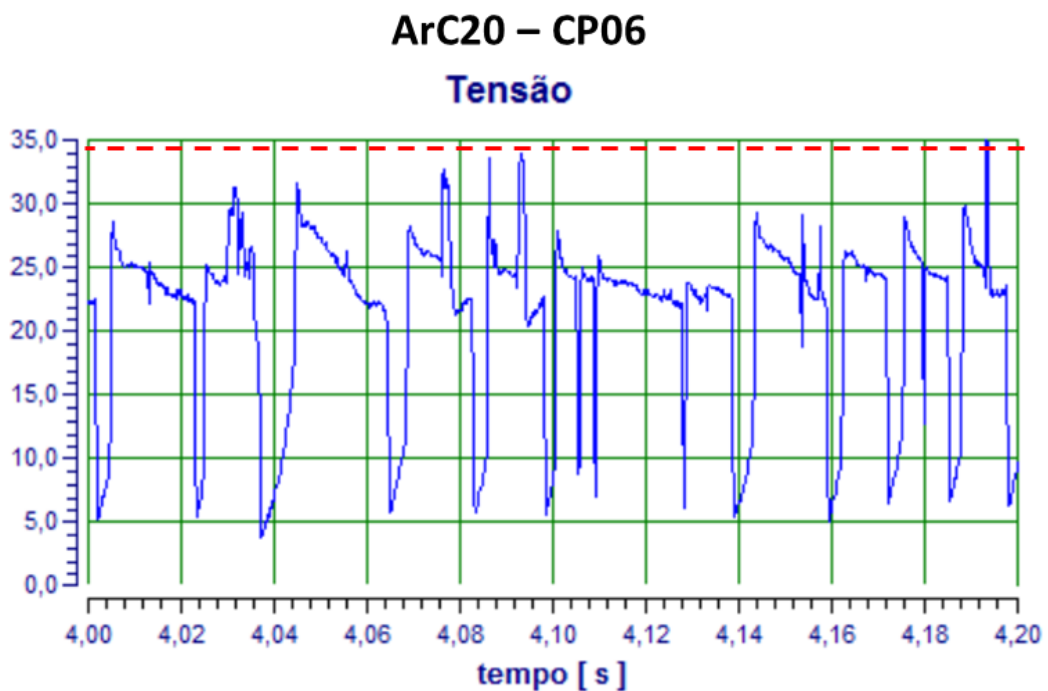


Figura 16 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Tensão (CP06)

## ArC10 – CP07 Tensão

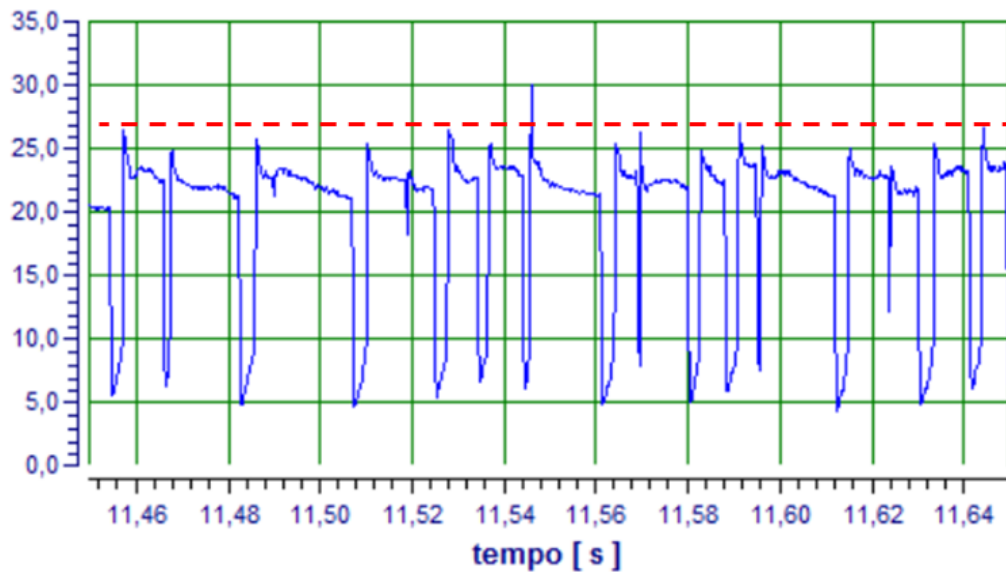


Figura 17 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Tensão (CP07)

A imagem da Figura 18 e 19 (histograma) compara os valores de correntes mostrados durante o monitoramento do processo. Analisando a variação dos picos de correntes apontados no CP06 (instabilidade que variam acima de 320 I), o efeito pode ser explicado devido à dificuldade que o soldador tem em manter o comprimento do arco uniforme durante a soldagem conforme abordado por BRACARENSE (2013), já que o comprimento do *Stick-out* sofre variações, comparado com o CP07 (onde a corrente se estabiliza a uma média de 320 I), outro ponto importante neste caso de instabilidade está correlacionado ao aumento de aquecimento resistivo da corrente durante a distância percorrida da DBCP, este efeito é explicado pelos autores TATAGIBA et al.(2012) e SCOTTI et al. (2008), pois durante o aumento deste percurso há a necessidade de maior energia para dissociar o CO<sub>2</sub> existente na mistura ArC20, por sua vez tornando o arco mais quente assim, o respingo projetado tem um tempo de resfriamento em um menor espaço de tempo, chegando ainda quente a superfície do material soldado, que com maior facilidade e proporciona uma dificuldade extra para sua remoção.

**ArC20 – CP06**  
**Corrente**

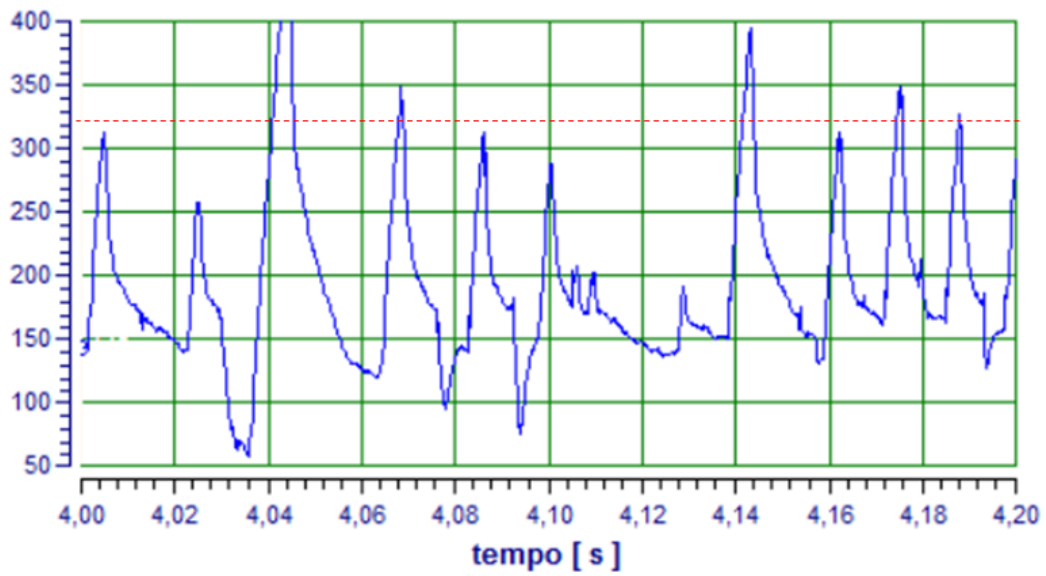


Figura 18 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Corrente (CP06)

**ArC10 – CP07**  
**Corrente**

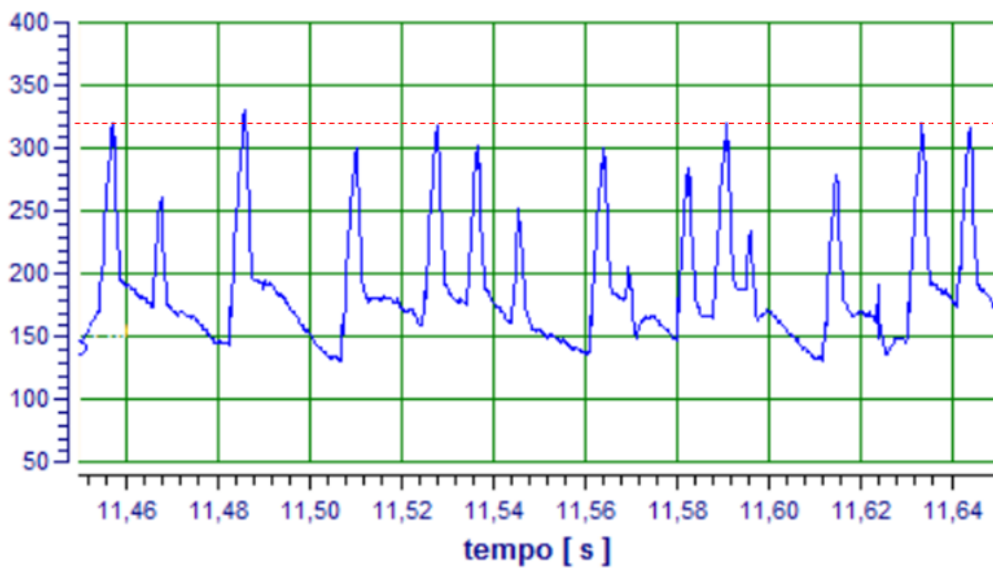


Figura 19 – Estabilidade do arco durante a soldagem – Corrente (CP07)

Tabela 5 – Resumo dos dados referente ao comportamento coletado no Sistema SAP

| GÁS PROTEÇÃO | TEMPO ARCO ABERTO | CONSUMO DE ARAME | CORRENTE (A) MÉDIA | TENSÃO (V) MÉDIA |
|--------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Arc20 (CP06) | 18,5              | 3,55             | 174,3              | 21,5             |
| ArC10 (CP07) | 19,8              | 3,38             | 168,7              | 20,1             |

A Tabela 5, compara os resultados obtidos durante as análises dos CP06 (soldado com a utilização a mistura ArC20) e CP07 (soldado com a utilização a mistura ArC10), tendo os valores de tempo de arco aberto e consumo de arame ajustados ao tamanho do filete de solda analisados no item 5.1 (resultante do processo de soldagem com mistura de uso atual - ArC20), onde o valor médio de Z é igual encontrado foi de 5,7 mm contra 4,98 mm usando a mistura ArC10. Embora os resultados obtidos mostre um ganho no consumo de arame de 4,79%, com a diminuição dos respingos gerados devido a maior controle e estabilidade de corrente e tensão mostrado nas Figuras 16, 17,18 e 19, a produtividade obteve valor de ganho contrário, ficando cerca de 1,3% mais lenta que o processo atual para realização de um filete de mesmo tamanho.

### 5.3 Resultados com Modificação do DBCP

A média do tamanho das pernas e penetração obtidas no CP 07 e CP08 (DBCP com Bico Reto) comparados com a média das pernas e penetrações encontradas nos CP09 e CP10 (CBCP com Bico Normal), ambos usando a mistura de gás ArC10 (C10), com diferentes distancias do bico a peças de contato, ilustrados na forma de gráficos na Figura 20, comprova que quanto mais próximo o bico de contato estiver da peça (considerando o uso do módulo de transferência metálica curto circuito), menos percas por efeito joule haverá. Conforme SCOTTI et al. (2008), essa comportamento torna-se evidente com o resultado obtido na penetração encontrada nas amostras analisadas. O mesmo efeito ocorre quando comparado em mistura mais rica em CO<sub>2</sub> – Figura 21.

Outro ponto analisado e comparado foi o desempenho da penetração obtida entre o processo mais rico em CO<sub>2</sub> (Figura 21), onde a média do tamanho das pernas e penetração obtidas no CP 03 e CP04 (DBCP com Bico Reto) comparados com a média das pernas e penetrações encontradas nos CP05 e CP06 (CBCP com Bico Normal), ambos usando a mistura de gás ArC20 (C20), desprezando a diferença entre a velocidade de arame e tensão (necessárias para estabilidade do processo de soldagem), os resultados obtidos com a penetração do bico reto se

mostraram mais eficientes, pois possibilitaram resultados bem próximos comparado do bico normal, demandando menos energia, ou seja, menor calor, devido ao aumento encurtamento da distância percorrida pelo eletrodo à peça de contato, efeito esse mencionado por SOUZA et al. (2011) em seus estudos.

A redução o *Stick-out* no processo de soldagem GMAW, com módulo de transferência curto-circuito manual, utilizando um bico faceado como mencionado na Figura 9, além de ter proporcionado uma penetração mais agressiva na morfologia da solda como mostrado no item 5.1, contribuiu para uma melhor estabilidade do arco durante a soldagem como mostrado nas Figuras 16, 17, 18 e 19 (tensão e corrente do CP07) assim como ganhos de cerca de até 12% em um maior controle do tamanho do filete de solda.

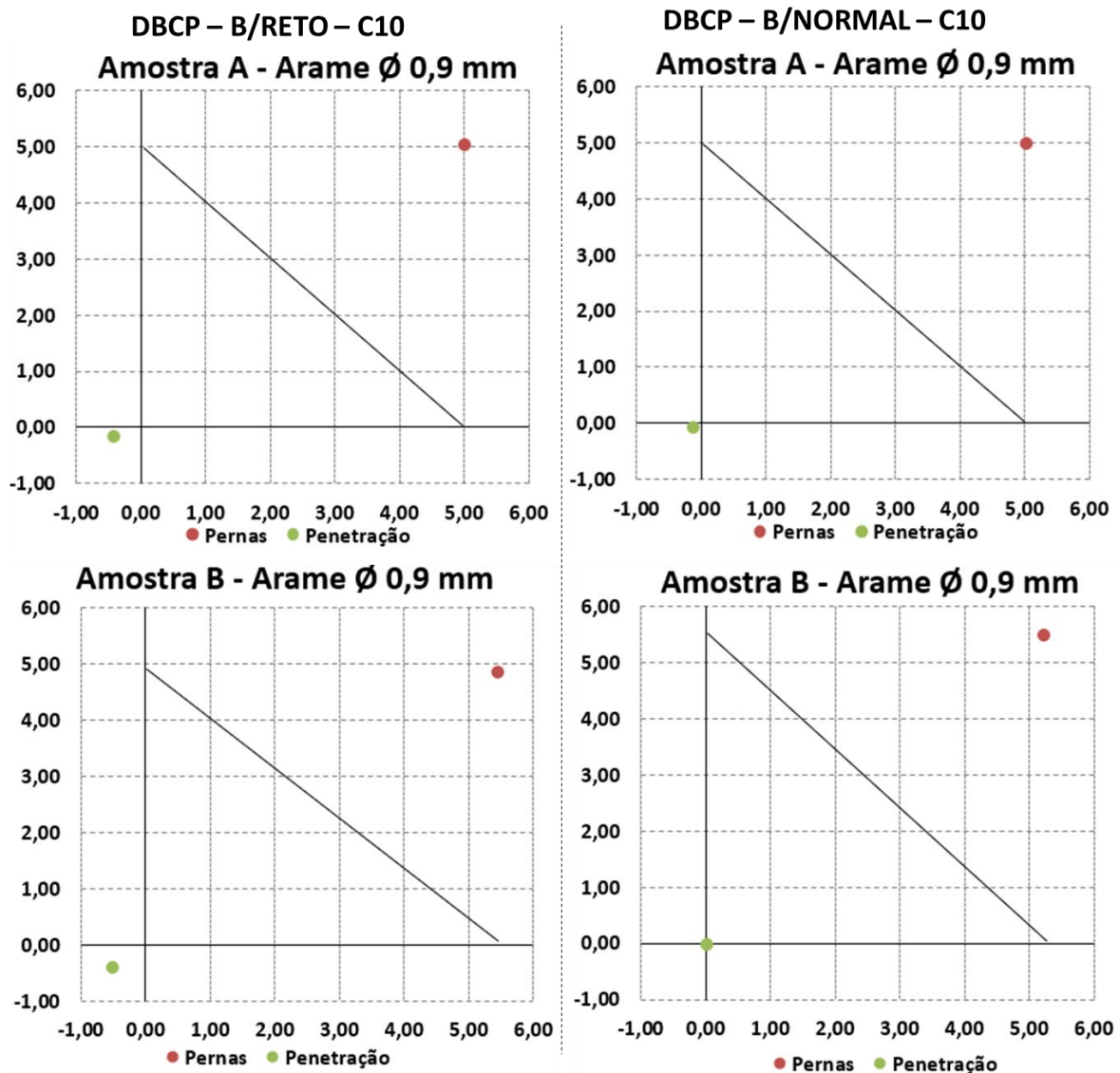


Figura 20 – Comportamento da DBCP normal e com bico reto - Arame Ø 0,9 mm (C10)

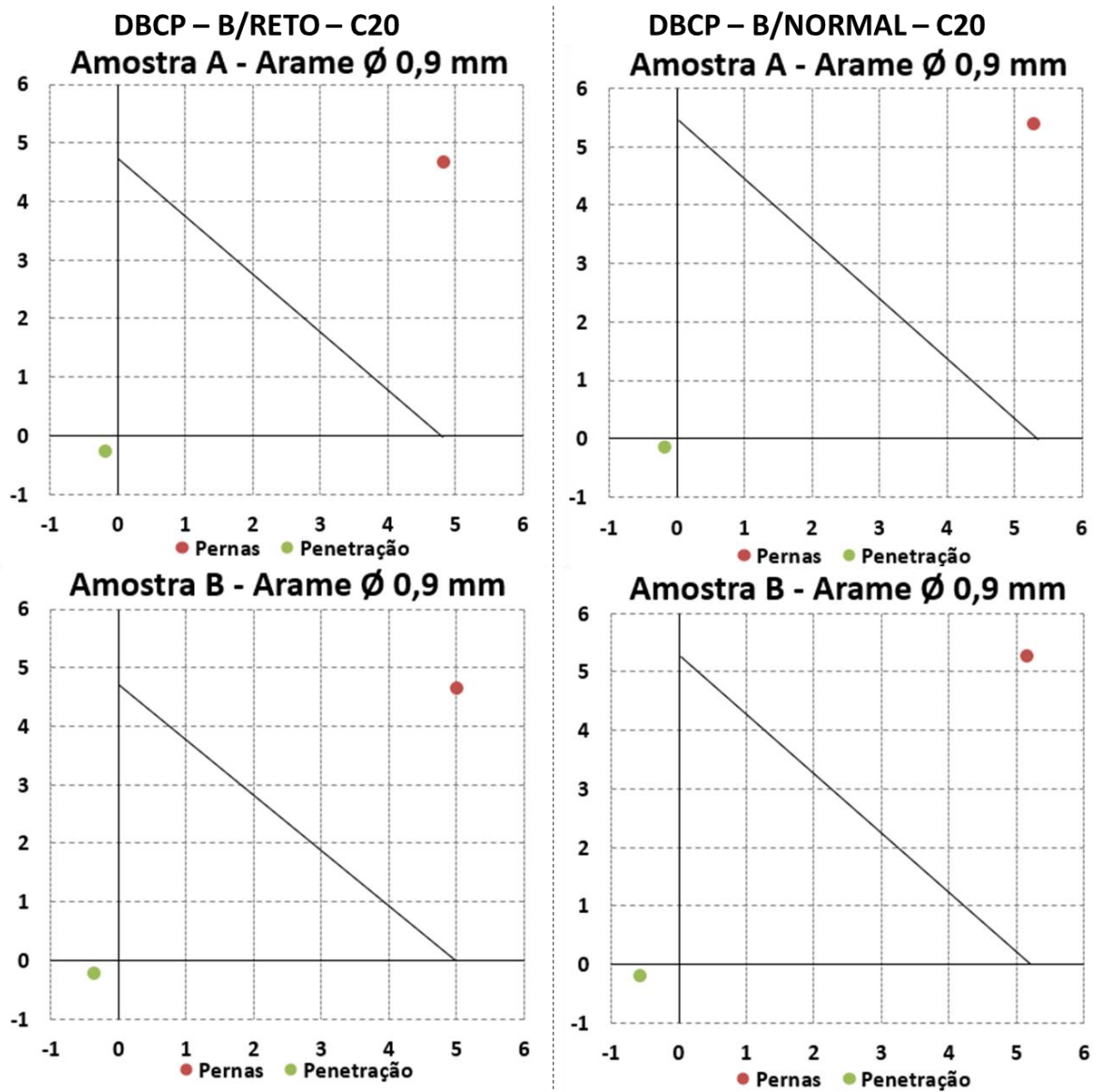


Figura 21 – Comportamento da DBCP normal e com bico reto - arame Ø 0,9 mm (C20)

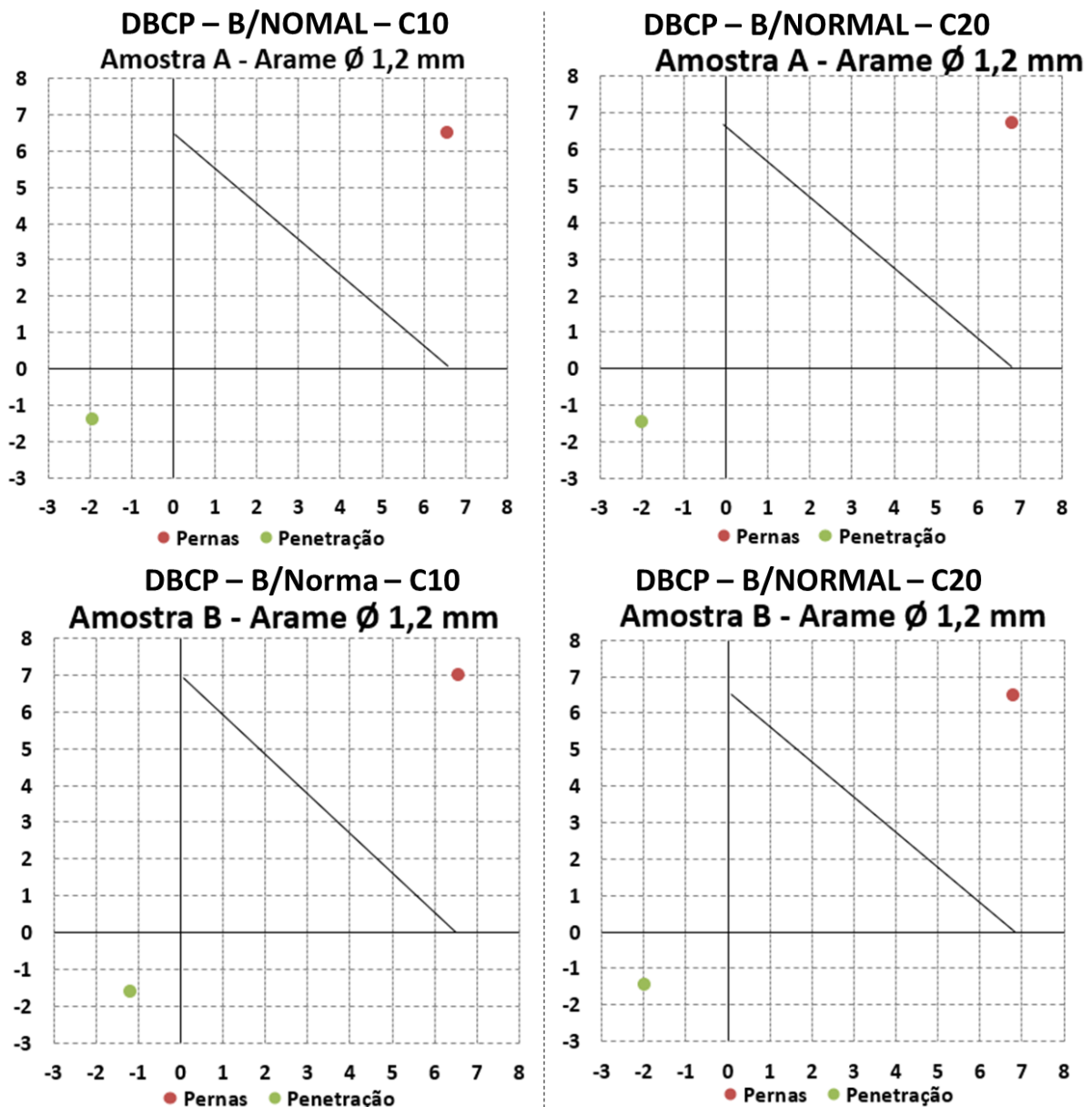


Figura 22 – Comportamento da DBCP normal e com bico reto – arame  $\varnothing$  1,2 mm (C10 x C20)

A Figura 20, compara o desempenho da penetração para um diâmetro de arame de soldagem maior (1,2 mm) mantendo a mesma distância do bico para ambas as amostras, porém alterando a mistura do gás de proteção. A análise correlacionou média do tamanho das pernas e penetração obtidas no CP 12 e CP14 (usando a mistura de gás ArC10) comparando-o com a média das pernas e penetrações encontradas nos CP15 e CP016 (usando a mistura de gás ArC20), ambos com a mesa velocidade de arame e tensão. Os resultados de penetração de raiz para o processo com a utilização de mais rica de CO<sub>2</sub>, mostrou valores com ordem de grandeza em penetração maiores do que o com a mistura ArC10 (C10) .

Analisando as Figuras 18 e 19 , pode se comparar a similaridade de comportamento da direção da penetração com à performance da técnica de deslocamento exercida pelo soldador no processo GMAW semiautomático manual, mencionado o item 5.1. Outro ponto verificado, foi a redução do tamanho das pernas do filete de solda com a utilização mais rica de Ar (ArC10), tanto para o uso do arame de solda com diâmetro 0,9 mm como 1,2 mm, proporcionando uma redução de área de 3% comparado com a mistura ArC20. Tal fenômeno prova o reflexo da estabilidade da tensão e corrente abordado no item 5.2 , sendo influenciado não só pela variação da DBCP como mencionando pelos autores DOBIGNES (2008), MONDENESI (2012), BRACARENSE (2013) e SCOTTI (2002), também pela maior porcentagem de Ar, onde, na utilização do arame de solda com diâmetro de 1,2 mm, o resultado obtido tem a mesma grandeza de ganho.

#### **5.4 Resultados na aparência de soldagem – Respingos gerados**

Os resultados expresso e obtidos durante as análises, não evidenciaram dimensionar o tamanho dos respingos gerados nos testes, mas sim, avaliar a percepção da quantidade presente no local assim como a facilidade da remoção do mesmo usando o mínimo de recurso possível. A Figura 23, mostra a quantidade de testes preliminares realizados durante o estudo de caso, ao todo, foram 65 corpos de prova. Comparando o comportamento das parametrizações atuais de processo (ArC20) em relação as usadas na nova mistura ArC10, a percepção da quantidade de respingo gerados durante abertura, viagem da tocha e fechamento de arco nos corpos de prova soldados, póde ser evidenciado que o comportamento da aplicação dos mesmos parâmetros descritos na Tabela 2 em cordões com cumprimentos maiores do que os mencionados na Figura 11. Verificou-se durante os testes uma quantidade com tamanho expressivamente menor de respingos quando utilizado a mistura rica em Argônio (ArC10) em comparação ao ArC20, em ambos os casos, o tempo de remoção esteve abaixo dos 30 segundos sendo classificada pelo soldador como moderado e, em, muitas vezes de fácil remoção.

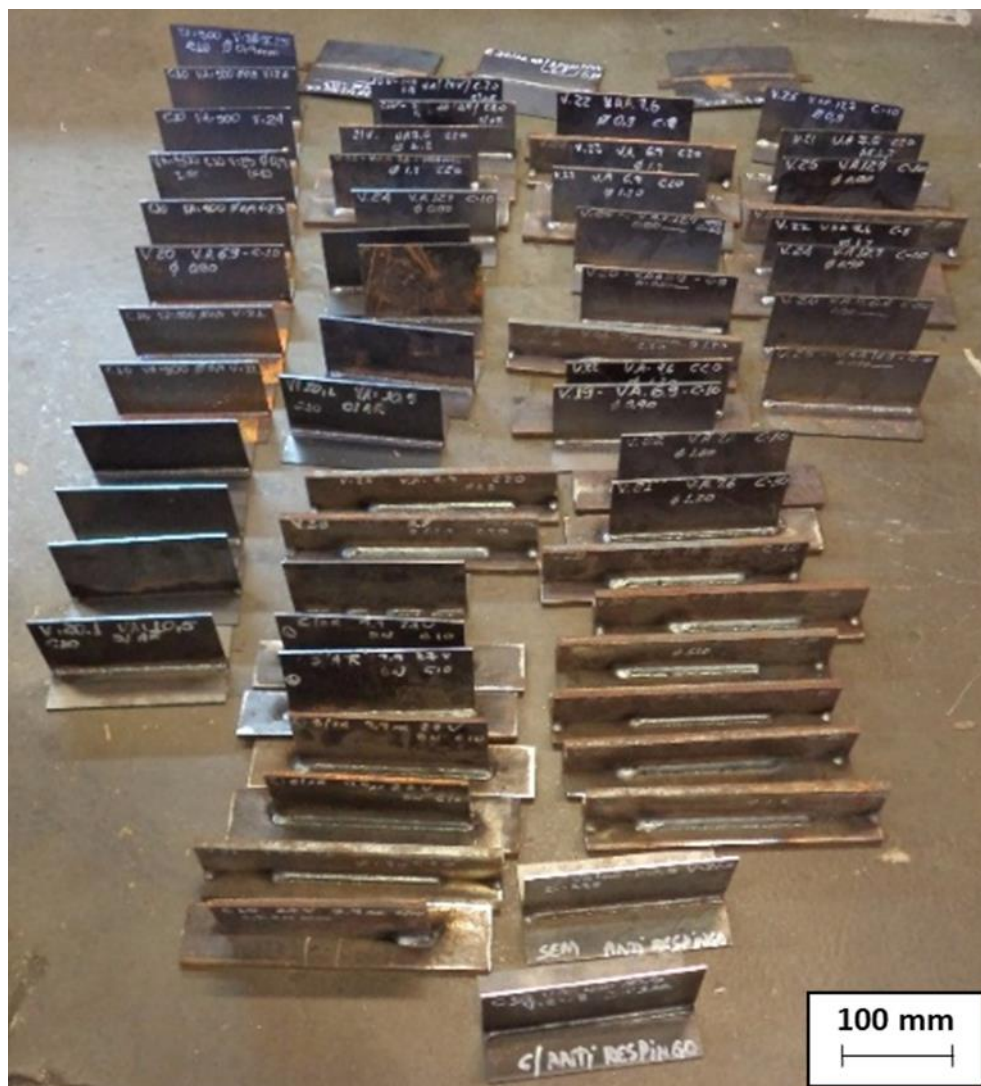


Figura 23 – Quantidade 65 testes preliminares realizados para parametrizar a nova mistura

As Figuras 24 e 25, diferencia o comportamento gerado com a utilização de uma mistura mais rica de Argônio (ArC10), ambos testes não foram aplicados o uso de anti-respingo (S/AR) na superfície a ser soldada. A Figura 24, mostra os resultados onde foi aplicado a soldagem com a mistura ArC10, durante a realização das soldas, constatou-se a presença dos respingos gerados pelos curtos circuitos, que em sua maioria, obtiveram tamanhos quase imperceptíveis e concentrados na chapa base do corpo de prova, exceto na abertura do primeiro arco (da direita para esquerda), onde fica visível a presença de três respingos próximos ao pé da solda. O soldador necessitou do recurso da ferramenta chamada espátula para remover os respingos gerados, próximo e entorno do cordão realizado. A remoção foi classificada como moderada, pois com três passadas, os respingos puderam ser removidos sem maiores esforços não demandando um tempo superior a 30 segundos.



Figura 24 – Quantidade de Respingo ArC10 sem uso de Anti-respingo

Na Figura 24, é retratado os resultados obtidos com a utilizando a mistura ArC20, com uma porcentagem menor de Ar. Essa regulagem é utilizada em grande escala dentro do processo de soldagem estudado, apresenta valores maiores de tensão e corrente necessários para à dissociação da quantidade maior de CO<sub>2</sub> presente na mistura (10% a mais do que a mistura ArcC10), comprovando os estudos realizados por SOUZA et al. (2011). Durante a verificação dos resultados pós soldagem, foi possível verificar a presença de uma maior quantidade de respingos mostrados na Figura 25, marcas próximas a região soldada (cerca de 2000 mm<sup>2</sup>), efeito causado pela projeção dos respingos ainda muito quentes devido a maior incidência de calor gerado na poça de fusão. O soldador demandou um tempo maior, utilizando mais de cinco vezes a espátula para remoção dos salpicos juntos ao corpo de prova, não apenas aderidos à superfície mas também os aderidos junto ao pés da solda, classificando a atividade como uma remoção difícil.



Figura 25 – Quantidade de respingo ArC20 sem uso de Anti-respingo

O resultado dos testes com a aplicação de uma névoa (foi utilizado um borrifador) de anti-respingo nas chapas antes de serem soldadas, foram idênticos. As Figuras 26 e 27, representam a aparência dos testes antes do processo de limpeza, indiferente da regulagem e porcentagem da mistura de gás de proteção usada, seja ArC10 ou ArC20. O soldador classificou a limpeza como fácil remoção. Outro ponto foi a quantidade dos respingos aderidos à superfície foram bem menores devido ao produto aplicado. Ao se comparar os corpos de prova da Figura 25 e Figura 26, nota-se que uma expressiva redução de marcas deixadas pela projeção dos respingos ainda quentes junto à chapas soldadas, aparência de rastros que marcaram as trajetórias percorrida pelos salpicos.

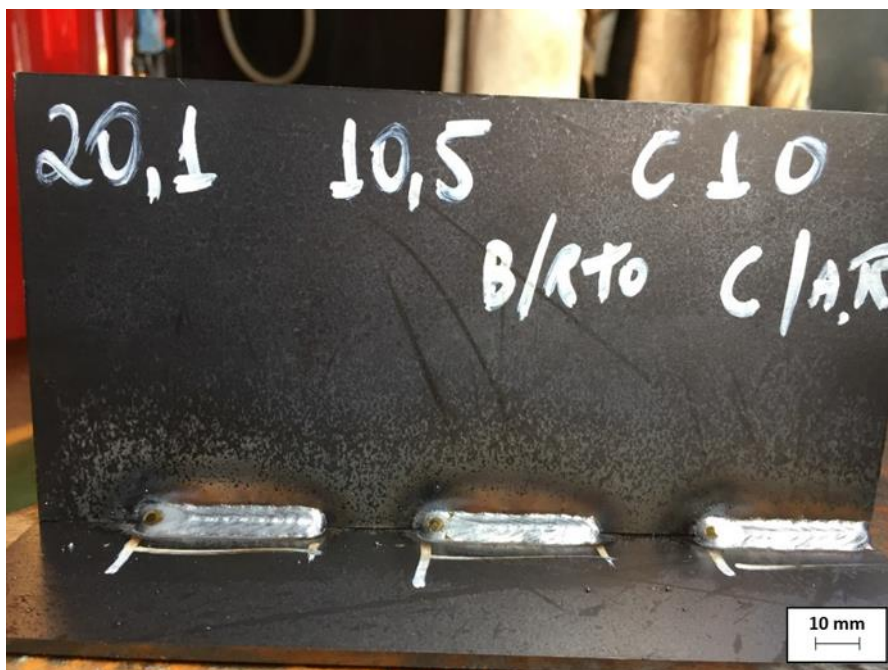


Figura 26– Quantidade de respingo gerados com a mistura ArC10 com uso de anti-respingo



Figura 27 – Quantidade de respingo gerados com a mistura ArC20 com uso de anti-respingo

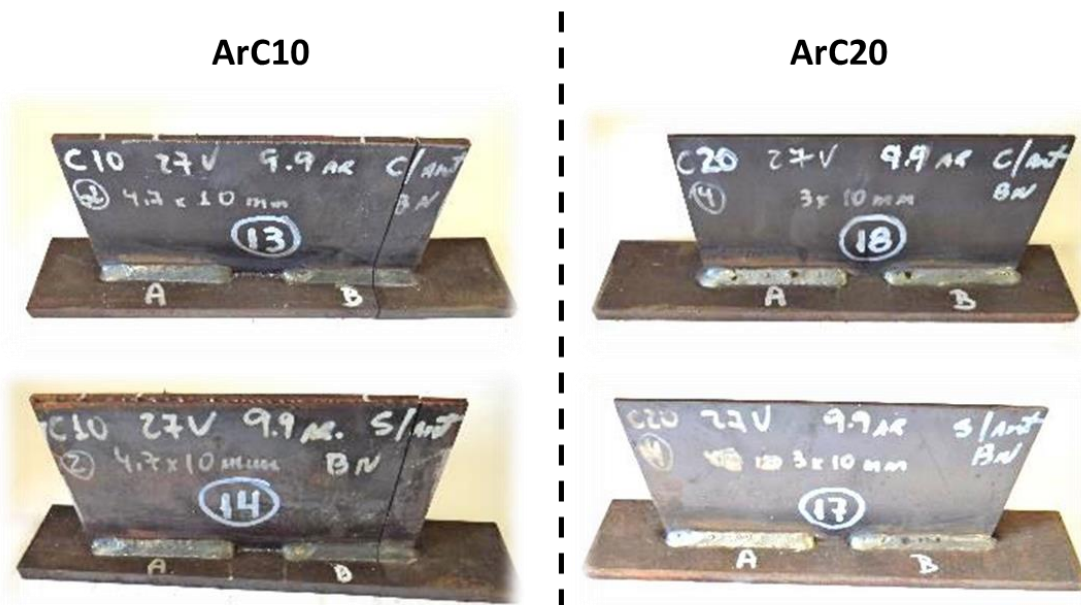


Figura 28 – Resultado de aparência dos testes com o diâmetro de arame 1,2

A Figura 28, mostra a aparência dos teste com a utilização dos arames de solda com diâmetro de 1,2 mm. Os resultados quanto a aparência e dificuldade quanto a remoção dos respingos gerados se mostram ser idênticos ao processo utilizando o arame de área de contato menor, porém a quantidade respingo gerado nestes foram ainda menores, indiferente da aplicação ou não do anti-respingo.

Tabela 6 – Avaliação dos testes quanto a remoção dos respingos gerados.

| AMOSTRA          | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 | CP5 | CP6 | CP7 | CP8 | CP9 | CP10 | CP11 | CP12 | CP13 | CP14 | CP15 | CP16 | %   |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| REMOÇÃO FÁCIL    |     | X   |     | X   |     | X   | X   |     | X   |      | X    |      | X    |      | X    |      | 50% |
| REMOÇÃO MODERADA | X   |     | X   |     |     |     |     | X   |     | X    |      | X    |      | X    |      |      | 38% |
| REMOÇÃO DIFÍCIL  |     |     |     |     | X   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      | X    | 13% |

A Tabela 6, resume a classificação feita pelo soldador ao aplicar o processo de limpeza (remoção dos respingos gerados), onde 50% da classificação foi descrita como remoção fácil e concentrou-se nos testes onde houveram aplicação de anti-respingo (indiferente da alteração da distância bico de contato-peça e diâmetro do arame usado). Já a remoção moderada, obteve 38% da classificação, sendo 66% deste todo concentrado na utilização de arames de solda 0,9 mm, onde 75% das amostras fizeram uso do bico reto (faceado ao bocal) e apenas 13% foram classificados como de remoção difícil, onde 100% das amostra utilizaram bico normal mencionado na Figura 9.

## CAPITULO 6: CONCLUSÕES

Com base nos estudos, condições de testes e resultados obtidos, as seguintes conclusões foram possíveis sobre o aumento na porcentagem de Argônio com intuito de diminuir o índice de respingos em um processo de soldagem GMAW que utiliza o modulo de transferência curto circuito manual para união de chapas:

1. O aumento da porcentagem de Argônio torna a transferência metálica do arco mais estável, gerando um menor consumo de arame e proporcionando uma diminuição no tamanho e quantidade de respingos projetados pela instabilidade ocasionada pelos curtos circuitos;
2. A mistura mais rica em Ar proporciona um transferência metálica com faixa operacional mais baixas, proporcionando uma diminuição no consumo energético, uma diminuição de penetração comparada à uma mistura mais rica de CO<sub>2</sub> e uma redução na velocidade de trabalho;
3. A redução de Ar na mistura de proteção na união de chapas mais espessas com parametrizações idênticas proporcionam um tamanho de perna de filete e penetração de raiz menores;
4. A mudança do gás de proteção sem a realização do ajuste da distância do bico a peça de contato gera efeitos indesejáveis e inaceitáveis a estrutura da solda;
5. O aumento da proporção de Argônio no gás de proteção proporciona uma mistura mais cara;
6. A redução da DBCP no processo de soldagem GMAW com módulo de transferência por curto circuito semiautomático manual proporciona um aumento na taxa de penetração para união de chapas finas, uma menor variação na morfologia externa do cordão de solda (tamanho mais uniforme entre pernas do filete de solda) e uma estabilidade na corrente de soldagem, diminuindo a perda por efeito Joule;
7. A redução do CO<sub>2</sub> na mistura no gás de proteção mais o fator humano, estabilidade e coordenação motora durante a soldagem, potencializa a aparição de falhas como falta de fusão na raiz, direcionamento incorreto e tamanho de pernas desiguais;

8. Somente a mudança da porcentagem do Argônio junto a mistura do gás de proteção não elimina a presença do respingo gerado pela transferência metálica, embora a quantidade, ainda perceptivelmente menor, não elimina a necessidade de limpeza a ser realizada pelo soldador e o tempo de limpeza não sofre um impacto que possa ser mensurável e considerável ao ponto de prover ganhos produtivos;
9. A mudança na porcentagem de argônio não elimina o uso do anti-respingo junto ao processo de manufatura, os resultados mostram que a aplicação deste produto potencializa a facilidade da remoção dos respingos existentes na superfície da chapa.

## **CAPITULO 7: REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

BELGO BEKAERT ARMES, ARCELOMITTAL . Catalogo de Solda. Retirado do site: <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Documents/CATALOGO%20SOLDA%202015.pdf>, 15:36, 26/11/2017.

BRACARENSE, ALEXANDRE QUEIROZ. Gas Metal Arc Welding. São Paulo: Infosolda, Abril 2013.

COLPAERT, HUBERTUS. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos. Revisão técnica André Luiz V. da Costa e Silva. 4º edição. São Paulo, Edgard Blucher, 2008.

Crise na construção provoca liquidação de máquinas pesadas - Sob efeito da desaceleração econômica e da Operação Lava Jato, mercado de máquinas para construção civil busca alternativas para evitar tombo nas vendas em 2014 - <http://economia.ig.com.br/2015-06-12/crise-na-construcao-provoca-liquidacao-de-maquinas-pesadas.html>

DOBIGNIES, ALEX AUGUSTO. Estudo do rendimento de deposição de material na soldagem MIG/MAG em condições de transferência metálica por curto-circuito forçado. UFPR, Curitiba, 2008.

FORTES, CLEBER; VAZ, CLÁUDIO TURANI. Apostila de Soldagem MIG/MAG – ESAB. Belo Horizonte, 2005.

GIMENES JR. LUIZ; JOSÉ PINTO RAMALHO – Conceitos de Soldagem Mig/Mag. Disponível em Site Infosolda. [www.infosolda.Com.br/download/61dpe.Pdf](http://www.infosolda.Com.br/download/61dpe.Pdf) - 2005

HERMANS, M.J.M.; OUDEN, G. DEN. Process Behavior and Stability in Short Circuit Gas Metal Arc Welding. Welding Research Supplement, RESEARCH/DEVELOPMENT, p.137-141. April 1999.

MARQUES, PAULO VILANI; MONDENESI, PAULO JOSÉ; BRACARENSE, ALEXANDRE QUEIROZ. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 4º edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MODENESI, PAULO JOSÉ; MARQUES, PAULO VILANE. Soldagem I – Introdução aos Processos de Soldagem. UFMG. Belo Horizonte, 2006.

MODENESI, PAULO J. - Introdução à Física do Arco Elétrico e Sua Aplicação Na Soldagem de Metais. UFMG, Belo Horizonte, 2012.

MOREIRA, ALCINDO FERNANDO, Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW. UNESP, Campus de Ilha Solteira, 2008.

RESENDE, AMADEU. Mapeamento paramétrico da soldagem GMAW com arame de aço inoxidável ferrítico e austenítico. UFMG. Belo Horizonte, 2007.

ROMEIRO, SOLANGE BIANCO BORGES. Química na Siderurgia. Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS. Porto Alegre, 1997.

SÁBIO, ALBERTO DIAS. Estudo de Viabilização Operacional do Processo de Soldagem MAG com Alimentação adicional de Arame Frio. UFPA, PPGEM. Belém do Pará, 2007.

SCOTTI, AMÉRICO; PONOMAREV,VLADIMIR. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho / melhor desempenho. São Paulo: Artliber Editora, 2008.

SCOTTI, AMÉRICO; PONOMAREV,VLADIMIR; LUCAS WILLIAN. A scientific application oriented classification for metal transfer modes in GMA welding. Journal of Material Processing Technology 212, p.1406 – 1413. ELSEVIER, 2012.

SOUZA, DANIEL; ROSSI, MARCELO LEMOS; KEOCHEGUERIAN, FLÁVIO; NASCIMENTO, VINÍCIUS CASTANHEIRO, VILARINHO, LOURIEL OLIVEIRA; SCOTTI, AMÉRICO. Influência da regulagem de parâmetros de soldagem sobre a estabilidade do processo de MIG/MAG operando em curto-circuito. Soldagem & Inspeção, Volume 16, nº1 , p. 022-032, Jan/Mar 2011.

TATAGIBA, LUIZ CLAUDIO SOARES; GONÇALVES, RENATA BARBOSA; PARANHOS, RONALDO. Tendências no Desenvolvimento de Gases de Proteção Utilizados na Soldagem MIG/MAG. Soldagem & Inspeção, Vol. 17, Nº1, p.218-228. São Paulo, Jul/Set 2012.