

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

DIOGO FELIPE PELLER DA SILVA  
MEXANDEAU CASTRO DOS SANTOS PEREIRA

**INTEGRAÇÃO ENTRE ROBÔ E MÁQUINA DE SOLDA PARA  
REVESTIMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

DIOGO FELIPE PELLER DA SILVA  
MEXANDEAU CASTRO DOS SANTOS PEREIRA

## **INTEGRAÇÃO ENTRE ROBÔ E MÁQUINA DE SOLDA PARA REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Me. Vilmair Ermenio Wirmond

CURITIBA  
2014

**DIOGO FELIPE PELLER DA SILVA  
MEXANDEAU CASTRO DOS SANTOS PEREIRA**

## **INTEGRAÇÃO ENTRE ROBÔ E MÁQUINA DE SOLDA PARA REVESTIMENTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, do **Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 21 de julho de 2014

---

Prof. José da Silva Maia, M.Eng.  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

---

Prof. Jean Carlos Cardozo da Silva, D.Sc.  
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. José da Silva Maia, M.Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Vilmair Ermenio Wirmond, M. Eng  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

---

Prof. Juvenal Akita, Esp.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Winderson Eugenio dos Santos, D. Eng  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.



## RESUMO

DA SILVA, Diogo F. P.; PEREIRA, Mexandeu C. dos Santos. Integração entre Robô e Máquina de Solda para Revestimento, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Este trabalho apresenta os procedimentos empregados para a realização de uma integração entre um robô e uma máquina de solda com a finalidade de revestir um substrato base. Traz uma abordagem acerca dos tipos de soldagem e seus fundamentos, assim como o faz também com a robótica. Apresenta os aspectos dos equipamentos utilizados para o trabalho, assim como uma breve descrição dos mesmos. A integração visa possibilitar a alteração dos parâmetros de soldagem em pelo menos dois pontos do ciclo de revestimento realizado pelo robô, viabilizando testes de diferentes ligas metálicas em diferentes substratos utilizando diferentes parâmetros de soldagem. A integração tem por objetivo ser simples e versátil, proporcionando facilidade no entendimento dos parâmetros necessários para a realização do revestimento soldado através do robô. Os resultados são apresentados através do programa desenvolvido para o robô, comentado, e imagens de revestimentos realizados pelo trabalho concluído.

**Palavras-chave:** Soldagem. Robótica. Revestimento soldado. Soldagem robotizada.

## ABSTRACT

DA SILVA, Diogo F. P .; PEREIRA, Mexandeu C. dos Santos. Integration between Robot and Welding Machine for Coating, 2014 Working End of Course (Course of Technology in Industrial Automation) - Federal Technological University of Paraná.

This study presents the procedures used to perform an integration between a robot and a welding machine for the purpose of coating a substrate. Brings an approach about the types of welding and its fundamentals, as well as does with robotics. Presents aspects of the equipment used for the job as well as a brief description of them. The integration aims to allow the change of the welding parameters on at least two points of the coating cycle performed by the robot, enabling tests with different metal alloys in different substrates with different welding parameters. The integration aims to be simple and versatile, providing ease in understanding the parameters needed to perform the soldier coatings by the robot. Results will be presented through the program developed for the robot, commented, and images of coatings performed the work completed.

**Keywords:** Welding. Robotics. Coating. Robotic welding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão dos processos de soldagem.....	20
Figura 2 - Característica estática de uma fonte de soldagem de corrente constante	23
Figura 3 - Característica estática de uma fonte de soldagem de tensão constante	24
Figura 4 - Característica estática do arco com diferentes gases de proteção .....	26
Figura 5 - Sistema de soldagem MIG/MAG.....	29
Figura 6 - Pistola de soldagem MIG/MAG .....	29
Figura 7 - Relação entre velocidade do arame e tensão de trabalho MIG/MAG .....	31
Figura 8 - Forças atuantes durante a transferência metálica MIG/MAG .....	33
Figura 9 - Modos de soldagem MIG/MAG .....	34
Figura 10 - Resultado da soldagem MIG/MAG em diferentes gases de proteção.....	35
Figura 11 - Possíveis problemas na soldagem MIG/MAG.....	36
Figura 12 - Tipos de junta utilizadas em robôs industriais.....	41
Figura 13 - Identificação de elos e juntas em um robô articulado .....	42
Figura 14 - Representação de um robô cartesiano .....	43
Figura 15 - Representação de um robô de coordenadas cilíndricas .....	43
Figura 16 - Representação de um robô de coordenadas esféricas.....	44
Figura 17 - Representação de um robô SCARA .....	45
Figura 18 - Representação de um robô articulado .....	45
Figura 19 - Representação de um robô paralelo.....	46
Figura 20 - Tipos de efetadores com a função de garra.....	47
Figura 21 - Relação entre precisão e repetibilidade .....	48
Figura 22 - Sistema de controle em malha fechada .....	49
Figura 23 - Integração industrial através de diferentes interfaces .....	51
Figura 24 - Diferenças entre sinais analógicos e digitais .....	53
Figura 25 - Intervalos de sincronização de redes.....	55
Figura 26 - Diferença de níveis de tratamento de redes industriais .....	57
Figura 27 - Topologia de rede DeviceNet.....	58
Figura 28 - Fonte de soldagem Digiplus A7 .....	59
Figura 29 - Esquemático eletrônico de potência da fonte Digiplus A7 .....	60
Figura 30 - Dados de soldagem MIG/MAG Digiplus A7 .....	62
Figura 31 - Robô IRB 1600ID-4/1.5.....	64

Figura 32 - Distribuição espacial do robô IRB 1600ID-4/1.5 .....	65
Figura 33 - Elos do robô IRB 1600ID-4/1.5 .....	66
Figura 34 - Controlador IRC5 .....	67
Figura 35 - Interface DSQC 652.....	68
Figura 36 - Diagrama de conexão elétrica entre DSQC 652 e Digiplus A7 .....	71
Figura 37 - Interface de sinais digitais na fonte Digiplus A7 .....	71
Figura 38 - Tecimento - Relação entre as possibilidades de movimento e precisão.	74
Figura 39- Tecimento - Movimentos realizados quando a forma zigzag é utilizada ..	74
Figura 40 - Tecimento - Movimentos realizados quando a forma "V" é utilizada.....	75
Figura 41 - Tecimento - Movimentos realizados quando a forma triangular é utilizada .....	75
Figura 42 - Tecimento - Largura do cordão de solda .....	75
Figura 43 - Tecimento - Comprimento do cordão de solda .....	76
Figura 44 - Tecimento - Tempo de ciclo e frequência de soldagem.....	76
Figura 45 - Tecimento - Altura de soldagem .....	76
Figura 46 - Tecimento - Deslocamento no lado esquerdo (DL).....	77
Figura 47 - Tecimento - Deslocamento central (DC) .....	77
Figura 48 - Tecimento - Deslocamento no lado direito (DR) .....	77
Figura 49 - Tecimento - Inclinação no plano horizontal.....	78
Figura 50 - Tecimento - Inclinação no plano vertical .....	78
Figura 51 - Tecimento - Inclinação no plano vertical .....	78
Figura 52 - Movimento planejado para o tecimento .....	79
Figura 53 - Variáveis consideradas para o movimento de tecimento .....	80
Figura 54 - Interface com o usuário.....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de gases de proteção .....	28
Quadro 2 - Comparação e seleção do processo de soldagem.....	38
Quadro 3 - Relação entre velocidade de transmissão e comprimento dos cabos.....	57
Quadro 4 - Capacidade de corrente das fontes Digiplus A7 .....	61
Quadro 5 - Valores lógicos para seleção dos programas na fonte Digiplus A7.....	63
Quadro 6 - Dados do robô IRB 1600ID-4/1.5 .....	64

## LISTA DE SIGLAS

ABB	Asea Brown Boveri
AWS	American Welding Society (Sociedade Americana de Soldagem)
CLP	Controlador Lógico Programável
CP	Trajectoria contínua
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
GMAW	Gas Metal Arc Welding (Soldagem a Arco com Gás Metal)
ISO	International Organization for Standardization
MAG	Metal Active Gas (Gás Metal Ativo)
MIG	Metal Inert Gas (Gás Metal Inerte)
PTP	Ponto-a-ponto
TIG	Tungsten Inert Gas (Gás Tungstênio Inerte)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	TEMA.....	12
1.1.1	Delimitação do tema.....	13
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos específicos.....	15
1.4	JUSTIFICATIVA.....	15
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	SOLDAGEM.....	18
2.1.1	Classificação dos processos de soldagem.....	19
2.1.2	Seleção do processo de soldagem.....	21
2.1.3	Soldagem por arco elétrico.....	22
2.1.3.1	Soldagem MIG/MAG.....	27
2.1.3.1.1	Gases de proteção.....	34
2.1.3.1.2	Erros de soldagem MIG/MAG.....	35
2.1.3.2	Revestimento soldado.....	37
2.2	ROBÓTICA.....	39
2.2.1	Definição de robô.....	40
2.2.2	Classificação de robôs segundo sua estrutura mecânica.....	42
2.2.3	Efetadores.....	46
2.2.4	Dinâmica do robô.....	47
2.2.5	Sistema de controle.....	48
2.2.6	Integração de sinais e dados em um robô.....	51
2.2.7	Interfaces e protocolos industriais.....	55
2.2.7.1	Protocolo DeviceNet.....	56
<b>3</b>	<b>MATERIAIS.....</b>	<b>59</b>
3.1	FONTE DE SOLDAGEM.....	59
3.2	ROBÔ.....	63
3.3	MÓDULO DE ENTRADAS E SAÍDAS DIGITAIS.....	68
<b>4</b>	<b>INTEGRAÇÃO ROBÔ - MÁQUINA DE SOLDA.....</b>	<b>69</b>
4.1	PREMISSAS.....	69
4.2	INTERLIGAÇÃO ELÉTRICA.....	70
4.3	COMUNICAÇÃO E CONTROLE.....	72
4.4	PROGRAMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TRAJETÓRIA.....	72
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>99</b>
5.1	PROGRAMA.....	99

5.2 INTERFACE.....	99
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE A - Programa de tecimento para o robô IRB 1600ID-4/1.5.....</b>	<b>104</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Desde os primórdios da sociedade, o ser humano se utiliza de ferramentas e utensílios para a realização de tarefas cotidianas, visando sempre a redução do esforço e tempo necessários para a realização dessas atividades.

Com o advento da indústria e o aumento do consumo de produtos manufaturados veio a crescente busca por métodos de produção mais eficientes e a redução de gargalos de produção.

Com o passar do tempo, inúmeras foram as invenções que propiciaram o conhecimento tecnológico para a eventual substituição do homem por máquinas, principalmente em trabalhos repetitivos e que envolvam alto risco e periculosidade a saúde humana.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico voltado para a área industrial visou a criação de dispositivos "programáveis", aumentando a abrangência e flexibilidade dos equipamentos industriais, fornecendo assim uma grande capacidade de desenvolvimento de melhorias nos processos e redução nos custos. Nesse contexto, os robôs tem sido uma das grandes novidades tecnológicas empregadas nas indústrias, principalmente por fazer parte do grupo de equipamentos denominados como "automação flexível", onde um único robô pode ser utilizados para diferentes funções devido a sua capacidade de reprogramação.

Uma definição para robô é apresentada pela norma ISO (International Organization for Standardization) 10218, como sendo: "uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial".

Uma das principais atividades atribuídas a robôs na indústria atualmente é o processo de soldagem. O processo de solda consiste basicamente na geração de altas temperaturas para a junção de dois metais, sejam eles com as mesmas propriedades ou não.

O calor necessário para o processo de soldagem pode ser oriundo de diferentes fontes, sendo as mais comuns a queima de gases ou arco elétrico.

Normalmente o processo de soldagem é utilizado para junção de peças metálicas, mas em muitas situações também é utilizado para reparar objetos danificados. Existe ainda uma grande recorrência ao processo de soldagem para revestir superfícies, tornando-as mais resistentes a corrosão, desgaste, abrasão e até mesmo impacto, sendo esta última função a atividade a ser apresentada neste trabalho.

### 1.1.1 Delimitação do tema

Durante o revestimento de uma superfície muitos são os fatores que influenciam em sua qualidade, sendo os principais fatores a geometria do cordão de solda e a penetração do material de solda no substrato a ser revestido.

Soldagem automática é definida como sendo a aplicação de componentes mecanizados/eletrônicos para a execução de funções básicas de um procedimento de soldagem, exigindo-se não apenas componentes não inteligentes para a movimentação do arco elétrico da solda sob a peça de trabalho (ou da peça sob o arco), mas também fixadores para prender os materiais, manipulando tanto o movimento da peça de trabalho, quanto o movimento do arco elétrico. Além disto, considera-se também sensores para monitorar parâmetros de soldagem e a partir deles, controlar o processo(BASTOS FILHO; FELIZARDO; ROGANA, 2002 p.1) .

A integração entre um robô e uma máquina de solda é bastante utilizada e pode ser encontrada em muitas indústrias, porém uma integração que possibilita a mudança de parâmetros de solda durante a execução da trajetória de soldagem é bastante incomum. O desenvolvimento de uma integração capaz de proporcionar ao usuário a possibilidade de elaborar a trajetória mais eficiente para a sua aplicação e também selecionar os diferentes pontos de mudança de parâmetros de solda é que trazem dificuldades ao trabalho.

Para a execução do processo de solda será utilizada uma máquina de solda modelo Digiplus A7 com processador de 32 bits, que utiliza o arco elétrico como fonte de calor e realiza a solda do tipo MIG. Para controle e execução da solda será utilizado um robô modelo ABB IRB 1600ID-4/1.5 de seis articulações.

A atividade realizada retrata a utilização de um robô executando o revestimento de diferentes substratos utilizando a capacidade de programação do equipamento para a elaboração de uma trajetória satisfatória, sendo que o mesmo controla também parâmetros de soldagem, modificando-os conforme o trajeto em execução através de uma placa de entradas e saídas digitais, modelo 3HAC025917-

001/00 DSQC652 da marca ABB, que comunica-se com o controlador do robô através de uma rede DeviceNet.

O trabalho será desenvolvido em um dos laboratórios da Universidade Federal do Paraná e será apresentado em fotos e vídeos para a análise dos resultados.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

É possível criar uma integração entre um robô ABB, modelo IRB 1600ID-4/1.5, e uma máquina de soldagem Digiplus A7 que permita versatilidade nos movimentos de revestimento durante a trajetória robótica e, ao mesmo tempo, permita a troca de programas de solda em determinados trechos?

Durante o revestimento de uma peça o movimento desenvolvido, assim como a mudança dos parâmetro de soldagem, devem estar em harmonia, tornando a geometria do cordão de solda mecanicamente satisfatória e a penetração do material depositado sobre o substrato mínima. Qualquer problema com o posicionamento da ferramenta de soldagem em relação ao plano, assim como alteração na velocidade de soldagem podem afetar o resultado do processo.

A possibilidade de integrar um robô com uma máquina de soldagem afim de proporcionar versatilidade na movimentação do robô de realização do revestimento é possível, desde que certos limites sejam estabelecidos, como a criação de um padrão que possa servir como base de repetição para a trajetória robótica. Quanto a modificação dos parâmetros de soldagem, a mesma é possível desde que a fonte utilizada forneça suporte para troca de parâmetros a frio (sem desligar o equipamento) e também possua uma interface de comunicação com outros dispositivos.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Integrar de forma satisfatória robô e máquina de solda afim de permitir versatilidade na trajetória robótica para a atividade de revestimento e possibilitar a troca de parâmetros de soldagem em determinados pontos desse movimento.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Encontrar possível forma de controle da fonte de soldagem de forma remota;
- Encontrar possível forma de comunicação compatível entre o robô e a máquina de solda;
- Integrar o robô à máquina de solda;
- Testar os comandos de forma a verificar a real possibilidade de controle da máquina de solda através do robô;
- Desenvolver programa de trajetória do robô satisfatório para a atividade de revestimento de superfícies através da solda;
- Desenvolver método de mudança de programa na máquina de solda durante a execução de uma trajetória pelo robô;
- Criar na ferramenta de programação do próprio robô uma interface para simplificar a parametrização das variáveis de trajetória e mudança de programa de soldagem.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A iniciativa básica da indústria é a busca constante por maior eficiência e produtividade em cada uma das atividades que a mesma realiza. Equipamentos que possuem a capacidade de serem realocados, reprogramados ou que possam ser utilizados na fabricação de mais de um produto tornam-se essenciais no ambiente dinâmico da indústria.

A disponibilização de uma máquina integrada que pode ser utilizada em diversos tipos de revestimentos através da soldagem "MIG" torna-se uma opção interessante no mercado.

É importante ressaltar que a integração visa disponibilizar uma interface de alteração de parâmetros dos equipamentos integrados, facilitando o uso para pessoas não habituadas ao processo de soldagem.

O trabalho permitirá também um futuro aprimoramento, pois, por tratar-se de um sistema programável, pode vir a integrar mais dispositivos, como novos sensores para controle, integração com sistemas de supervisão e outros, visando a melhora do controle no processo.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A sequência de estudos a ser seguida é extremamente atrelada aos objetivos que pretendem-se alcançar nesse trabalho. As pesquisas serão baseadas em manuais fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, as programações feitas com conhecimentos prévios e os testes em sua maioria serão visuais ou através de procedimentos baseados na observação. A sequência é a seguinte:

- Obter informações referentes a máquina de solda através do manual do fabricante, caso o manual não corresponda as expectativas acerca das informações necessárias, identificar, através de inspeção visual e conhecimento prévio, os componentes do equipamento de relevância para o trabalho;
- Os mesmos procedimentos tomados com a máquina de solda serão utilizados com o robô, existindo o adicional neste da necessidade de estudo de sua forma de programação e linguagem utilizada para tal atividade;
- Desenvolvimento prático do trabalho tomando como base os estudos efetuados até o presente momento, essa etapa conta com as atividades de conectar eletricamente os dispositivos de forma satisfatória, medição dos sinais elétricos para verificação de possíveis erros de ligação, testar de forma básica as funções dos equipamentos e verificar visualmente o correto funcionamento de ambos os equipamentos;
- Testar os comandos criados para integração dos equipamentos, verificando a real possibilidade de controle da máquina de solda através do robô;
- Desenvolver programa de trajetória do robô satisfatório para a atividade de revestimento de superfícies através da solda, essa etapa exigirá uma pesquisa mínima acerca da atividade de revestimento de superfícies através da solda e também acerca dos principais fatores que afetam a qualidade em uma solda "MIG";
- Desenvolver método de mudança de programa na máquina de solda durante a execução de uma trajetória pelo robô, para isso serão utilizados conhecimentos adquiridos através dos manuais, sendo que

esses comandos devem partir através de um comando do robô baseado em sua posição atual;

- Criar na ferramenta de programação do próprio robô uma interface simples para a parametrização das variáveis de trajetória e mudança de programa de soldagem;
- Testes gerais com base na observação do conjunto de atividades desenvolvidas e se todas estão de acordo com o proposto por esse trabalho.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado conforme segue:

- Capítulo 1 - Introdução com apresentação do tema, problemas, objetivos principais e metodologia da pesquisa;
- Capítulo 2 - Fundamentação teórica: Identificação dos principais conceitos encontrados nos manuais, livros de robótica e soldagem aplicáveis ao trabalho desenvolvido;
- Capítulo 3 - Materiais - Descrição dos equipamentos que serão utilizados no trabalho;
- Capítulo 4 - Integração robô - máquina de solda;
- Capítulo 5 - Resultados;
- Considerações finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SOLDAGEM

O processo de unir diferentes peças sendo elas de materiais semelhantes ou completamente distintos é utilizado pelo homem desde o desenvolvimento de seus primeiros utensílios e ferramentas. A princípio os meios utilizados para essa união eram puramente mecânicos e não envolviam a mudança de estado físico dos materiais que fariam a composição da peça ou conceitos físicos avançados, como exemplo temos a rebitagem, que une duas ou mais peças através de um pino.

Diversos são os meios utilizados para a união de materiais, os meios tratados aqui fazem referência principalmente a união de materiais metálicos por fusão. Existem várias formas de provocar a união de materiais através da fusão, sendo muitas vezes difícil afirmar qual é o processo a ser empregado em cada caso, pois diferentes meios podem apresentar resultados muito semelhantes (OKIMOTO, 2014).

São três os principais processos de união dos materiais através da fusão:

- Soldagem: É o tipo de processo mais comum devido as suas características e diferentes áreas de aplicação. Pode ser realizada através da união de dois materiais através da fusão dos próprios quando em contato íntimo, pode ocorrer também através do contato íntimo de dois materiais e a adição de um terceiro material fundido, realizando, através desse terceiro material, a união, existe ainda a possibilidade de soldar esses materiais unindo um material em estado sólido e o outro em estado semi-sólido. A soldagem é amplamente utilizada para a união de metais;
- Brasagem: É um processo que pode ser aplicado a quase todos os materiais, sendo também muito utilizado nos meios produtivos atuais. A brasagem consiste na união de dois materiais denominados base através de um terceiro elemento fundido, o conceito empregado na brasagem é que o material adicionado em estado líquido preencherá os espaços existentes entre os dois materiais base, unindo-os dessa forma. A temperatura de fusão desse terceiro material deve ser

sempre superior a 450°C, porém deve ser inferior a temperatura de fusão dos materiais base, não danificando-os;

- Solda Branda: É o processo empregado principalmente na indústria eletro-eletrônica e é muito semelhante a brasagem. Na solda branda a união ocorre também através da aproximação de dois materiais base e adição de um terceiro material em estado líquido. A diferença entre esse processo e o processo de brasagem está na temperatura de fusão do material utilizado na forma líquida para a união, que deve sempre ser inferior a 450°C.

Neste capítulo serão estudados os principais meios de soldagem e apresentados os principais conceitos que fazem parte desse processo que é amplamente utilizado na indústria moderna.

### 2.1.1 Classificação dos processos de soldagem

Nesta seção é apresentada a classificação realizada pela AWS (American Welding Society - Sociedade Americana de Soldagem), que de forma geral separa os processos de soldagem da seguinte forma (ver Figura 1):

- Soldagem a arco elétrico: É um processo de soldagem através de fusão, onde a fonte de calor para mudança de estado do item a ser fundido provém da geração de um arco elétrico através de um gás ionizado. É amplamente utilizado em metalúrgicas de pequeno e grande porte. Por gerar uma fonte de calor excessivo causa algumas distorções nas peças soldadas;
- Soldagem no estado sólido: A união realizada com materiais em estado sólido e geralmente é usada em materiais dissimilares (diferentes), devido a problemas metalúrgicos;
- Brasagem forte e fraca: Consiste na união de dois materiais através da adição de um metal fundido que em sua solidificação une os materiais. A diferenciação entre brasagem forte e fraca consiste na temperatura de fusão e resistência do metal de adição. Na fraca a temperatura de fusão do metal é baixa e geralmente sua resistência mecânica também, já na alta a temperatura de fusão do metal de adição ultrapassa 450°C e geralmente a união gerada por ele é de alta

resistência mecânica. Esse é um processo muito utilizado, principalmente pela sua capacidade de unir os mais variados matérias.

- Soldagem por resistência : é um processo amplamente utilizado na indústria automobilística para a união de peças da carroceria. É considerado um processo de soldagem por fusão e consiste na aproximação de duas chapas metálicas unidas pela fusão do próprio material da chapa, ou seja, sem a adição de um metal para a união.
- Outros: Envolve diferentes processo de soldagem como a solda através de laser, de feixe de elétrons, eletroescória entre outras. Muitos desses processos de soldagem são interessantes, a solda laser, por exemplo, é capaz de unir diferentes materiais causando um mínimo de distorção nas peças, a eletroescória é capaz de unir materiais com grande espessura, sendo utilizada em indústrias pesadas, como a naval.

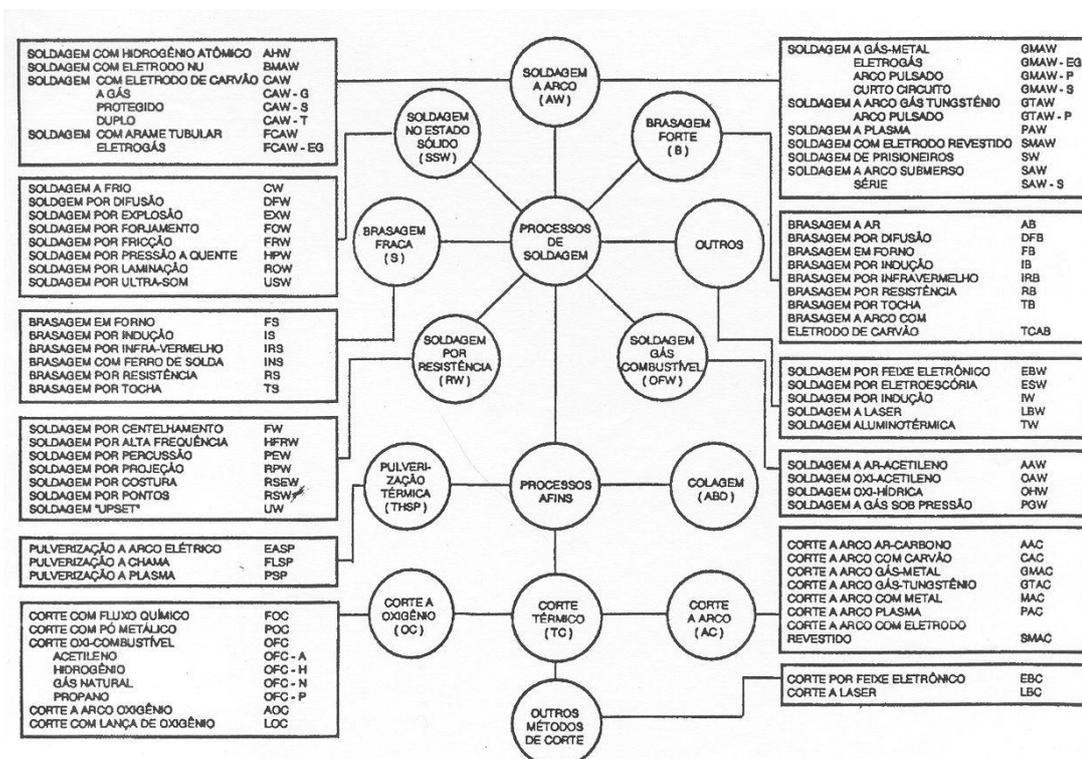


Figura 1 - Divisão dos processos de soldagem.  
Fonte: Okimoto (2014)

### 2.1.2 Seleção do processo de soldagem

A seleção de um processo de solda é bastante complicada, pois leva em conta muitos fatores, uma análise geral é bastante delicada. Antes de falar sobre os métodos de maneira mais aprofundada é necessário entender o que ocorre na região soldada, justificando dessa forma o método de solda a ser utilizado.

A soldagem de uma peça sempre envolve a geração de calor, seja pontual ou em toda uma peça, entender o que o calor provoca nos materiais que fazem parte de um processo de solda é fundamental (OKIMOTO, 2014). A seguir estão algumas das análises que devem ser feitas antes da seleção do processo que deve ser utilizado na solda dos materiais:

- A aplicação de calor nos materiais pode causar dois problemas, que são as deformações ou empenamentos das peças e tensões residuais. As deformações ou empenamentos são bastante indesejáveis por apresentarem um aspecto ruim, ou seja, em aplicações onde detalhes e a aparência são importantes deve-se buscar um meio onde esse efeito seja o menor e mais irrelevante o possível. Quanto às tensões residuais, elas são indesejáveis em produtos que sofrerão com os esforços mecânicos ou estarão sujeitos a intempéries, pois esses fatores aumentam as tensões e podem ocasionar grandes falhas, como a quebra ou rompimento em um local onde ocorreu a soldagem;
- A potência da fonte de calor usada para o processo de soldagem também é um fator muito importante, pois o conhecimento desse valor permite dizer se a fonte de calor é capaz de soldar determinada espessura de material. Um conceito importante é o de potência específica, que relaciona a potência por unidade de área. A potência específica nos permite dizer como os diversos processos usados para solda aquecem uma peça e a área da peça que é atingida, como exemplo podemos citar a solda a laser, que gera uma potência localizada, ou seja, aquece pontualmente e de forma intensa o local no qual desejasse realizar uma solda, outro exemplo é a soldagem a gás (oxiacetilênica), que, ao contrário da solda a laser, aquece de forma pouco intensa uma grande área, causando grandes deformações na peça soldada.

- Outro ponto fundamental para a análise de um processo de soldagem são as reações químicas provocadas na interação de diferentes materiais durante o aquecimento e consequente fusão dos itens que compõe a região soldada. Nas regiões fundidas ocorrem as misturas de átomos diferentes e posterior solidificação. Dependendo do composto formado na mistura, características como dureza, temperatura de solidificação, entre outras são alteradas, podendo constituir uma liga de características desejáveis ou não.

Tendo conhecimento das características mencionadas acima é possível definir o processo de solda ideal para realizar a atividade desejada. Neste trabalho trataremos de forma mais detalhada a soldagem através de arco elétrico, que é o processo utilizado para a aplicação descrita.

### 2.1.3 Soldagem por arco elétrico

Antes iniciarmos a explicação do processo de soldagem é importante definir o que é um arco elétrico. Arco elétrico é um fenômeno resultante da quebra de uma resistência dielétrica por uma diferença de potencial, causando e mantendo um fluxo de corrente através de um gás ionizado.

No processo de solda, para a obtenção do arco elétrico, utilizam-se as conhecidas máquinas de solda, que tecnicamente são denominadas de fontes de soldagem. As fontes de soldagem trabalham em baixa tensão (entre 10V e 50V) e com uma corrente elevada (entre 40A e 500A).

As fontes mais simples são constituídas de um transformador que converte as tensões nominais de entrada, sejam elas monofásicas, bifásicas ou trifásicas, em tensões de trabalho adequadas para soldagem. Essa tensão deve estar disponível nos pontos de conexão da fonte (eletrodos) e geralmente é encontrada na forma alternada. Essas fontes geralmente possuem um custo baixo devido a sua simplicidade.

Em muitos processos existe a necessidade do uso da corrente contínua, nesses casos utilizam-se as denominadas fontes retificadoras. As fontes retificadoras são compostas por circuitos eletrônicos com componentes semicondutores, diodos e tiristores, que possuem a função de retificar a tensão/corrente, ou seja, transformar a tensão/corrente alternada em contínua.

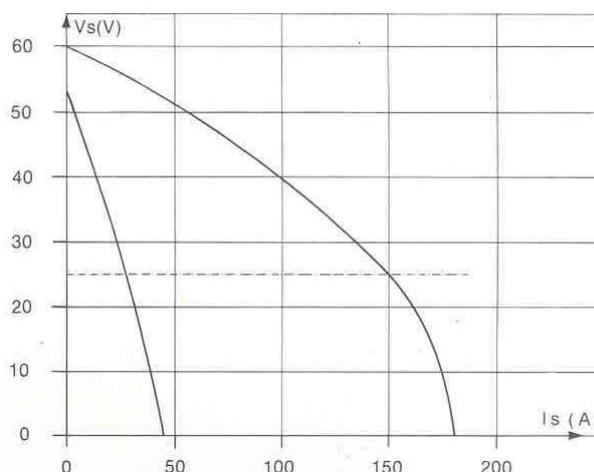
Essas fontes são muito utilizadas nos processos MIG/MAG, eletrodo revestido e TIG. Por sua maior complexidade esses equipamentos possuem um custo mais elevado.

Com o desenvolvimento da eletrônica, as máquinas de solda têm ficado cada vez mais potentes e menores, suas funções também aumentaram, e muitas delas hoje podem fornecer em seus eletrodos tanto tensão/corrente alternada quanto contínua. Essas máquinas passaram a receber o nome de fontes multiprocesso, pois podem ser aplicadas a vários processos de soldagem, dependendo somente da programação recebida (OKIMOTO, 2014).

As fontes de soldagem geralmente são classificadas em dois grupos:

- Fontes de corrente constante - São fontes que com uma grande variação na tensão de saída variam pouco a corrente, dessa forma o ajuste dessas fontes é feito através do valor de corrente (Figura 2). Esse tipo de fonte é muito utilizado em processos de soldagem com eletrodo revestido e TIG;

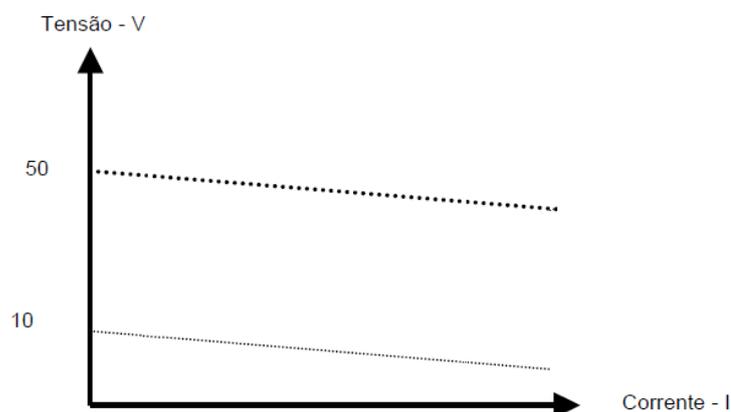
**CARACTERÍSTICA ESTÁTICA**



**Figura 2 - Característica estática de uma fonte de soldagem de corrente constante**

Fonte: Adaptado de Okimoto (2014)

- Fontes de tensão constante - São fontes que com uma pequena variação na tensão de saída apresentam grande variação na corrente, nessas máquinas o ajuste é feito através do valor da tensão (Figura 3). Esse tipo de fonte é utilizado nos processos de soldagem MIG/MAG.



**Figura 3 - Característica estática de uma fonte de soldagem de tensão constante**  
**Fonte: Adaptado de Okimoto (2014)**

As curvas apresentadas em gráficos que possuem como referência a tensão e a corrente de trabalho das fontes de soldagem são denominadas curvas características estáticas da fonte. Elas apresentam as regiões de trabalho desses equipamentos, ou seja, os valores para os quais o processo de soldagem ocorrerá.

Em todas as máquinas de solda existe um dado chamado fator de trabalho. O fator de trabalho estabelece um tempo no qual o arco elétrico pode permanecer aberto, ou seja, que o processo de soldagem realmente ocorre, em uma base de dez minutos. Para cada valor de corrente existe um fator de trabalho diferente, o fator de trabalho e a corrente de soldagem são de certa forma inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a corrente menor o fator de trabalho. Para exemplificar, digamos que o fator de trabalho em 150A de uma máquina seja de 20%, esse valor nos mostra que em um intervalo de dez minutos o arco deve permanecer aberto somente em cerca de dois minutos, caso esse tempo seja ultrapassado pode ocorrer um superaquecimento do equipamento danificando-o (OKIMOTO, 2014).

Explicadas algumas características do equipamento utilizado para a soldagem a arco elétrico será abordado como esse arco é estabelecido e mantido durante o processo.

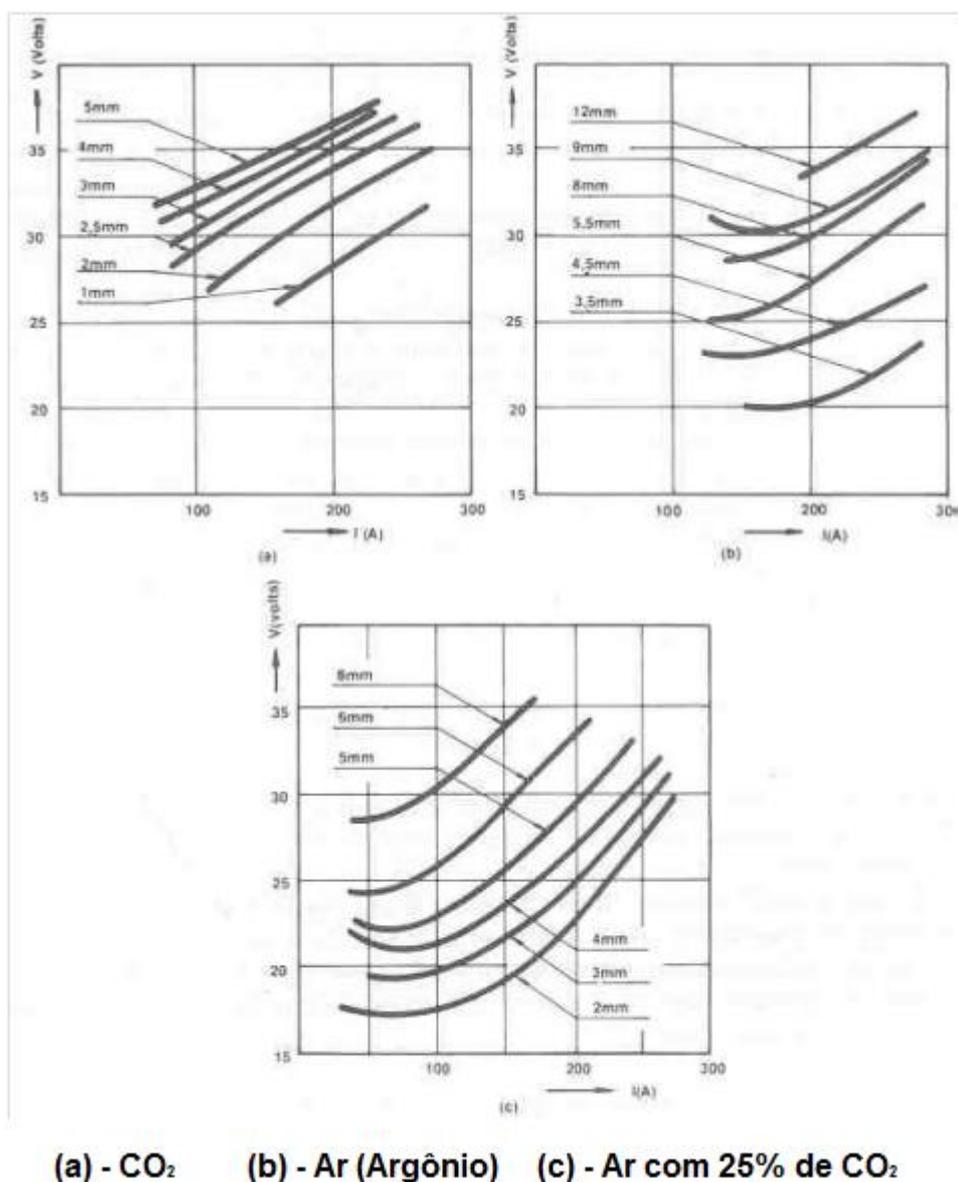
Para que o arco elétrico seja obtido, inicialmente faz-se uma regulagem da fonte, seja ela de tensão contínua ou corrente contínua. Para cada regulagem feita é possível verificar nos eletrodos do equipamento os mesmos valores definidos na curva característica estática da fonte.

O estabelecimento do arco é feito através de um rápido contato entre as conexões de saída da fonte, provocando um “curto-circuito” no equipamento e junto com ele uma faísca inicial, após esse contato os eletrodos da fonte de soldagem devem ser separados, porém a uma distância adequada, mantendo o arco elétrico aberto e estável, permitindo dessa forma a soldagem.

Geralmente em um processo de soldagem liga-se um cabo de aterramento na peça a ser soldada e o eletrodo é ligado ao metal de deposição (MIG/MAG) ou na peça metálica que sofrerá fusão (eletrodo revestido), dessa forma, ao ser estabelecido contato entre os materiais que serão soldados um “curto-circuito” acontece, gerando o arco. No instante em que o arco é gerado ocorre um aquecimento localizado no metal, causado pela passagem de corrente, provocando a emissão de elétrons de sua superfície, esse fenômeno é chamado emissão termoiônica. Essa emissão de elétrons, a partir da superfície do metal, causa a ionização dos gases próximos à região onde ocorrerá a solda, retirando os elétrons presentes nas camadas de valência dos elementos que compõe esses gases. Esse fenômeno é o responsável por permitir que o arco permaneça aberto, gerando um intenso calor na área a ser soldada, pois o aquecimento dos gases ao redor do arco garantem, através da emissão termoiônica, que o fluxo de elétrons permaneça constante.

Para que o arco elétrico permaneça aberto e estável, a manutenção da distância entre a peça a ser soldada e o eletrodo é fundamental. Caso o eletrodo permaneça em contato com a peça após a abertura do arco, o aquecimento causado, que será somente através do efeito Joule, fará com que o eletrodo fique preso a peça e, caso a distância entre o eletrodo e a peça seja muito grande a tendência é ocorrer a desestabilização do arco e o fim da emissão termoiônica, interrompendo a soldagem.

A distância de trabalho ideal entre o eletrodo e a peça pode ser encontrada através de um dado denominado característica estática do arco (Figura 4). De forma geral a distância para manutenção do arco varia conforme a tensão, a corrente e o gás encontrado próximo à região de formação do arco (OKIMOTO, 2014).



**Figura 4 - Característica estática do arco com diferentes gases de proteção**  
**Fonte: Okimoto (2014)**

É importante notar que para cada altura obtêm-se uma curva de tensão e corrente que podem ser utilizadas no processo de soldagem, pode-se notar também que para cada tipo de gás utilizado como proteção as características da curva também mudam. Como exemplo podemos verificar que no Ar (Argônio) é possível trabalhar a uma distância de 9mm com corrente entre 120A-190A e uma tensão entre 30V-35V.

Explicado de forma simplificada o funcionamento da solda a arco elétrico, vamos agora tratar de forma mais específica a soldagem MIG/MAG.

### 2.1.3.1 Soldagem MIG/MAG

O processo MIG/MAG faz parte do conjunto de técnicas de soldagem a arco elétrico. A sigla MIG faz referência a Metal inert gas (gás metal inerte) enquanto a sigla MAG faz referência a metal active gas (gás metal ativo). Esses métodos também são conhecidos pela sigla GMAW – gas metal arc welding, que em português foi traduzido como processo de soldagem gás metal.

Como é possível perceber pela denominação utilizada para cada um dos processos, a diferença entre soldagem MIG e MAG está somente no gás de proteção utilizado. Nos processos MIG os gases utilizados são o Argônio (Ar) e o Hélio (He), que, quando presentes na abertura e manutenção do arco elétrico, não reagem quimicamente com os metais na soldagem. Nos processos MAG utilizam-se gases ativos que obrigatoriamente devem conter um percentual de oxigênio ou gás carbônico. Os gases de proteção, usados na solda MAG, decompõem-se na presença do arco elétrico, isso faz com que reações entre os produtos da decomposição do gás e os metais presentes na solda reajam entre si. A decomposição do gás e as reações ocorridas entre eles e os metais fazem esses gases serem denominados ativos, enquanto os gases que não se decompõem e não reagem com os metais são denominados inertes.

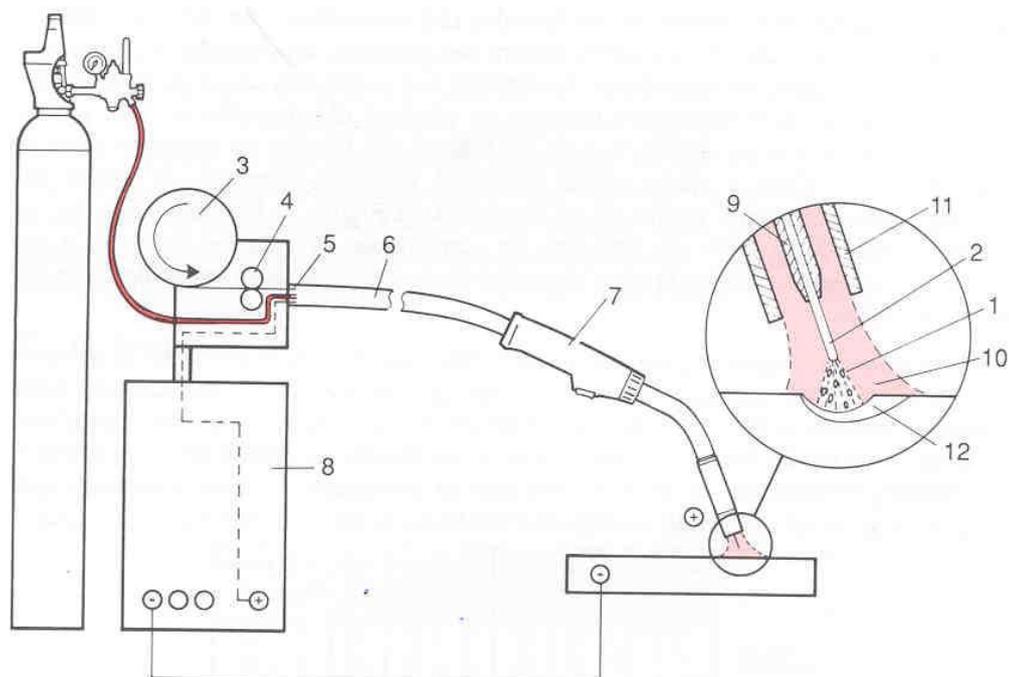
Tipo de gás	Comportamento químico	Tipos de materiais aplicáveis
Ar puro ou misturas de Ar-He	Inerte	Alumínio, ligas de magnésio, metais reativos – Titânio, Zircônio, Tântalo
Ar + (1 a 2%)O <sub>2</sub>	Levemente oxidante	Aço ligado e aço inoxidável
Ar + (3 a 5%)O <sub>2</sub>	Oxidante	Aço ligado e aço inoxidável
CO <sub>2</sub> puro	Oxidante	Aço carbono e alguns aços de baixa liga
Ar + (20 a 50%)O <sub>2</sub>	Oxidante	Aço carbono
Ar + 10%CO <sub>2</sub> + 5%O <sub>2</sub>	Oxidante	Aço carbono (Europa)
CO <sub>2</sub> + 20% O <sub>2</sub>	Oxidante	Aço carbono (Japão)

**Quadro 1 - Tipos de gases de proteção**

Fonte: Okimoto (2014)

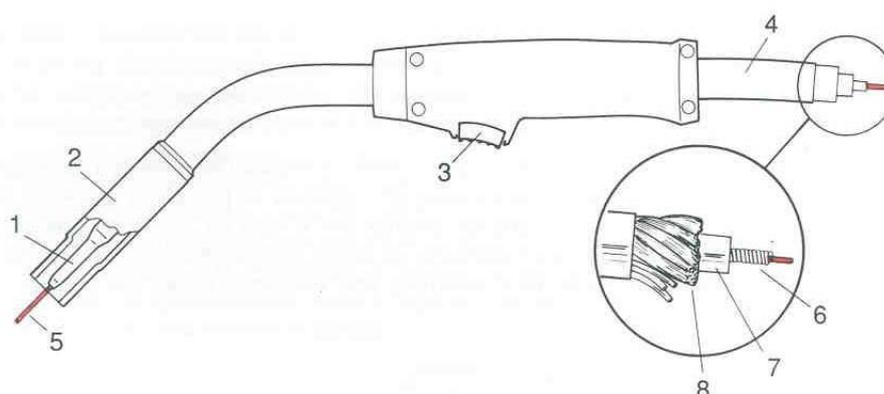
Como é possível observar no Quadro 1, os gases de proteção nem sempre são compostos somente por um gás ativo ou reativo, ou seja, podem ser uma mistura de gases. Essa mistura de gases faz com que seja complicado diferenciar os processos entre solda MIG ou MAG porque não existe um consenso entre as porcentagens de mistura presentes nesses gases de proteção para que eles sejam classificados em um ou outro grupo, também muitos não aceitam a definição feita através do comportamento do gás no momento da solda. Em geral costuma-se falar de solda MIG/MAG, não diferenciando o processo pelo gás utilizado.

Explicada a diferença entre os processos MIG/MAG, ainda fica a dúvida de como é composta uma estação básica desse tipo de soldagem. De forma geral a estação contém um cilindro com o gás de proteção a ser utilizado, uma fonte de tensão contínua, um carretel com o metal de soldagem (conhecido também como arame de solda), um alimentador de arame, mangueiras e pistola ou tocha (ver Figura 5 e Figura 6).



1 – Arco elétrico; 2 – Arame consumível; 3 – Bobina ou carretel de arame; 4 – Roletas de tração; 5 – Conduíte flexível; 6 – Pacote de Mangueiras; 7 – Pistola ou tocha de soldagem; 8 – Fonte de energia, máquina de solda; 9- Bico de contato; 10– Gás de proteção; 11 – Bocal; 12 – Poça de fusão.

**Figura 5 - Sistema de soldagem MIG/MAG**  
**Fonte: Okimoto (2014)**



1 – Bico de contato; 2 – Bocal; 3 – Gatilho; 4 – Pacote de mangueiras; 5 – Arame consumível; 6 – Conduíte flexível; 7 – Mangueira do gás de proteção; 8 Cabo de força.

**Figura 6 - Pistola de soldagem MIG/MAG**  
**Fonte: Okimoto (2014)**

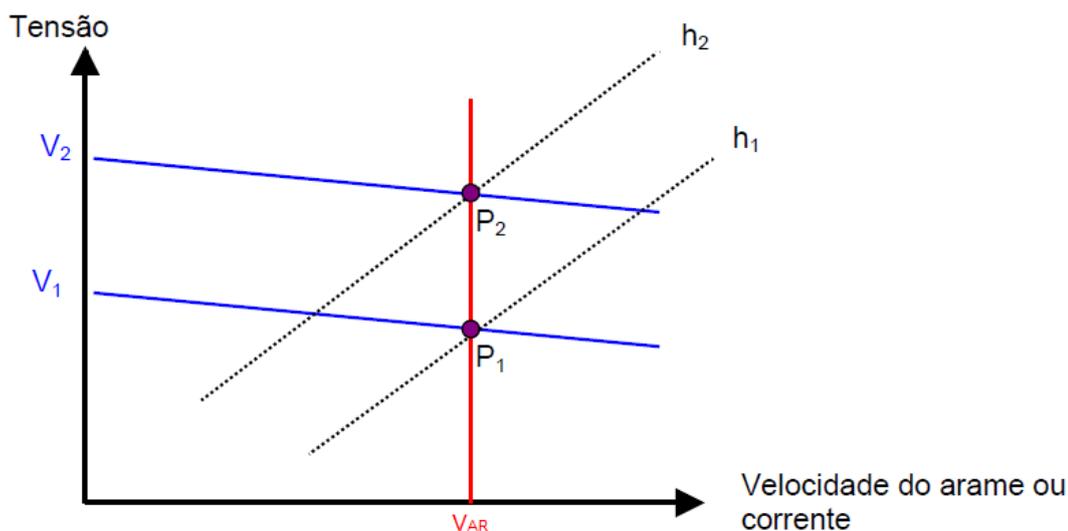
Como é possível perceber através das imagens, a alimentação de arame para a soldagem deve ser muito bem controlada para que o metal seja fundido antes de entrar em contato com a peça, pois se o arame entrar em contato com o material base e esse contato tiver um tempo prolongado existe a possibilidade de o arame ficar preso a ele. O contrário pode ocorrer também, ou seja, a falta de arame pode extinguir o arco elétrico, e, em ambos os casos a soldagem sai prejudicada.

Além da alimentação de arame, nas imagens é possível perceber que a injeção do gás de proteção é feita junto ao arame de solda, permitindo que o gás fique concentrado justamente na área de formação do arco e sobre a poça formada por material fundido.

Para entender como funciona o processo de soldagem MIG/MAG, é necessário conhecer como a regulagem da máquina afeta o processo e como o metal se deposita na região desejada.

A regulagem da máquina deve ser feita considerando a tensão na qual se deseja trabalhar, a velocidade com a qual o arame será movimentado e a indutância. Para cada um dos dados acima mencionados será possível trabalhar com uma determinada altura entre o arame e o material base, permitindo que, quando obedecidos os dados, o arco elétrico seja aberto e mantido de forma estável.

Quanto maior a tensão de trabalho e menor a velocidade do arame, maior é a altura possível para que a soldagem ocorra. Para entender isso deve-se analisar a curva característica estática da fonte. Como citado anteriormente, a fonte utilizada em processos de soldagem MIG/MAG é de tensão contínua. Para facilitar o entendimento pode-se observar Figura 7, que representa a tensão em relação a velocidade de deslocamento do arame.



**Figura 7 - Relação entre velocidade do arame e tensão de trabalho MIG/MAG**  
 Fonte: Okimoto (2014)

Relacionada a regulação da máquina com a altura e a velocidade de movimentação do arame, é necessário entender agora como o metal do arame é depositado sobre o material base, os chamados modos de transferência metálica. Esses modos são os seguintes:

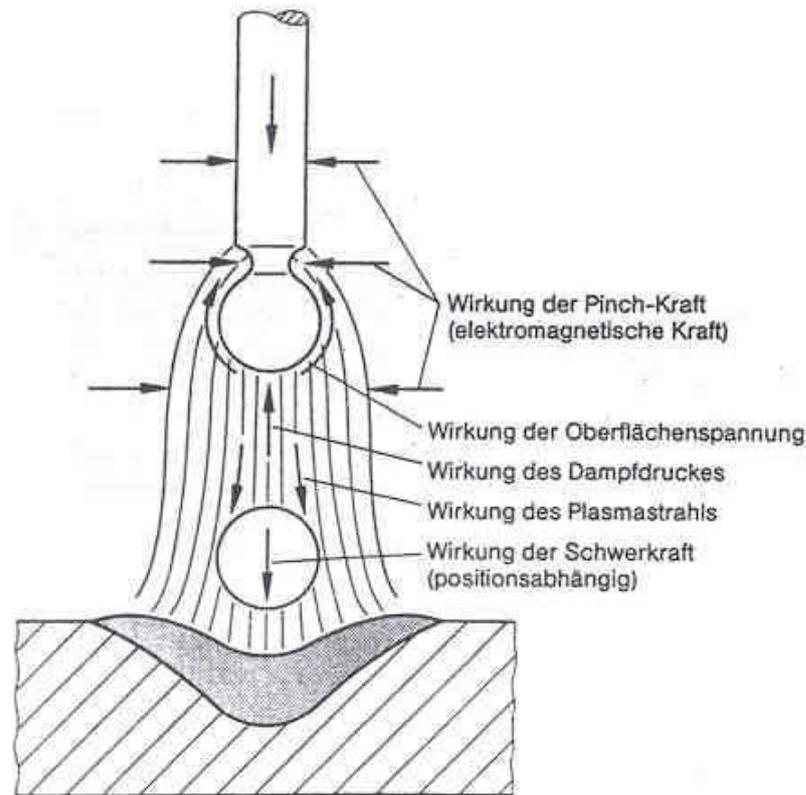
- Curto Circuito – Para esse modo vamos considerar um trabalho em baixa tensão, ou seja, a altura do arame com relação ao material base será pequena. Para essa configuração quando o arco é formado a ponta do arame é fundida e esse material fundido forma uma gota. Como a altura é pequena, a gota acaba entrando em contato com o material base, dessa forma o arco elétrico é encerrado e um curto-circuito é estabelecido entre o arame e o material. A movimentação do arame faz com que a gota acumulada se desprenda e, no momento em que ocorre a separação do arame e da gota, o arco elétrico seja reestabelecido, continuando dessa forma o processo de soldagem. Esse processo acarreta em um som bastante característico cuja frequência varia conforme a velocidade de movimentação do arame.
- Globular: Para esse modo vamos considerar uma tensão que, para a aplicação, pode ser considerada alta, com isso a altura do arame também aumenta. Nesse caso, quando o arco é formado, a ponta do arame é fundida e uma gota se forma. Diferente do modo curto circuito, a gota não entra em contato com o material e somente se desprende do arame no momento em que seu peso é o suficiente para

romper a tensão que a prende ao arame, nesse momento o arco elétrico é interrompido, porém retorna logo em seguida.

- Goticular: Para esse modo vamos considerar uma tensão de trabalho alta e uma velocidade de movimentação do arame alta. Nesse caso, o que acontece é muito semelhante ao globular, porém a maior tensão e conseqüente maior corrente faz com que gotas cada vez menores sejam desprendidas cada vez mais rápido, causando um efeito semelhante a tinta sendo expelida por um spray. Uma característica desse modo é que o arco elétrico nunca cessa.

Para ambos os modos de transferência metálica a velocidade de movimentação do arame e a tensão são essenciais como explicado acima, porém um fator já citado ainda não foi explicado: a indutância. Para entender esse fator é importante ter conhecimento sobre as forças que atuam sobre a gota de material fundido na ponta do arame (Figura 8). Essas forças são as seguintes:

- Tensão superficial: força que atua sobre a superfície da gota. Essa força é responsável por manter a gota presa a ponta do arame;
- Peso da gota: força que varia conforme a posição de soldagem, o ângulo do arame em relação a gravidade faz com que essa força altere seu valor;
- Força eletromagnética: força no sentido axial que atua sobre o arame, o arco elétrico e a gota. É diretamente proporcional ao quadrado da corrente e inversamente proporcional a área através da qual a corrente passa.
- Força de arraste do jato de plasma: o formato do plasma, que corresponde ao arco elétrico, implica na movimentação de gases em direção ao material base;
- Força devido a formação de vapores metálicos: Os gases formados na fusão tanto do arame quanto do material base tendem a empurrar a gota para cima.



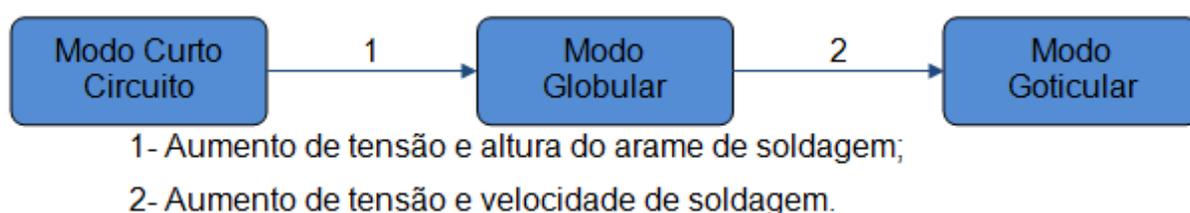
**Figura 8 - Forças atuantes durante a transferência metálica MIG/MAG**  
**Fonte: Okimoto (2014)**

Considerando todas as forças que atuam na gota no momento da soldagem, a que mais influencia é a força eletromagnética. De forma geral, em todos os processos de soldagem MIG/MAG ocorre um curto-circuito que acarreta no desprendimento da gota. No momento do curto-circuito a tensão tende a zerar enquanto a corrente tende a alcançar o maior valor possível, nesse mesmo instante a força eletromagnética aumenta muito, provocando o desprendimento da gota, esse efeito é denominado *pinch*. Quanto maior for o valor da força eletromagnética que está atuando sobre a gota, mais rápido essa gota vai em direção ao material base. A velocidade atingida pela gota muitas vezes pode acarretar em salpicos, prejudicando o resultado da solda. É justamente nesse ponto que a indutância ganha importância, pois ela controla o valor da corrente de curto-circuito, reduzindo o valor alcançado e evitando a ocorrência desses salpicos, ou seja, quanto maior a indutância maior o efeito de amortecimento sobre a gota.

Antes de relacionarmos os modos de transferência metálica vamos citar mais um fator chamado corrente de transição. Supondo um processo de soldagem onde, gradativamente, aumentam-se a tensão de soldagem e a velocidade de movimentação do arame, chegará um momento em que o volume das gotas

formadas reduzirá, porém o número de gotas formadas aumentará consideravelmente. O valor da corrente nesse instante é a corrente de transição (OKIMOTO, 2014).

Conhecendo os fatores que atuam sobre o processo de soldagem MIG/MAG podemos fazer de forma simplificada uma relação entre os modos de transferência metálica como mostrado pelo Figura 9.



**Figura 9 - Modos de soldagem MIG/MAG**

Fonte: A autoria própria.

Como citado anteriormente, na solda MIG/MAG são utilizados diferentes gases de proteção, esses gases são tratados no próximo subcapítulo.

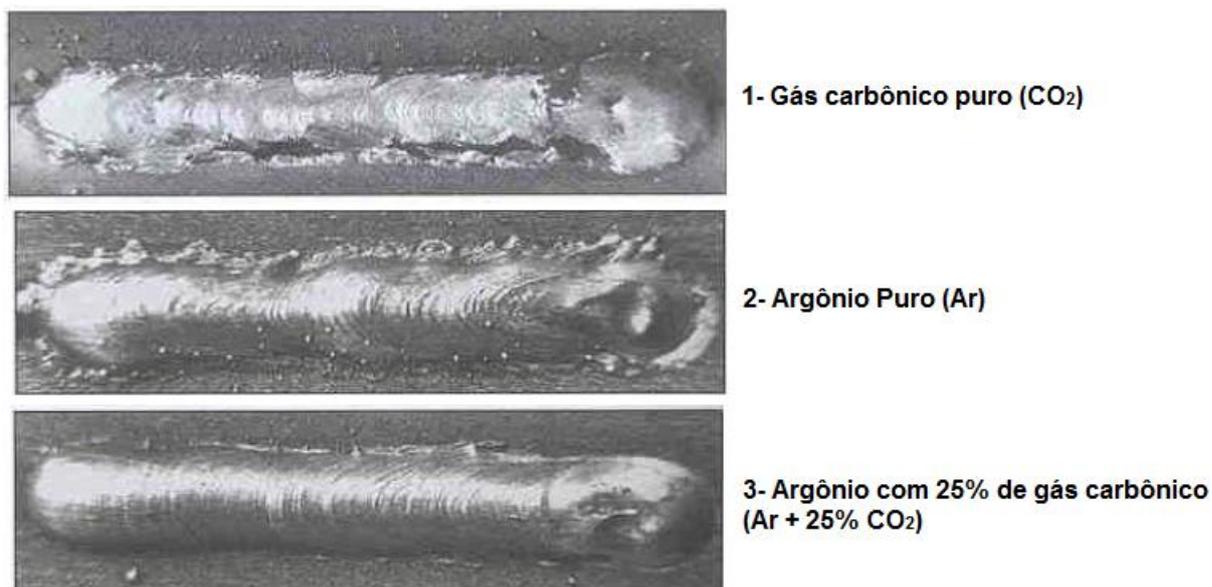
#### 2.1.3.1.1 Gases de proteção

Os gases de proteção são fundamentais durante a soldagem pois influenciam na qualidade do cordão de solda, na estabilidade do arco e no custo. A seleção do gás a ser utilizado depende muito do material do arame e do material base, pois devem ser analisadas as reações químicas entre os gases de proteção ionizados, os gases metálicos e o próprios metais presentes.

Os principais gases utilizados são o argônio (Ar), o hélio (He) e o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), misturas desses gases também são bastante utilizadas e muitas incluem também o gás oxigênio (O<sub>2</sub>).

Dentre os gases já citados dois deles são considerados inertes, o argônio e o hélio, pois ao receberem a descarga elétrica não reagem com os metais envolvidos na soldagem. Os demais gases são considerados ativos, ou seja, com a descarga elétrica se dissociam e reagem com os materiais envolvidos no processo de soldagem. Com relação as misturas desses gases elas podem ser consideradas ativas ou inertes, dependendo do seu comportamento durante a soldagem.

A influência do gás de proteção é realmente muito grande, essa influência pode ser claramente notada na Figura 10.



**Figura 10 - Resultado da soldagem MIG/MAG em diferentes gases de proteção**  
Fonte: Okimoto (2014)

Como pode ser visto através da imagem, não somente a qualidade do cordão foi afetada, mas também a estética do mesmo. A correta seleção do gás de proteção pode garantir a qualidade da soldagem ou comprometê-la, sendo assim a pesquisa e procura pelo gás torna-se essencial (OKIMOTO, 2014).

#### 2.1.3.1.2 Erros de soldagem MIG/MAG

Assim como em qualquer processo, a soldagem MIG/MAG pode apresentar inúmeros erros, sendo os mais comuns os seguintes:

- Porosidade: é causada principalmente pela falta ou excesso de gás de proteção, pelo pequeno diâmetro do bocal da pistola, correntes de ar atuando sobre o arco elétrico durante a soldagem e contaminação da área de soldagem por qualquer componente não pertencente ao processo de solda;
- Falta de penetração: é causada pelo uso da fonte de soldagem com configuração de tensão ou corrente abaixo do necessário ou velocidade de soldagem acima do especificado;
- Falta de fusão: é causada pelo uso da fonte de soldagem com configuração de tensão ou corrente abaixo do necessário ou velocidade de soldagem abaixo do especificado;

- Mordedura: é causada pelo uso da fonte de soldagem com configuração de tensão ou corrente acima do necessário ou velocidade de soldagem abaixo do especificado.

A Figura 11 mostra de forma mais clara como ocorrem as falhas de soldagem:

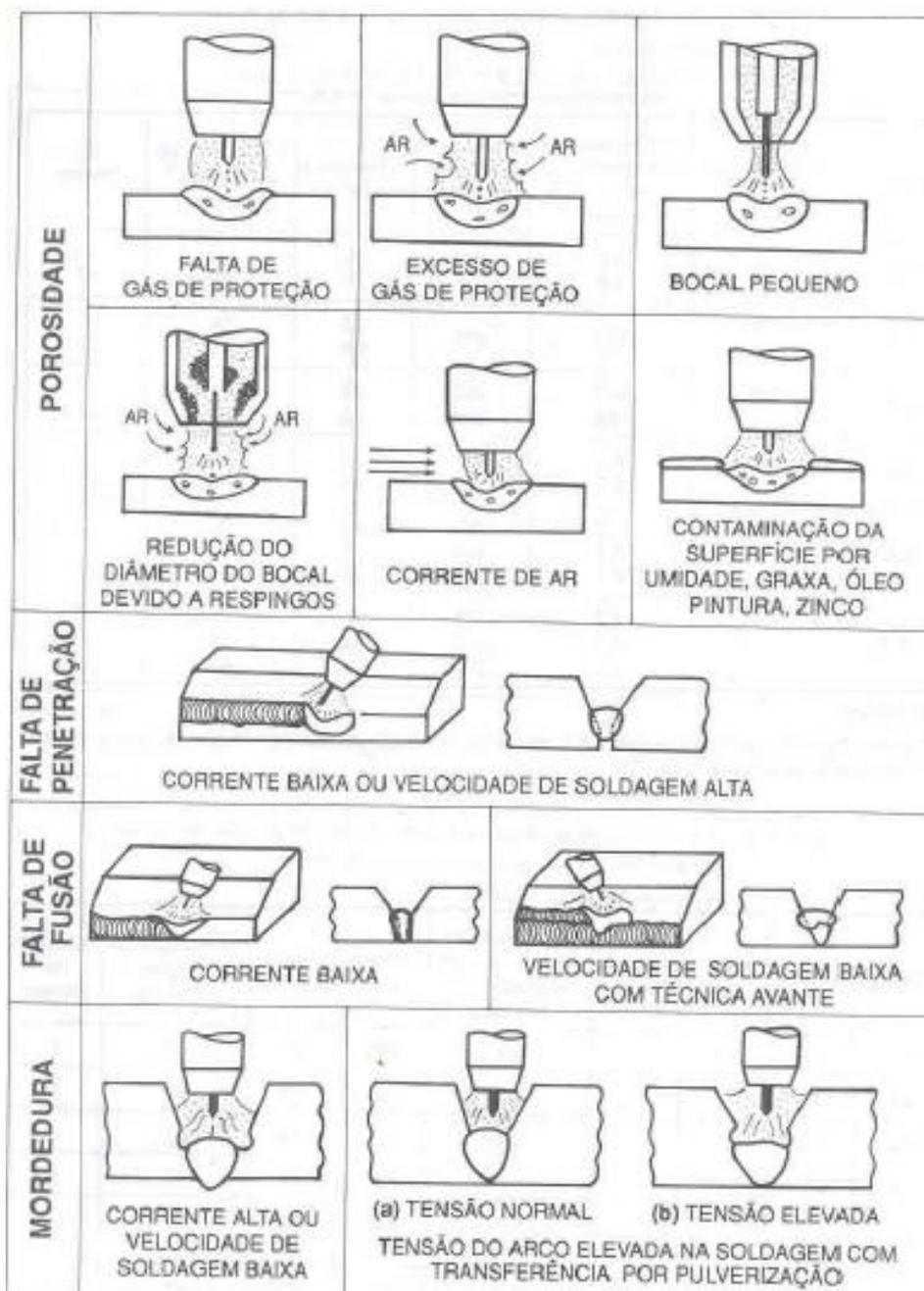


Figura 11 - Possíveis problemas na soldagem MIG/MAG  
Fonte: Okimoto (2014)

### 2.1.3.2 Revestimento soldado

O revestimento soldado é uma técnica de soldagem utilizada para a proteção de superfícies de equipamentos que estarão sujeitas a situações e condições de operação severas. A técnica consiste basicamente em depositar, sobre a superfície do equipamento que estará sujeita a essas condições, um metal com as características mecânicas necessárias para protegê-la e suportar essas condições adversas.

O processo de revestimento é dividido basicamente em quatro tipos:

- Endurecimento superficial (*hardfacing*): Se dá quando uma liga é homogeneamente depositada por soldagem sobre a superfície de um material mole (aço baixo ou médio carbono) a fim de aumentar sua dureza e resistência ao desgaste sem provocar perda significativa de tenacidade ou ductilidade no substrato. É aplicado para reduzir desgaste, abrasão, impacto, erosão, *galling* ou cavitação.
- Revestimento de recuperação (*build up*): Trata da adição de metal por soldagem a fim de restaurar as dimensões originais do componente. Nesse caso a resistência da solda é o pré-requisito mais importante do projeto.
- Revestimento de aços inoxidáveis (*cladding*): Consiste na aplicação, através de soldagem, de um metal resistente à corrosão sobre outro metal cuja resistência à corrosão é inferior ou não foi considerada no projeto.
- Amanteigamento (*buttering*): Método de revestimento que provê uma camada de solda de alta ductilidade antes da soldagem propriamente dita.

Para o processo de revestimento deve-se escolher de forma muito apropriada o método de soldagem e a liga metálica a ser depositada, pois a combinação química entre o material base e a liga depositada que definirão as características mecânicas do revestimento.

A composição química da liga que será depositada influencia muito no revestimento, pois ao ser fundida ela se diluirá sobre a superfície, também fundida, do material base. Quanto menor for a diluição da liga de soldagem mais

características mecânicas desse metal inserido serão mantidas, garantido as características do revestimento.

A deposição direta de solda do metal de revestimento sobre o metal base só é possível quando os dois metais diluem-se mutuamente. Este é o caso, por exemplo, da deposição de qualquer tipo de aço inoxidável sobre aço carbono ou os aços liga. Quando os dois metais não se diluem, pode-se resolver o problema pela deposição de uma camada intermediária de um terceiro metal que seja compatível com ambos, quanto menor a concentração de carbono no material base mais fácil é a deposição do revestimento (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2014 p.23).

Como citado anteriormente a seleção do processo de soldagem também é muito importante, as características de alguns processos de soldagem para realização de revestimentos podem ser observadas no Quadro 4.

Características	Eletrodo revestido	TIG	MIG	Eletrodo contínuo tubular	Arco submerso	Oxiacetilênica	Plasma	Deposição por chama
Versatilidade	4	2	2	3	1	4	2	1
Custo	1	4	3	2	3	1	4	1
Fator operacional (tempo soldagem/ tempo total)(%)	30	25	45	45	50	25	25	-
Habilidade de operador	3	4	3	3	1	4	1	1
Energia de soldagem	2	2	3	3	4	3	1	1-4
Diluição(%)	10-30	2-20	10-50	20-40	30-80	2-20	20	-
Taxa de deposição (kg/h)	1-5	0,2-1,3	1-15	1-15	6-20	0,2-1,0	2-6	0,2-2,0
Tamanho da peça	Q	L	Q	Q	Q	L	Q	L (rotação)
Posição de soldagem	todas	todas	todas	P, V, H	P, H	todas	H, V descendente	H, V
Frequência de revestimento	NF	NF	F	F	F	NF	F	NF

Legendas: 1 = menor ,      4 = maior  
 Q = qualquer,      L = limitado  
 F = freqüente,      NF = não freqüente

**Quadro 2 - Comparação e seleção do processo de soldagem**  
 Fonte: Baptista e Nascimento (2014)

Até esse momento foram fundamentados os procedimentos de soldagem a arco elétrico que poderiam ser utilizados para a realização do revestimento, assim como as características do próprio revestimento. A partir de agora será falado sobre o "operador" utilizado para a realização da soldagem, o robô, assim como a ramo da robótica de forma geral.

## 2.2 ROBÓTICA

As bases para os atuais robôs industriais remontam das pesquisas desenvolvidas logo após a segunda guerra mundial. O primeiro robô industrial foi desenvolvido pela UNIMATION Inc., o UNIMATE, e foi colocado em operação no ano de 1961. A partir desse momento o constante desenvolvimento das áreas mecânica, elétrica, eletrônica e ciência da computação contribuíram para o desenvolvimento de dispositivos mais confiáveis empregados no desenvolvimento de robôs, fazendo com que houvesse redução nos custos e facilidades na implementação desse equipamento (DUTRA; ROMANO, 2002).

O uso de robôs industriais no chão de fábrica de uma empresa está diretamente associado aos objetivos da produção automatizada, a qual visa (1997 apud BOUTEILLE, 2002, DUTRA):

- Reduzir custos dos produtos fabricados, através de: diminuição do número de pessoas envolvidas no produção, aumento da quantidade de produtos em um dado período (produtividade), melhor utilização de matéria-prima (redução de perdas, otimização do aproveitamento), economia de energia e etc.;
- Melhorar as condições de trabalho do ser humano, por meio da eliminação de atividades perigosas ou insalubres de seu contato direto;
- Melhorar a qualidade do produto, através do controle mais racional dos parâmetros de produção;
- Realizar atividades impossíveis de serem controladas manualmente ou intelectualmente, como por exemplo, a montagem de peças em miniatura, a coordenação de movimentos complexos e atividades muito rápidas (deslocamento de materiais).

### 2.2.1 Definição de robô

Um robô, segundo a norma ISO (*International Organization for Standardization*) 10218, é visto como sendo: "uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial".

Através da descrição da norma é possível ter uma breve noção das condições às quais uma máquina deve atender para ser considerada um robô, mas não é possível determinar os itens, ou peças, que compõem essa máquina nem quais tipos de movimento essa máquina pode realizar. A seguir é mostrada uma lista de componentes que, de forma geral, estão presentes em todos os robôs de forma integrada:

- Manipulador mecânico: por manipulador mecânico compreende-se toda a parte estrutural do robô. De forma geral essa estrutura é formada por seções rígidas, os elos, ligadas entre si através de articulações, as juntas (Figura 12), formando um sistema capaz de realizar movimentos diversos determinados pelos tipos de juntas presentes entre os elos. O último elo é o responsável por conter o efetuator e o primeiro é considerado a base do sistema, que pode ser rígida ou móvel (Figura 13). As juntas podem ser dos seguintes tipos (DUTRA; ROMANO, 2002):
  - ✓ Junta prismática ou linear - move-se em linha reta. É composta de duas hastes que deslizam entre si;
  - ✓ Junta rotacional - move-se a partir de um eixo imaginário chamado eixo de rotação. É responsável por movimentos angulares entre os elos;
  - ✓ Junta esférica - é composta pela união de três juntas rotacionais, permitindo a rotação em torno de três eixos;
  - ✓ Junta cilíndrica - é composta pela união de uma junta rotacional e uma prismática, permitindo o deslocamento em linha reta por um eixo que também é a referência de rotação;

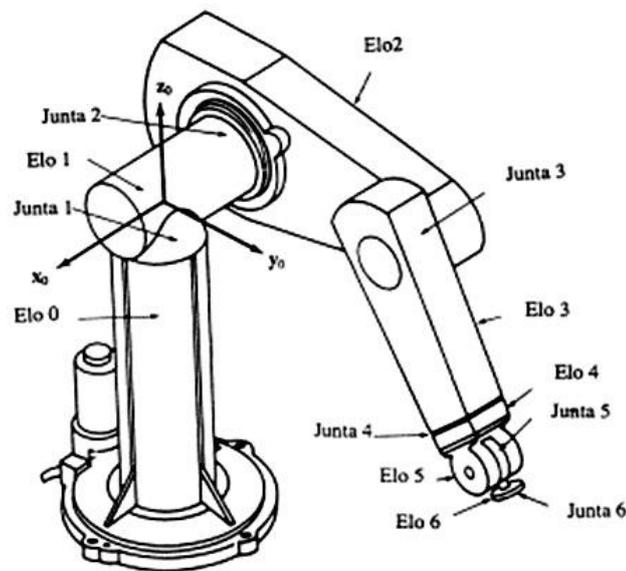
- ✓ Junta planar - é composta por duas juntas prismáticas, permitindo movimento em duas direções;
- ✓ Junta parafuso - é composta por um parafuso com uma porca que provoca movimento semelhante ao da junta prismática, porém com movimento no eixo central (movimento do parafuso).



**Figura 12 - Tipos de junta utilizadas em robôs industriais**  
**Fonte: Neto (2010)**

- Atuadores: os atuadores são os componentes responsáveis por converter energia elétrica, pneumática ou hidráulica em potência mecânica. Essa potência mecânica chega aos elos através de um sistema de transmissão;
- Sensores: Fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, geralmente em termos de posição e velocidade dos elos em função do tempo, e do modo de interação entre o robô e o ambiente operativo (força, torque, sistema de visão) à unidade de controle. As juntas utilizadas para vincular os elos de um robô são normalmente acopladas a sensores;
- Unidade de controle: Responsável pelo gerenciamento e monitoração dos parâmetros operacionais requeridos para realizar as tarefas do robô. Os comandos de movimentação enviados aos atuadores são originados de controladores de movimento (computador industrial, CLP

- Controlador Lógico Programável, placa controladora de passo) e baseados em informações obtidas através de sensores;
- Unidade de potência: É responsável pelo fornecimento de potência necessária à movimentação dos atuadores. A bomba hidráulica, o compressor e a fonte elétrica são as unidades de potência associadas aos atuadores hidráulico, pneumático e eletromagnético, respectivamente;
- Efetuador: É o elemento de ligação entre o robô e o meio que o cerca. Pode ser do tipo garra ou ferramenta. O principal escopo de uma garra é pegar um determinado objeto, transportá-lo a uma posição pré-estabelecida e após alcançar tal posição, soltá-lo. A ferramenta tem como função realizar uma ação ou trabalho sobre uma peça, sem necessariamente manipulá-la.



**Figura 13 - Identificação de elos e juntas em um robô articulado**  
**Fonte: Automação e Robótica (2012)**

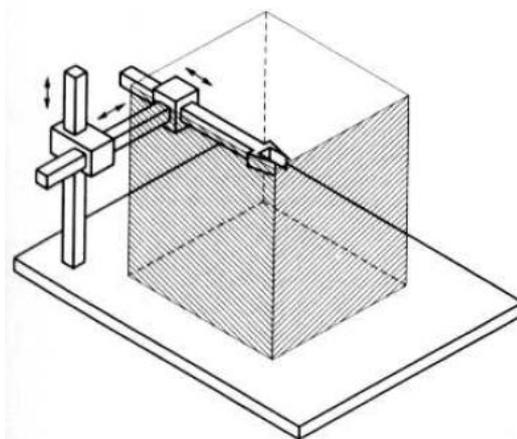
Conhecendo os principais componentes de um robô é possível agora classificá-los quanto a sua estrutura.

### 2.2.2 Classificação de robôs segundo sua estrutura mecânica

Diversos aspectos e combinações podem ser consideradas para a classificação de robôs. Neste trabalho abordaremos a classificação mecânica

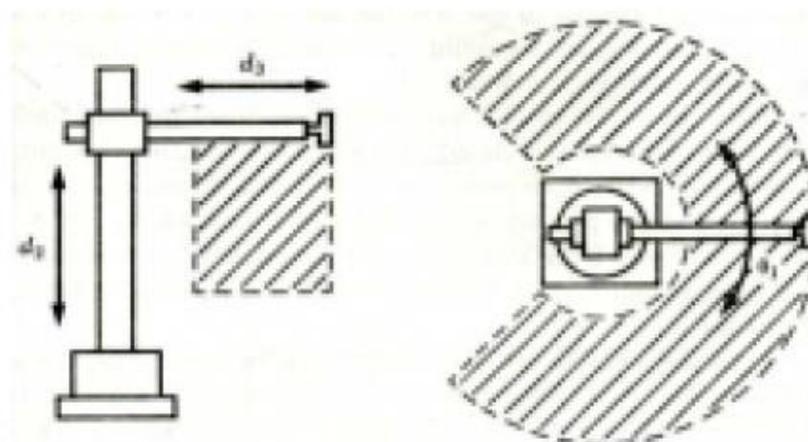
utilizada pela Federação Internacional de Robótica (International Federation of Robotics - IFR), que considera como modelos básicos as seguintes estruturas:

- Robô de Coordenadas Cartesianas - Este robô possui um conjunto de três juntas do tipo prismática, esse conjunto de juntas permite movimento, no último elo, nos três eixos cartesianos. A área de trabalho desse robô é em um formato de paralelepípedo (Figura 14);



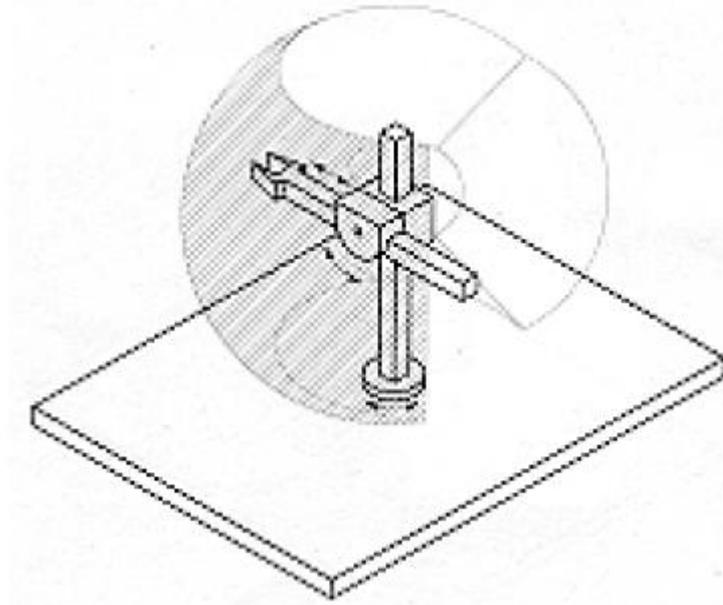
**Figura 14 - Representação de um robô cartesiano**  
Fonte: Dutra e Romano (2002)

- Robô de coordenadas cilíndricas - Este robô possui um conjunto de duas juntas prismáticas e uma junta rotacional. De forma geral existe uma junta prismática e uma junta rotacional ligando o primeiro e segundo elo e a outra junta prismática está entre o segundo e o último elo, essa disposição permite ao efetuador uma área de trabalho cilíndrica (Figura 15);



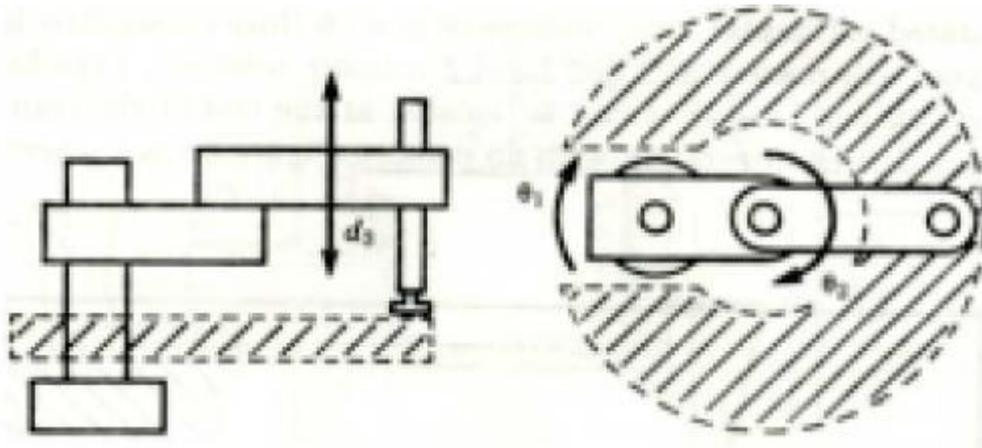
**Figura 15 - Representação de um robô de coordenadas cilíndricas**  
Fonte: Dutra e Romano (2002)

- Robô de coordenadas esféricas - Este robô é composto por um conjunto de uma junta prismática e duas juntas rotacionais. Assim como ocorre no caso anterior, uma junta prismática e uma junta rotacional fazem a ligação entre o primeiro e segundo elo, porém a ligação entre o segundo elo e o efetuador é feita por uma junta rotacional, essa configuração faz com que as coordenadas do último elo façam abrangência a uma área de trabalho esférica(Figura 16);



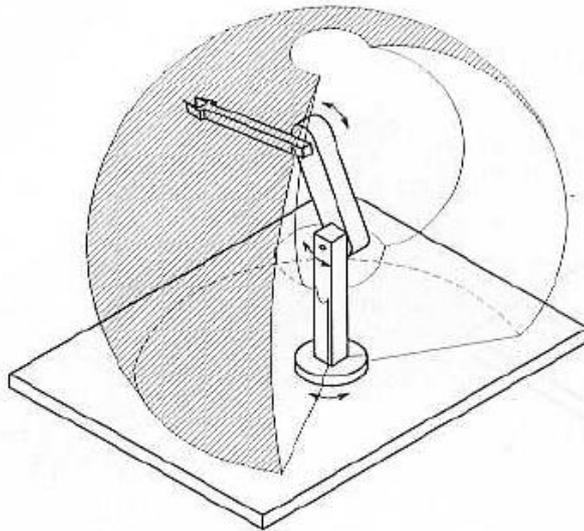
**Figura 16 - Representação de um robô de coordenadas esféricas**  
**Fonte: Dutra e Romano (2002)**

- Robô SCARA - Este robô, assim como o de coordenadas esféricas, é composto por duas juntas rotacionais e uma junta prismática, porém a disposição das juntas difere do modelo esférico. As juntas rotacionais são dispostas de forma paralela entre o primeiro e segundo elo e a junta que sustenta o efetuador é do tipo prismática. A área de trabalho do efetuador desse tipo de robô é aproximadamente cilíndrica (Figura 17);



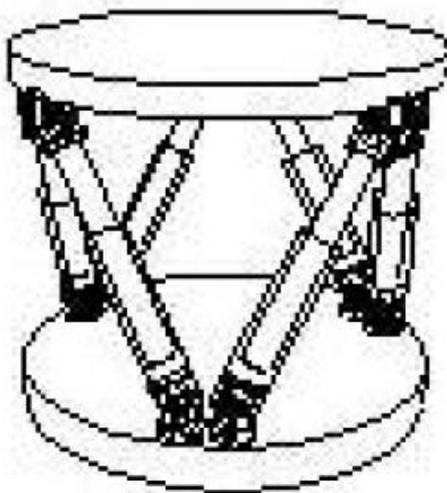
**Figura 17 - Representação de um robô SCARA**  
**Fonte: Dutra e Romano (2002)**

- Robô articulado ou antropomórfico - Este robô é composto por pelo menos três juntas rotacionais. O eixo de movimento da junta de rotação da base é ortogonal às outras duas juntas de rotação que são simétricas entre si. Este tipo de configuração é o que permite maior mobilidade a robôs. Seu volume de trabalho apresenta uma geometria mais complexa em relação as outras configurações (Figura 18);



**Figura 18 - Representação de um robô articulado**  
**Fonte: Dutra e Romano (2002)**

- Robô paralelo - Este robô apresenta configuração tipo plataforma e mecanismos em forma de cadeia cinemática fechada. O volume de trabalho resultante é aproximadamente semi-esférico (Figura 19).



**Figura 19 - Representação de um robô paralelo**  
**Fonte: Dutra e Romano (2002)**

### 2.2.3 Efetuadores

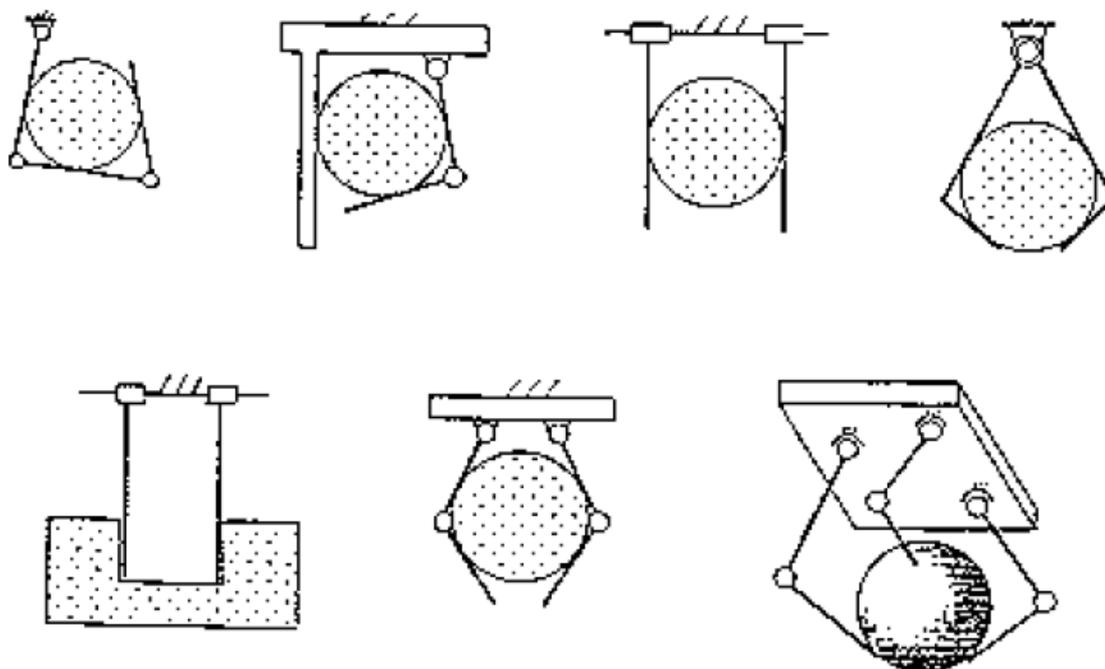
Como já citado anteriormente, o último elo da estrutura de um robô é responsável pela interação entre o robô e os objetos para os quais a aplicação foi desenvolvida, contendo então nesse elo uma ferramenta. A ferramenta responsável por essa interação é denominada efetuator. De forma geral, os efetutores são divididos em dois grandes grupos, as ferramentas especiais e as garras mecânicas.

As ferramentas especiais geralmente são fixas às extremidades terminais dos robôs. A função primordial do robô nestes casos é posicionar e orientar a ferramenta em relação à peça que será trabalhada.

O uso de ferramentas está associado diretamente às tarefas a serem realizadas. Dentre as ferramentas mais tradicionais utilizadas em operações de processamento estão: o porta-eletrodo, a pistola de aspersão (para pó, jateamento de superfícies e etc.), a pistola de pintura, as tochas para soldagem TIG e MIG/MAG, o dispositivo para soldagem/corte à plasma, o conjunto de pinças para soldagem por pontos, o dispositivo para soldagem/corte à laser, o porta-esmeriladora, o maçarico para corte oxiacetilênico, a pistola para limpeza por jato d'água, a pistola para corte por jato d'água e etc.

As garras mecânicas têm, basicamente, a função de pegar um objeto com o intuito de movimentá-lo e/ou transportá-lo e depois soltá-lo na posição desejada. Para segurar os diferentes objetos são utilizadas diferentes técnicas de preensão, onde a forma de segurar o objeto e a estabilidade com a qual o manipulam são

essenciais para a seleção da técnica (DUTRA; ROMANO, 2002). A Figura 20 demonstra algumas das técnicas de prensão utilizadas pelas garras mecânicas.



**Figura 20 - Tipos de efetadores com a função de garra**  
**Fonte: Dutra e Romano (2002)**

#### 2.2.4 Dinâmica do robô

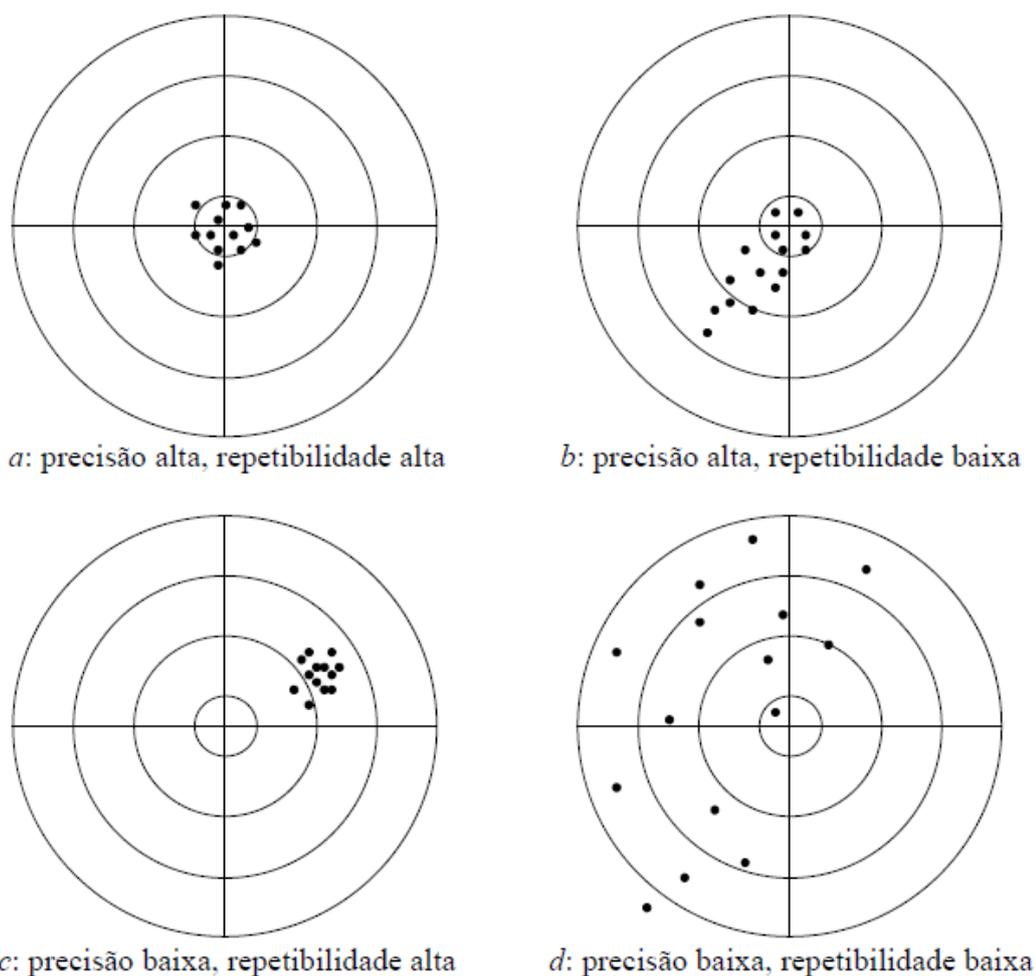
O desempenho dinâmico do braço robótico (1988 apud GROOVER, 2014, CARRARA) está associado a velocidade de resposta, estabilidade e precisão. A velocidade de resposta refere-se a destreza do braço robótico ao mover-se de um lugar para outro num curto período de tempo. Desta forma, o torque existente em cada junta do braço e a aceleração em cada elo devem ser analisadas. Já a estabilidade pode ser estimada com base no tempo necessário para amortecer as oscilações que ocorrem durante o movimento de uma posição para a outra.

A precisão está intrinsecamente relacionada a velocidade e estabilidade, pois faz referência direta a posição final do efetador. Para analisar a qualidade do movimento são considerados três itens, a resolução espacial, a precisão e a repetibilidade.

A resolução espacial depende de características do sistema de controle e das inexatidões mecânicas do braço robótico. O sistema de controle é o responsável por controlar todos os incrementos individuais das articulações. Já as inexatidões relacionam-se com a qualidade dos componentes que formam as uniões entre as

articulações, como as folgas nas engrenagens, tensões nas polias, e histereses mecânicas e magnéticas, entre outros fatores. A precisão está relacionada com a capacidade de um braço posicionar o seu pulso em um ponto marcado dentro do volume de trabalho. A precisão relaciona-se com a resolução espacial, pois a precisão depende dos incrementos que as juntas podem realizar para se movimentar e atingir um ponto determinado.

Por fim, a repetibilidade está relacionada com a capacidade do braço robótico de posicionar repetidamente seu pulso num ponto determinado. Estes movimentos podem sofrer influências de folgas mecânicas, da flexibilidade e das limitações do sistema de controle (Figura 21) (CARRARA, 2014).



**Figura 21 - Relação entre precisão e repetibilidade**  
**Fonte: Carrara (2014)**

### 2.2.5 Sistema de controle

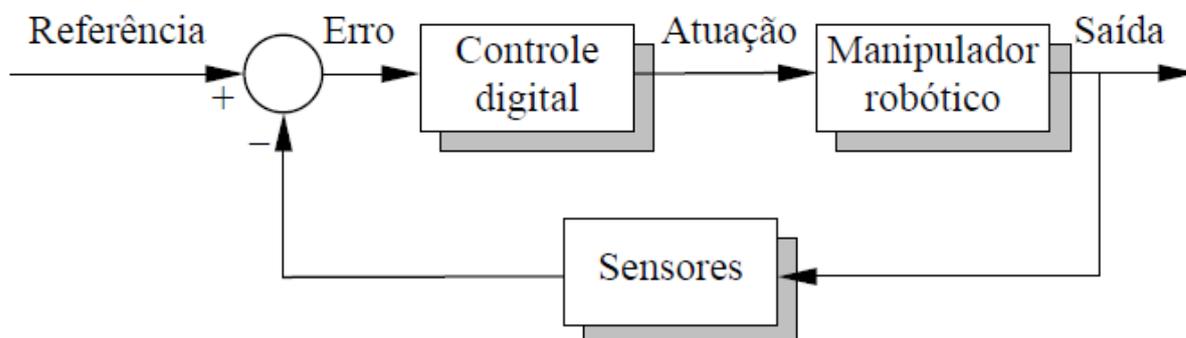
O sistema de controle de qualquer unidade robótica é composto por um "hardware" e um "software". O objetivo do sistema de controle é receber dados,

interpretá-los e, após processar as informações recebidas, comandar a ação a ser executada.

O "software" nada mais é do que o programa que deve ser executado baseado nos dados de entrada. Esse programa pode ser desenvolvido em diferentes plataformas, conforme a orientação e programa para desenvolvimento fornecido pelo fabricante.

O "hardware" pode ser composto por cabos de alimentação e controle, motores de passo, servomotores, interfaces para entrada ou saída de dados, sensores e outros dispositivos. A aplicação de sensores nesse sistema é de fundamental importância, pois são eles que determinam a malha de informações sobre o posicionamento dos elos do robô, permitindo uma comparação entre a ação executada com o comando realizado, permitindo a correção de possíveis erros, ou seja uma malha fechada de informações (CARRARA, 2014).

O funcionamento básico de uma unidade de controle em malha fechada pode ser visto na Figura 22.



**Figura 22 - Sistema de controle em malha fechada**  
Fonte: Carrara (2014)

O controle de uma unidade robótica pode ser realizado de três formas distintas (CARRARA, 2014):

- Programação por sequência fixa - É utilizada quando o dispositivo robótico foi desenvolvido para uma única tarefa, ou seja, suas juntas realizam sempre o mesmo movimento de forma prevista. Esses dispositivos possuem sensores e atuadores posicionados em locais estratégicos adequados para os movimentos que devem ser realizados seguindo uma sequência lógica, não necessitando de um software. Os robôs que possuem esse tipo de controle tem uma capacidade baixa de adequação a novas tarefas;

- Programação por repetição - são utilizados em robôs reprogramáveis que utilizam softwares de controle e são empregados em atividades cíclicas. Existem dois modos de programação por repetição, controle por trajetória ponto-a-ponto (PTP) e controle por trajetória contínua (CP). No controle PTP o mecanismo executa ciclo que passa por pontos no espaço previamente definidos durante a programação e que ficam armazenados na memória do controlador. Não há uma trajetória definida entre dois pontos, embora normalmente os controladores comandam que o punho ou o órgão terminal execute uma trajetória retilínea entre dois pontos do ciclo. No controle por trajetória contínua o operador pode especificar o tipo de trajetória entre dois ou mais pontos fornecidos previamente: uma reta, um arco de circunferência, ou ainda uma curva suave. Neste caso o programa do controlador calcula uma sequência de pontos intermediários com base nos pontos fornecidos, e comanda o braço para seguir esta sequência;
- Programação com realimentação externa - O controle com realimentação externa é empregado em células de trabalho, que consistem de várias máquinas e robôs operando num único processo produtivo. Nestes ambientes é frequente a necessidade de troca de informações entre processos que permitam tomadas de decisão durante a operação, como, por exemplo, qual é o ciclo de trabalho, qual é o tipo de produto produzido naquele instante, se uma determinada peça já foi posicionada pelo braço ou ainda se o processo produtivo da peça foi encerrado, etc. Nota-se que este tipo de controle não substitui os controles tradicionais PTP ou CP, mas sim estende a funcionalidade destes controles para que possam interagir com o ambiente. Em suma, sempre que houver necessidade do braço comunicar-se com outras máquinas do processo produtivo ou extrair informações sobre o ambiente para tomar decisões quanto ao procedimento a ser executado deve-se empregar o controle com realimentação externa.

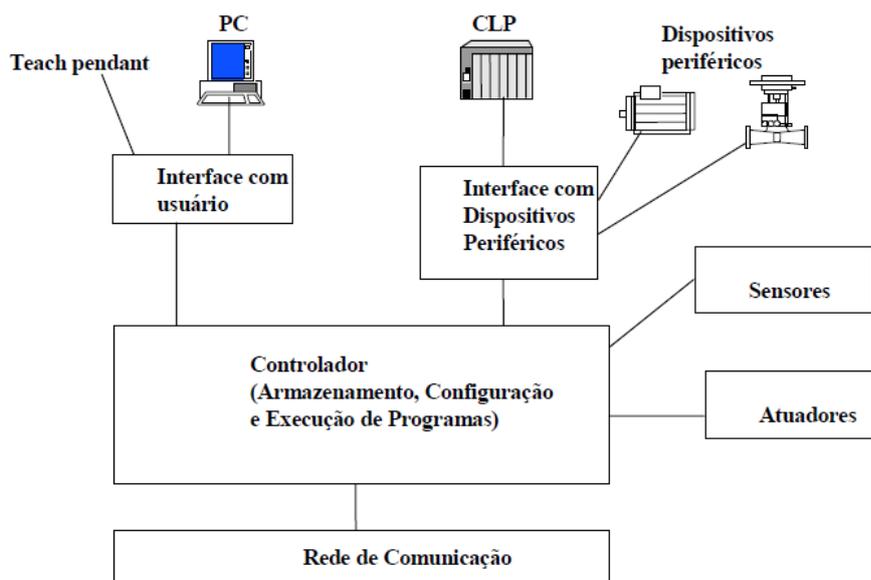
## 2.2.6 Integração de sinais e dados em um robô

A automação e a robótica são duas áreas tecnológicas intimamente relacionadas. Essa frase é explicada pelo fato de que, para o completo uso da robótica em um processo produtivo, é necessário que exista uma integração entre as diferentes etapas do processo e o robô, ou seja, deve haver uma troca de informações constante em que o processo fornece ao robô as variáveis necessárias à realização de suas atividades e o robô fornece ao processo informações de seu estado de operação.

Para que exista essa integração os robôs contam com interfaces capazes de receber e enviar sinais, as chamadas interfaces de comunicação. Alguns exemplos de interface são os seguintes (LAGES; PEREIRA, 2002):

- Interface homem-máquina, para permitir a programação e configuração dos robôs industriais pelos operadores, bem como para apresentar informações sobre o estado atual do robô;
- Interface com sensores e atuadores, para permitir aos robôs perceber e atuar sob o processo industrial sendo automatizado;
- Interfaces com controladores industriais, tais como controladores lógicos programáveis (CLPs), possibilitando a interação de robôs com outros dispositivos de controle;
- Interfaces com redes de comunicação industrial, permitindo que robôs possam ser interligados em rede usando protocolos industriais de comunicação.

A Figura 23 fornece uma ideia da arquitetura formada na troca de dados entre um robô industrial e um processo produtivo automatizado.



**Figura 23 - Integração industrial através de diferentes interfaces**  
 Fonte: Lages e Pereira (2002)

Quando são interligados robôs a processos industriais ou até mesmo interligados entre si uma grande variedade de sinais e dados são compartilhados, geralmente esses dados fazem referência a:

- Diferentes informações provenientes de transdutores e sensores;
- Sinais de controle e atuação a serem enviadas aos atuadores e outros sistemas;
- Sinais de controle ou comandos que devem ser recebidos e executados pelos robôs.

Todos esses sinais provenientes desses diferentes equipamentos devem ser interpretados de alguma forma pelo robô. De forma geral os eventos e grandezas físicas registrados pelos sensores são convertidos em sinais elétricos que são recepcionados por interfaces presentes no controlador do robô. Existe também possibilidade de transferência de dados através de protocolos de comunicação.

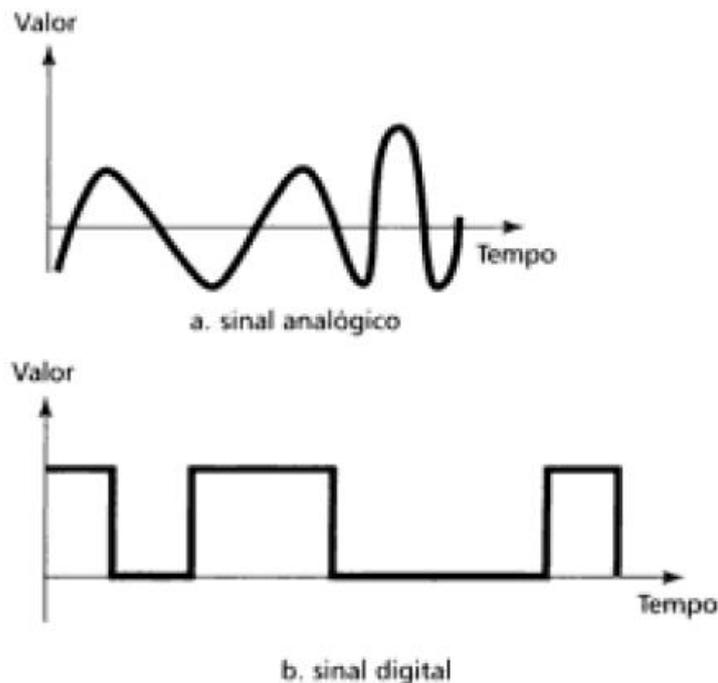
Os sinais elétricos transmitidos geralmente assumem duas diferentes formas de grandeza elétrica, são os sinais analógicos e discretos.

Os sinais analógicos são utilizados para representar grandezas físicas que variam constantemente no tempo. Os sensores utilizados na leitura dessas grandezas possuem conversores capazes de transformar os valores reais em uma grandeza elétrica proporcional ao valor lido, geralmente esses sinais são de tensão ou corrente, esse sensores são denominados transdutores. A recepção da grandeza elétrica gerada pelos transdutores é feita através de conversores analógicos/discretos, tornando esse valor em um número binário de  $n$  bits. A quantidade de bits utilizados para representar o valor numérico de uma grandeza analógica garante a precisão da informação, pois a quantidade de números que podem ser representados equivale sempre a  $2^n$ . Alguns exemplos de valores analógicos comumente usados são pressão, temperatura, vazão, entre outros.

Os sinais digitais são utilizados nas situações onde deve-se avaliar a ocorrência ou não de um evento. Os sensores digitais geralmente enviam um sinal de tensão em um valor pré determinado pelo módulo de entradas digitais mudando o valor de apenas um bit, esse bit é denominado booleano. Os sensores discretos transistorados são diferenciados em PNP ou NPN e muitos ainda contam com um contato reversível que varia seu estado conforme a leitura do sensor. A diferença entre sensores PNP e NPN está no valor de resposta dada pelo sensor, no caso do PNP o valor de tensão enviado é positivo e o contrário ocorre com o NPN. Um bom

exemplo de sensor digital são as chaves de fim de curso, onde quando um objeto pressiona a chave o sinal é enviado pelo sensor.

É muito comum encontrar sensores que possuem versatilidade em sua utilização, ou seja, podem enviar tanto sinais analógicos quanto digitais. Esses sensores possuem um circuito microcontrolado programável, capaz de fazer algumas análises caracterizadas como eventos e ao mesmo tempo, através de um meio físico separado, enviar um valor de corrente ou tensão funcionando como um transdutor. Um exemplo comum é na análise de pressão, com o sensor adequado é possível fazer uma programação onde quando o valor de pressão estiver fora de um determinado intervalo um sinal booleano seja enviado e ao mesmo tempo possa obter a leitura do valor de pressão instantânea registrada pelo sensor (Figura 24).



**Figura 24 - Diferenças entre sinais analógicos e digitais**  
Fonte: Lages e Pereira (2002)

De forma geral esses são os tipos de sinais utilizados mais comuns no controle de um processo produtivo em que existe alguma automação e robótica, porém dados podem ser trocados também através das chamadas redes industriais.

Como já citado, para que exista a integração entre os dispositivos industriais e os robôs é necessário que exista algum método de comunicação entre eles. Para classificar as diferentes formas de comunicação utilizadas em robótica e automação industrial deve-se levar em conta diferentes características.

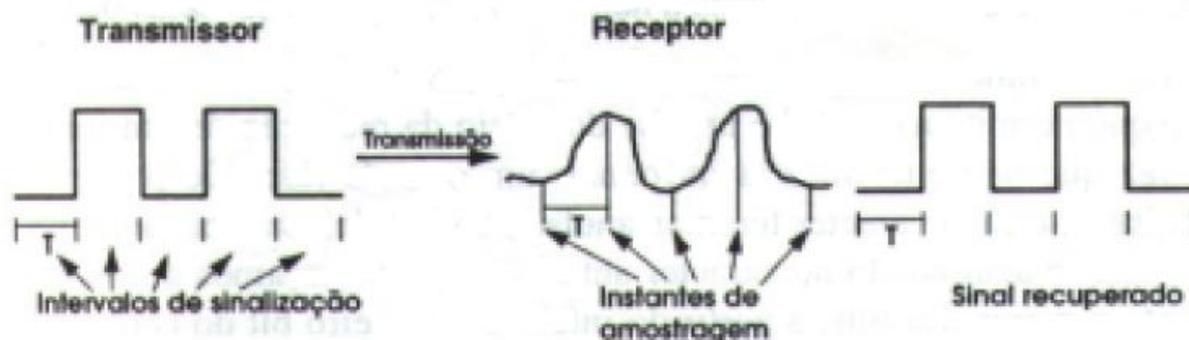
Uma das características consideradas na análise de um tipo de comunicação é a quantidade de dispositivos que podem ser interconectados através de um mesmo meio físico. Quando uma rede suporta apenas dois componentes, ou seja, simplesmente existe uma rede básica com um transmissor e um receptor, essa comunicação é classificada como rede ponto a ponto. Quando o número de dispositivos suportados pela rede em um mesmo meio físico é maior que dois essa comunicação passa a ser classificada como rede multiponto, permitindo a interligação de vários dispositivos. A topologia mais comumente utilizada é o chamado barramento, na qual um meio físico único interligando todos os dispositivos é utilizado.

Outra característica considerada para a classificação da comunicação é a forma de envio e recebimento dos dados. Quando os dados são transmitidos serialmente por uma única linha de transmissão fala-se em comunicação serial. Quando os dados são transmitidos simultaneamente por várias linhas de transmissão paralelas fala-se em comunicação paralela. Um conceito muito importante quando se fala em comunicação serial ou paralela é a velocidade de transmissão dos dados. Conceitualmente a primeira impressão é de que a comunicação serial é mais lenta por usar somente uma via de transmissão, porém deve-se observar a especificação de velocidade suportada pela rede, pois muitas vezes uma rede serial pode ser mais eficiente que uma paralela. Um exemplo dessa afirmativa é que uma rede serial capaz de transmitir 10Mbps(bps=bits por segundo) é mais rápida que uma rede paralela capaz de transmitir 8 bits em paralelo a uma taxa de 9,6kbps, pois a multiplicação do número de bits em paralelo pela taxa de transmissão fica menor que 10Mbps.

Uma distinção deve ser feita também entre as interfaces de comunicação interna e externa pois diferenciam interfaces conectadas direta ou indiretamente ao hardware de controle. As interfaces internas estão, como o nome sugere, conectadas aos barramentos internos de comunicação da central de controle e possuem taxas de transmissão de dados elevadíssimas, porém esses barramentos são limitados a comprimentos muito pequenos. As interfaces externas possuem maior versatilidade quanto ao comprimento da rede e, ao contrário da anterior, não estão diretamente conectadas ao hardware do dispositivo, tornando-se mais lentas.

Um conceito muito importante também quando se fala em interfaces de comunicação é a temporização entre transmissor e receptor, essa temporização que

garante o correto envio ou recebimento de informações. Nesse caso é considerado que existe a necessidade de um sincronismo entre transmissor e receptor (Figura 25).



**Figura 25 - Intervalos de sincronização de redes**  
 Fonte: Lages e Pereira (2002)

O sincronismo entre os equipamentos participantes de uma comunicação pode ser classificado como síncrono e assíncrono. Quando se tem uma comunicação assíncrona considera-se que a referência de tempo dos relógios dos dispositivos interconectados não é única. Dessa forma a base de tempo do receptor é determinada por uma frequência múltipla da frequência do receptor, permitindo que após o início da transmissão, identificado através de um bit especial denominado *start bit*, a amostragem ocorra aproximadamente na metade do pulso sendo transmitido. Quanto maior a relação entre a frequência do receptor em relação ao transmissor mais confiável é a comunicação.

No caso da comunicação síncrona, a base de tempo da sincronização é única. Para que não exista divergência entre relógios uma linha de transmissão é exclusivamente utilizada para transmitir essa informação ou essa informação é transmitida junto aos dados trocados, garantindo o sincronismo (LAGES; PEREIRA, 2002).

Conhecendo-se algumas características de como os dados são trocados entre processos produtivos automatizados e robôs, serão comentadas as características do protocolo DeviceNet.

### 2.2.7 Interfaces e protocolos industriais

Para que exista uma comunicação eficiente entre um robô e outros dispositivos através de uma rede de comunicação alguns aspectos devem ser levados em consideração:

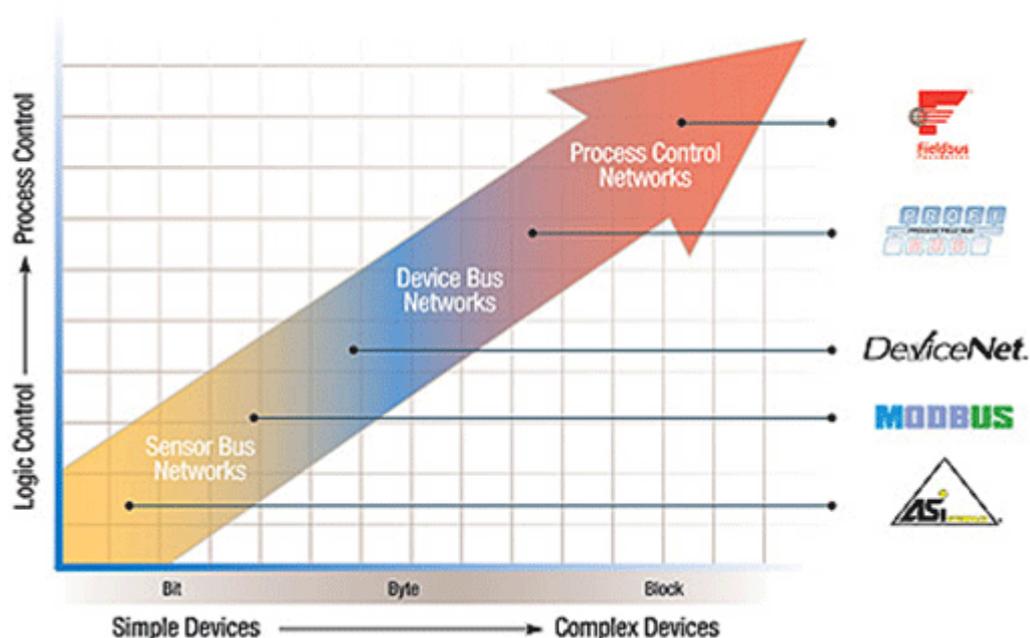
- Deve-se definir quais serão os conectores utilizados, o cabo, a frequência de troca de dados, os níveis de tensão, entre muitas outras variáveis que fazem parte da comunicação;
- Deve-se definir como a informação será transmitida, ou seja, como será feita a identificação dos dispositivos no caso de uma conexão multiponto, o que conterà em cada pacote de dados, o tempo de troca de dados que indicará erro, entre outros;
- Deve-se definir um modo onde, com uma rede muito ampla, a troca de informação entre dispositivos seja eficiente e a linha de transmissão não seja congestionada.

Considerando-se os itens citados acima é fácil perceber o quão difícil é desenvolver uma interface e um protocolo de comunicação que possam ser padronizados (LAGES; PEREIRA, 2002). A seguir são mostradas algumas das características do protocolo DeviceNet.

#### 2.2.7.1 Protocolo DeviceNet

O protocolo DeviceNet é classificado como uma rede de dispositivo, sendo utilizado para a interligação de equipamentos de campo. Esse protocolo foi desenvolvido pela empresa Allen-Bradley com base no protocolo CAN e é um protocolo aberto administrado pela empresa DeviceNet Foundation.

A rede DeviceNet é classificada no nível de rede denominada devicebus, cujas características principais são: alta velocidade, comunicação a nível de byte englobando comunicação com equipamentos discretos e analógicos e alto poder de diagnóstico dos dispositivos da rede (Figura 26).



**Figura 26 - Diferença de níveis de tratamento de redes industriais**  
 Fonte: smar (2012)

A rede DeviceNet têm a função de transportar dois tipos principais de dados, os cíclicos e os acíclicos. Os dados cíclicos são aqueles trocados constantemente entre os dispositivos de campo e o controlador, já os acíclicos são trocados somente durante a configuração ou falha de um equipamento de campo.

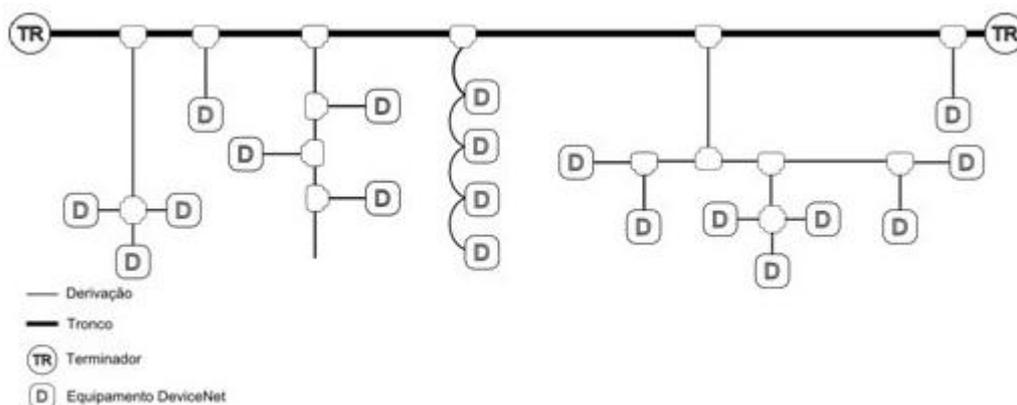
Essa rede pode conter no máximo 64 dispositivos, sendo que cada dispositivo ocupa um nó.

A interligação dos dispositivos é feita através de um cabo padronizado com dois pares blindados e um condutor nu, sendo um par responsável por levar alimentação aos dispositivos, um par para troca de informações e o condutor nu tem a função de dreno. A taxa de transmissão de dados pode variar em três faixas que são: 125Kbps, 250Kbps e 500Kbps. Essa taxa de transmissão pode variar conforme o meio físico, essa variação pode ser verificada no Quadro 3.

Velocidade de transmissão	Distância Máxima (Cabo Grosso)	Distância Máxima (Cabo fino)	Comprimento da derivação	
			Máxima	Acumulada
125 Kbps	500 m	100m	6 m	156 m
250 Kbps	250 m	100m	6 m	78 m
500 Kbps	100 m	100m	6 m	39 m

**Quadro 3 - Relação entre velocidade de transmissão e comprimento dos cabos**  
 Fonte: Seixas Filho (2014)

Basicamente a rede DeviceNet é formada por dispositivos conectados entre si através de conectores e derivadores onde em cada ponto final da rede é utilizado um terminador. A seguir a Figura 27 mostra como é a topologia de uma rede DeviceNet (SEIXAS FILHO, 2014).



**Figura 27 - Topologia de rede DeviceNet**  
Fonte: smar (2012)

### 3 MATERIAIS

#### 3.1 FONTE DE SOLDAGEM

A fonte de soldagem utilizada para a realização do trabalho é do fabricante IMC linha Digiplus A7 modelo Inversal 450 (Figura 28). A linha Digiplus A7 é composta por equipamentos cujo projeto e tecnologia foram totalmente desenvolvidos nacionalmente.



**Figura 28 - Fonte de soldagem Digiplus A7**  
**Fonte: Autoria própria.**

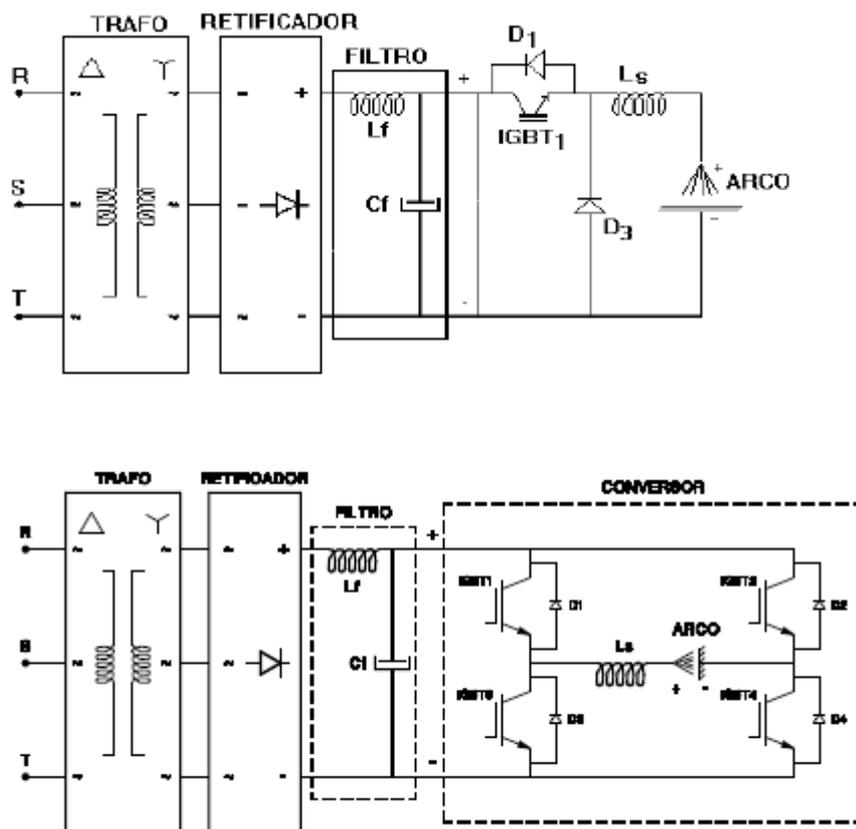
As fontes de soldagem que fazem parte dessa linha possuem um processador ARM de 32 bits, o que permite operar com várias modalidades de soldagem e elevado desempenho no controle do arco e da transferência metálica.

A fonte Digiplus é considerada um equipamento versátil, pois seu sistema de controle baseado em um microcontrolador ARM 7 de 32 bit possibilita toda a operação da fonte através apenas de 'softwares'. Isto possibilita que, para cada tipo de aplicação, seja desenvolvido um programa especial. Outra grande vantagem é a facilidade de comunicação com outros sistemas automatizados, como robô, linhas de montagem, etc.

Os circuitos da Digiplus foram projetados para operar por meio de microcontrolador (Figura 29). Isto simplifica a operação e reduz a possibilidade de

erros na escolha das variáveis e parâmetros de soldagem, como por exemplo, na definição de variáveis e parâmetros para o processo sinérgico.

Outra grande vantagem dos equipamentos microprocessados é a possibilidade de se armazenar as variáveis e parâmetros fornecidos durante a soldagem para posterior reutilização.



**Figura 29 - Esquemático eletrônico de potência da fonte Digiplus A7**  
Fonte: IMC - Soldagem (2011)

O nome Digiplus A7 foi escolhido devido a mesma ser a sucessora da DIGITEC e por usar um processador ARM 7 de 32 bits. O número 450/600/800 indica o valor em ampéres da corrente máxima que cada versão de equipamento pode operar (Quadro 4). A versão 450 com intensidade de corrente máxima de 450A, pode operar a 280A com fator de trabalho de 100%. A versão 600 com intensidade de corrente máxima de 600 A, pode operar a 350 A com fator de trabalho de 100% e a versão 800 com corrente máxima de 800 A e 500 A com fator de trabalho de 100%.

Características	Capacidade de Corrente			
	200	450	600	800
Tensão de alimentação trifásica	220/380/440	220/380/440	220/380/440	220/380/440
Tensão em vazio (configurável de fábrica)	50/68/85 V	50/68/85 V	50/68/85 V	50/68/85 V
Corrente a 100 % de fator de carga	200 A	280 A	350 A	500 A
Potência nominal	5 kVA	10 kVA	12 kVA	16 kVA
Faixa de corrente	5- 400 A	5- 450 A	5- 600 A	10 - 800 A
Corrente nominal por fase (220/380/440)	13/8/7A	26/15/13 A	32/18/16 A	42/25/21 A
Ripple de corrente	5 A	8 A	10 A	20 A
Fator de Potência	0.94	0.94	0.94	0.94

**Quadro 4 - Capacidade de corrente das fontes Digiplus A7**

Fonte: IMC - Soldagem (2011)

A operação deste equipamento é realizada através de um painel com display e teclas, por meio do qual são realizados a seleção dos processos e o ajuste das variáveis de forma simples e prática. Isto possibilita o ajuste das variáveis de soldagem a distâncias de várias dezenas de metros.

A fonte de soldagem Digiplus foi projetada para operar, tanto em 220, como em 380 e 440 V (trifásico). A fonte também possui uma entrada de gás. Este é utilizado nos processos MIG/MAG e TIG/PLASMA e tem por função proteger a poça metálica, estabilizar o arco voltaico e/ou ainda atuar ativamente no processo de soldagem (conforme for o processo).

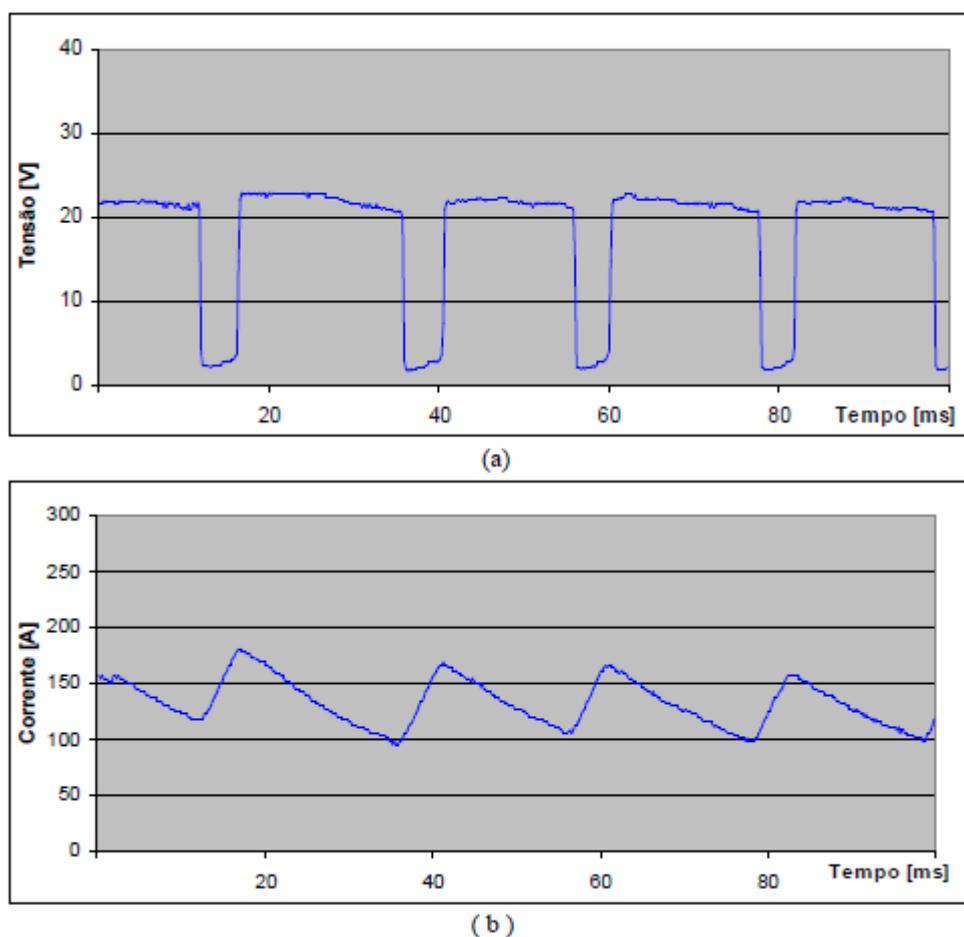
A máquina comanda a abertura e o fechamento da vazão de gás de soldagem através de uma válvula solenóide (normalmente fechada) acionada eletronicamente. Se o processo selecionado não precisar de gás de proteção proveniente de cilindro a válvula estará automaticamente fechada.

A fonte de soldagem, apesar de ser versátil e poder trabalhar com vários processos diferentes de solda, neste trabalho é usada como fonte de soldagem de um processo MIG/MAG convencional.

O processo MIG/MAG convencional é a opção em que a fonte de energia é do tipo tensão constante. O soldador/operador deve ajustar no equipamento uma tensão de referência e uma velocidade de alimentação de arame-eletrodo. Às vezes, os equipamentos também possuem um ajuste de dinâmica, ajuste este também chamado de indutância.

No equipamento utilizado deve-se ajustar fundamentalmente a tensão de referência em valores na faixa de 15 a 32 V e em dependência da velocidade do arame-eletrodo, sendo esta última, a principal determinante da corrente de soldagem

resultante. Assim, pode-se dizer que a corrente é uma variável dependente da velocidade do arame-eletrodo. Diz-se também que existe um autoajuste da corrente em função das circunstâncias do processo, como, por exemplo, alteração da distância da pistola de soldagem até a peça (Figura 30).



(a) tensão - (b) corrente

**Figura 30 - Dados de soldagem MIG/MAG Digiplus A7**  
Fonte: IMC - Soldagem (2011)

A fonte Digiplus é capaz de salvar em sua memória interna até oito diferentes programas de soldagem e seus respectivos parâmetros, poupando o operador de precisar configurar constantemente os parâmetros e modos de soldagem desejados. Essa memória também é responsável por uma das principais características desse equipamento, a mudança de programa de soldagem a quente, sem precisar desabilitar o processo de soldagem (IMC SOLDAGEM, 2011).

A integração da máquina de solda com dispositivos externos é feita basicamente através de uma interface de entradas digitais, através das quais é possível fazer a alteração dos programas de soldagem mesmo durante o processo. Essa interface possui um total de três entradas, através das quais é possível realizar

combinações binárias onde cada programa corresponde a uma combinação. O Quadro 5 relaciona as entradas com o programa que será executado.

	ENTRADA 2	ENTRADA 1	ENTRADA 0
PROGRAMA 1	1	1	1
PROGRAMA 2	1	1	0
PROGRAMA 3	1	0	1
PROGRAMA 4	1	0	0
PROGRAMA 5	0	1	1
PROGRAMA 6	0	1	0
PROGRAMA 7	0	0	1
PROGRAMA 8	0	0	0

**Quadro 5 - Valores lógicos para seleção dos programas na fonte Digiplus A7**

Fonte: Autoria própria.

Os programas podem conter modalidades de soldagem diferentes, de forma que a fonte faz a transição automaticamente de uma modalidade para outra durante a soldagem. Caso não haja parâmetros salvos no programa chamado a soldagem será encerrada.

De forma geral, essas são as principais características consideradas para a realização desse trabalho. Nesse mesmo capítulo encontram-se os demais equipamentos que fazem parte da integração proposta.

### 3.2 ROBÔ

O robô utilizado para realização deste trabalho é da marca ABB modelo IRB 1600ID-4/1.5 (Figura 31). Esse modelo é dedicado a soldagem a arco elétrico.



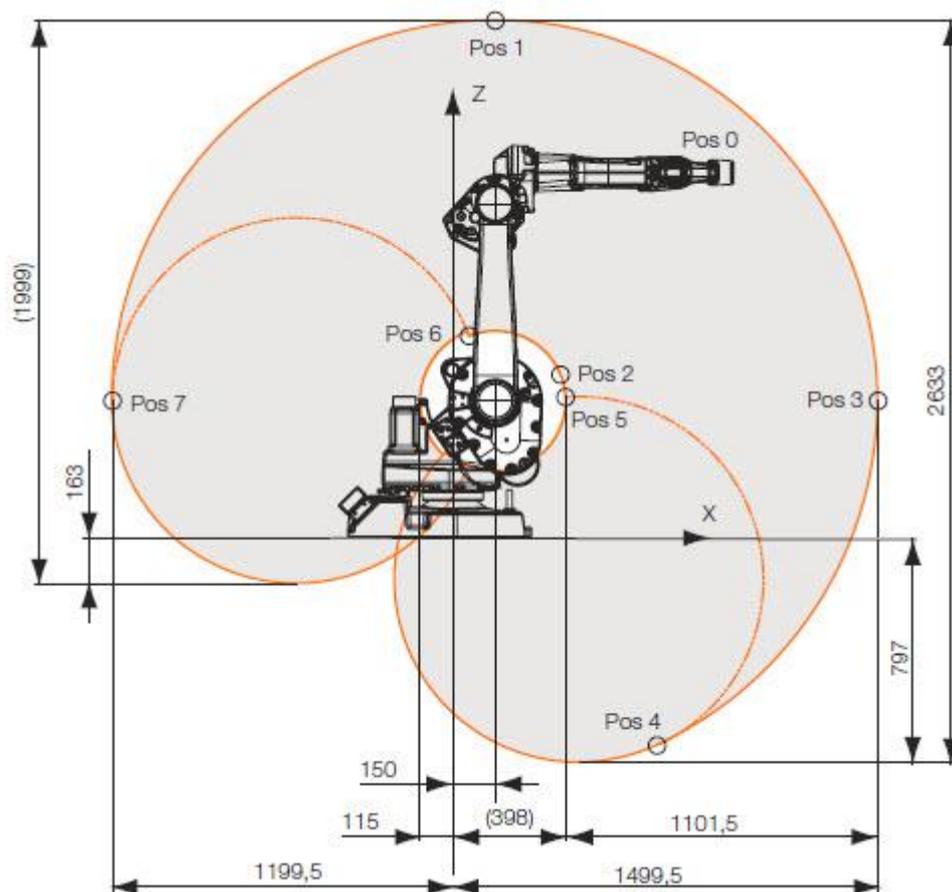
Figura 31 - Robô IRB 1600ID-4/1.5  
Fonte: ABB (2014)

<b>Performance</b>			
<b>Repetibilidade de posições</b>		0,02 mm	
<b>Repetibilidade de trajetória</b>		0,48mm	
<b>Eixo</b>	<b>Movimento</b>	<b>Intervalo de trabalho</b>	<b>Velocidade máxima</b>
Eixo 1	Rotação	+180° to 180°	180°/s
Eixo 2	Braço	+150° to 90°	180°/s
Eixo 3	Braço	+79° to 238°	180°/s
Eixo 4	Pulso	+155° to 155°	320°/s
Eixo 5	Curva	+135° to 135°	380°/s
Eixo 6	Volta	+200° to 200°	460°/s

Quadro 6 - Dados do robô IRB 1600ID-4/1.5  
Fonte: ABB (2014)

Uma das principais características desse robô é que, para que não ocorram problemas relacionados aos cabos de conexão elétrica e mangueiras do sistema, todos os meios de conexão são passados por dentro dos últimos elos, tornando o robô mais adaptado ao ambiente de soldagem. Esse modelo possui a capacidade de carregar uma carga útil de quatro quilos a uma distância de um metro e meio sem afetar sua precisão. A repetibilidade dele é de 0,02mm e a precisão na execução da rota programada também é de 0,48mm.

O robô possui um total de seis eixos, cada um com um determinado tipo de movimento e velocidade de trabalho. O Quadro 6 mostra de forma geral os principais dados desse robô, e é possível verificar, nas duas próximas figuras respectivamente (Figura 32 e Figura 33), o alcance e a identificação dos elos desse dispositivo.



**Figura 32 - Distribuição espacial do robô IRB 1600ID-4/1.5**  
Fonte: ABB (2014)

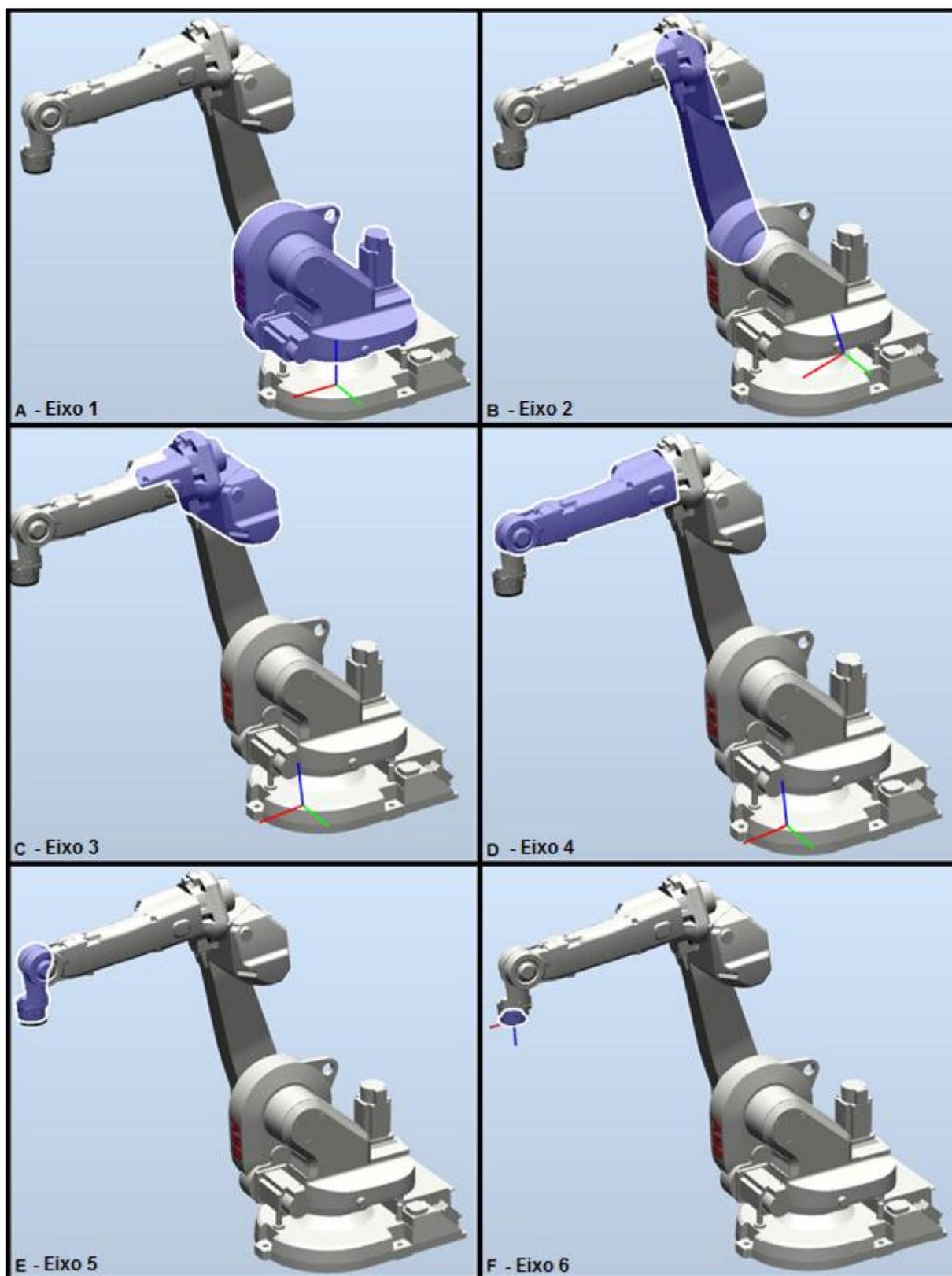


Figura 33 - Elos do robô IRB 1600ID-4/1.5  
Fonte: Autoria própria.

O controlador utilizado com esse robô pertence a mesma marca e seu modelo é o IRC5 (Figura 34). Esse controlador é extremamente versátil e pode ser obtido de forma modular, otimizando o custo em caso de manutenção.

O controlador é acompanhado por um dispositivo denominado FlexPendant, que trata-se da principal interface entre o robô e o controlador com o operador. Ele é composto por uma tela sensível ao toque e colorida, botões e alavancas de operação e emergência e também permite a programação do controlador de forma online. Pode ser fixo ao painel do controlador ou móvel.



**Figura 34 - Controlador IRC5**  
**Fonte: ABB (2014)**

A programação do controlador pode ser feita *online* através do FlexPendant ou através dos softwares RobotWare e RobotStudio, ambos softwares fechados, desenvolvidos e licenciados pela ABB. Os softwares também permitem a programação offline e a simulação da programação desenvolvida para os robôs.

A linguagem de programação usada para esse controlador tanto no FlexPendant quanto nos softwares é denominada RAPID. Essa linguagem permite a elaboração de programas estruturados, é bastante simples e também é adaptada

para a integração de outros dispositivos através de redes industriais (ABB, 2014). O controlador IRC5 permite a integração com as seguintes redes industriais:

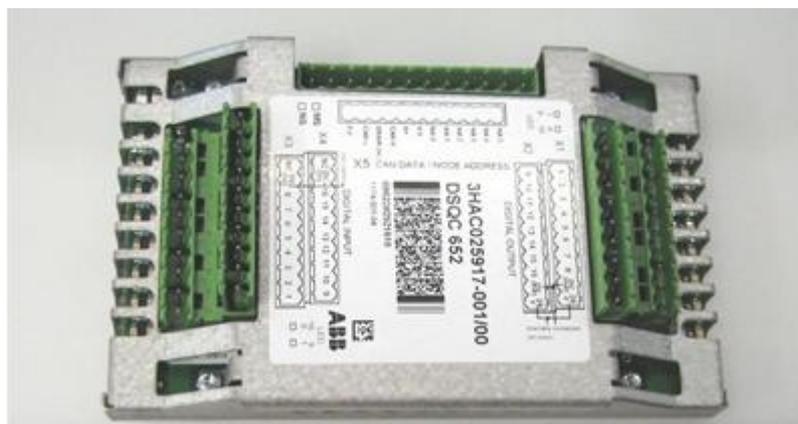
- DeviceNet - como mestre ou escravo;
- Profinet - como mestre ou escravo;
- Profibus DP - como mestre ou escravo;
- Ethernet/IP - como mestre ou escravo;
- Allen-Bradley Remote I/O - como escravo;
- CC-link - como escravo.

No caso do controlador utilizado, ele possui um FlexPendant móvel, uma interface DeviceNet como mestre, uma interface Profibus DP como mestre e uma interface de programação Ethernet.

### 3.3 MÓDULO DE ENTRADAS E SAÍDAS DIGITAIS

Para que a integração entre o robô e a máquina de solda fosse possível, foi necessária a utilização de um módulo de entradas e saídas digitais, satisfazendo a condição de comunicação da fonte de soldagem.

O módulo utilizado foi da marca ABB modelo DSQC 652 (Figura 35). Esse equipamento tem por característica trabalhar com sinais de tensão contínua em 24V e possui 16 entradas digitais e 16 saídas digitais (ABB, 2014). Outro aspecto muito importante dessa interface é que se trata de um dispositivo DeviceNet escravo, podendo servir de dispositivo auxiliar ao controlador IRC5.



**Figura 35 - Interface DSQC 652**  
Fonte: ABB (2014)

## 4 INTEGRAÇÃO ROBÔ - MÁQUINA DE SOLDA

### 4.1 PREMISSAS

Com base nos conhecimentos descritos até o momento, foi iniciado o trabalho para a integração do robô com a fonte de soldagem. Primeiramente foram separados os principais itens de cada dispositivo e os pré-requisitos para a realização da integração da seguinte maneira:

- A fonte de soldagem é capaz de armazenar até oito programas de soldagem, independente do tipo de soldagem e fonte, ou seja, pode alterar seu modo de funcionamento de acordo com os dados pré-programados. Caso o programa chamado pelo operador não contenha nenhuma programação o processo é parado;
- A comunicação com a fonte de soldagem poderia ser feita somente através de três bits, capazes de modificar o programa sendo executado pela máquina em operação, ou seja, sem que ela seja desligada ou reiniciada;
- Os programas de soldagem seriam desenvolvidos por terceiros, não importando a esse trabalho o desenvolvimento dos mesmos;
- A trajetória a ser utilizada pela pistola de soldagem deveria satisfazer a atividade de revestimento como condição principal;
- A posição inicial para o início do revestimento deveria ser selecionada de forma manual devido a inexistência de um padrão de mesa e substrato, dessa forma a distância entre o material base e o arame de soldagem também seriam definidos de forma manual, cabendo ao robô somente o movimento para revestimento;
- O procedimento de soldagem deveria ser capaz de realizar um cordão de solda de comprimento e largura variável, sendo ajustado através do FlexPendant do controlador do robô;
- O programa de soldagem deve ser alterado na transição das bordas para o centro do cordão de solda, permitindo diferentes penetrações da liga de revestimento no material base.

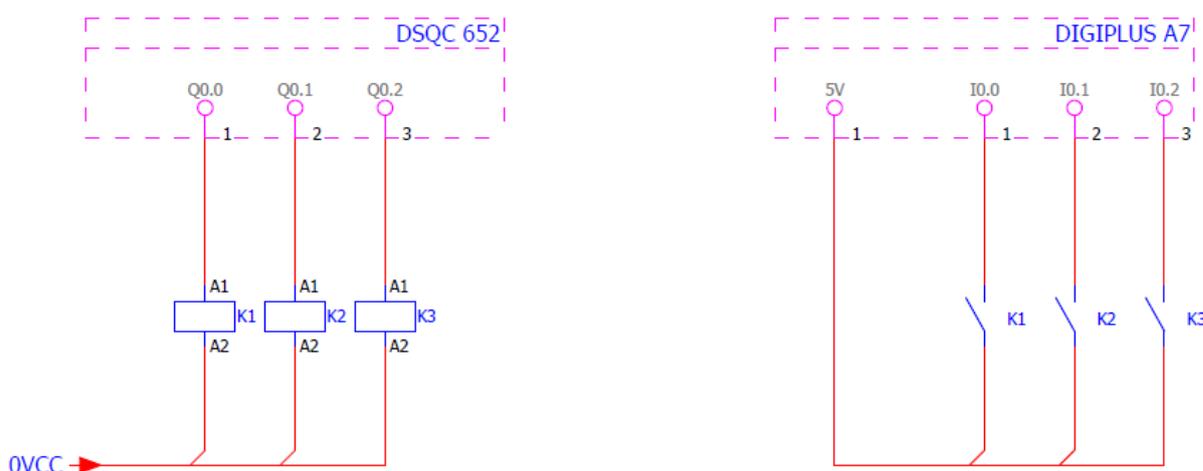
Com as informações acima, foi possível dar início aos trabalhos de planejamento da integração entre o robô e a máquina de solda conforme as premissas impostas.

## 4.2 INTERLIGAÇÃO ELÉTRICA

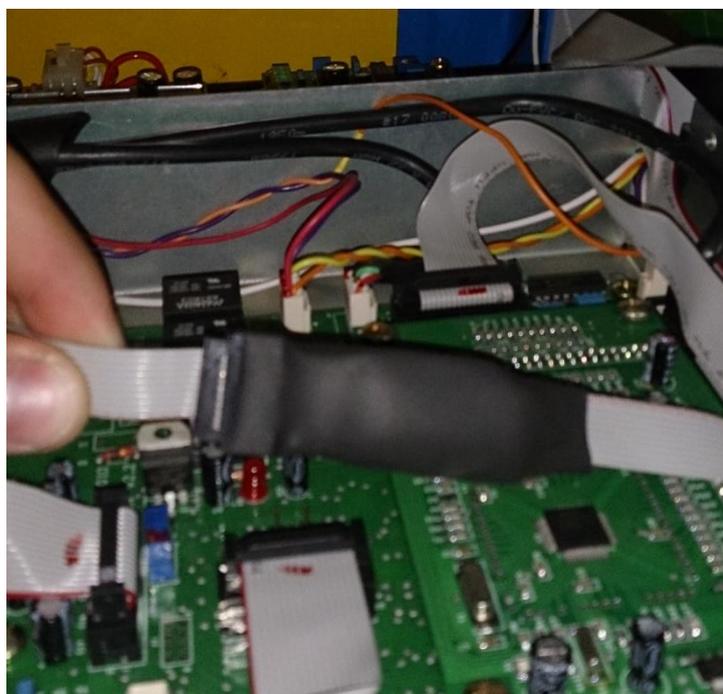
Em um primeiro momento foram pesquisadas formas de integrar a fonte de soldagem e o controlador IRC5. Conforme os manuais e informações obtidas, essa integração deveria ser de forma digital através de três bits, porém ainda não existia uma interface no controlador do robô capaz de enviar esses sinais. Foi concluído assim que seria necessária a adição de uma interface capaz de enviar sinais digitais e que a mesma deveria poder ser controlada através de uma das interfaces pré existentes no IRC5, ou seja, esse dispositivo deveria poder ser controlado através da rede Profibus DP ou DeviceNet.

A solução do problema veio com a utilização do dispositivo DSQC 652. Esse dispositivo, com já descrito, trabalha como escravo em uma rede DeviceNet e funciona como interface de sinais digitais entre o controlador e o ambiente. No total, o DSQC 652 possui 16 entradas digitais e 16 saídas digitais. Dessas saídas, três deveriam ser usadas para modificação e controle dos programas na máquina de solda. Para a proteção da pistola de soldagem, uma das entradas digitais foi usada para recepção de um sinal de uma chave fim de curso, a qual se localiza logo abaixo da pistola, e, caso exista contato entre a tocha e qualquer superfície com determinada força, a chave é acionada e o movimento parado imediatamente.

O dispositivo DSQC 652 trabalha com tensão de 24V contínuos, e essa tensão é fornecida pelo controlador através de uma fonte. Porém, quando o acoplamento entre a interface e a fonte de soldagem foi verificada, foi descoberto que a interface da máquina de solda trabalha com a tensão de cinco volts contínuos, porém a máquina também fornece, através da mesma borneira de entrada de sinais, a tensão para uso das entradas. Para resolver o problema, foram usados acopladores a relé com tensão de trabalho de 24V contínuos. Dessa forma a ligação ficou configurada conforme mostra a Figura 36 e a Figura 37.



**Figura 36 - Diagrama de conexão elétrica entre DSQC 652 e Digiplus A7**  
 Fonte: Autoria própria.



**Figura 37 - Interface de sinais digitais na fonte Digiplus A7**  
 Fonte: Autoria própria.

Um dos objetivos previstos, com a interligação física entre a fonte de soldagem e o controlador do robô, foi concluído, como mostra a figura acima. O teste da interligação física foi feito fornecendo-se tensão aos acopladores e acompanhado-se, através da interface da máquina de solda, a mudança de programa de soldagem. Esse teste confirmou que, com a correta programação do robô no controle da interface de sinais digitais, a interligação estava correta e funcional, dependendo dos próximos trabalhos para ser utilizada.

### 4.3 COMUNICAÇÃO E CONTROLE

O próximo passo era interligar, através da rede DeviceNet, o controlador e a interface DSQC 652. Fisicamente a ligação é bastante simples e segue um padrão, a dificuldade encontrada foi em como a comunicação deveria ser feita via o software de programação.

A preocupação com o software foi logo esquecida devido ao suporte fornecido pelo software para a integração de dispositivos de rede. A rede DeviceNet trabalha através de endereços, através dos quais identifica o dispositivo e abre o caminho para enviar e receber mensagens do mesmo. O endereçamento da interface foi feito e, através da interface de programação FlexPendant, foi possível fazer a adição do dispositivo ao software, que logo o reconheceu e o transformou simplesmente em entradas e saídas digitais que poderiam ser facilmente utilizadas na programação das tarefas do robô. O fato da interface DSQC 652 pertencer a mesma fabricante do robô e do controlador facilitou muito, pois o controlador já é pré-programado a receber o dispositivo, facilitando seu uso, sem necessitar de um nível elevado de programação.

A adição do dispositivo logo tornou todos os sinais fornecidos pela interface acessíveis em uma lista de símbolos previamente declaradas. Essa lista de símbolos foi gerada automaticamente pelo software quando houve a adição da interface DSQC 652. Para confirmar a adição do dispositivo não foi necessário nenhum teste, pois o próprio equipamento informa seu estado de operação na rede através de indicadores visuais.

### 4.4 PROGRAMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TRAJETÓRIA

Nesse ponto já existia uma integração parcial do robô com a fonte de soldagem. A partir desse momento foi necessário um planejamento e um estudo de como deveria ser a trajetória do robô para a realização do revestimento soldado.

Não existia a preocupação com o modo de soldagem que seria utilizado, já que os programas seriam desenvolvidos e testados por terceiros, porém o conhecimento de como é o funcionamento de um processo de soldagem era extremamente necessário. Essa necessidade veio junto com o planejamento de como deveria ser a movimentação do robô para a atividade de revestimento, pois

precisávamos saber quais variáveis deveriam ter a possibilidade de modificação para a realização da soldagem.

Como já comentado anteriormente, o modelo IRB 1600ID é um robô destinado a atividade de soldagem a arco elétrico. Os softwares de programação vinculados a esse modelo de robô fornecem suporte para diversas atividades de soldagem, incluindo o revestimento soldado ou tecimento.

O conjunto de funções desenvolvidas para o software de programação do controlador pertencem todas a linguagem de programação RAPID. As funções para soldagem encontram-se em um grupo seletivo chamado de CAP (*Continuous Application Platform*), que, quando corretamente utilizadas, permitem a combinação de movimentação do robô com a execução de uma tarefa que deve ser realizada de maneira contínua.

As funções CAP, de modo a satisfazer a sincronização de movimento do robô com as condições do processo, são divididas em quatro diferentes fases que são PRE, MAIN, POST1 e POST2.

A fase PRE é iniciada quando o efetuador encontra-se na posição inicial. Nessa fase, as condições para início da execução da trajetória são verificadas, garantindo um início seguro. Na fase MAIN todas as rotinas são executadas, e caso exista algum problema uma mensagem de erro é gerada. A fase POST1 faz as verificações do processo após a realização da rotina principal e a fase POST2 serve como uma redundância. Como é possível verificar essas fases estão relacionadas a supervisão do robô junto ao processo.

Como as funções CAP são muitas e destinadas as mais variadas aplicações em processos, será comentada somente a função própria para a atividade de revestimento.

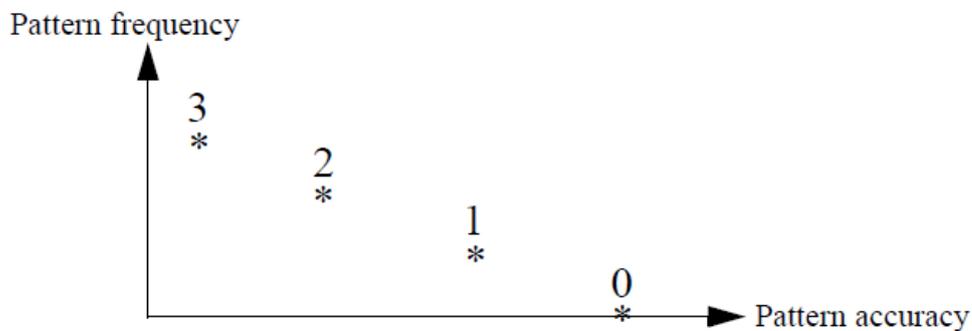
A função responsável pela rotina de tecimento é chamada "weavedata". Ela nada mais é do que uma movimentação pré determinada em forma de "ondas", na qual o formato dessas "ondas" e a velocidade de execução podem ser alteradas.

Existem quatro tipos de tecimento disponíveis (Figura 38):

- Tecimento geométrico: é o tipo que possui mais precisão e utiliza todos os eixos do robô;
- Tecimento de pulso: somente o eixo seis do robô é utilizado para a atividade;

- Tecimento rápido eixos 1-3: somente os eixos um, dois e três são usados para o revestimento;
- Tecimento rápido eixos 4-6: somente os eixos quatro, cinco e seis são usados para o revestimento.

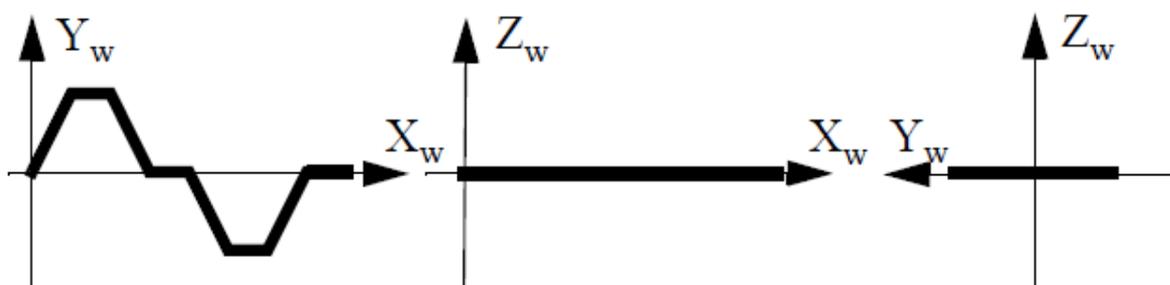
type value	weaving type
0	Geometric weaving. All axes are used during weaving.
1	Wrist weaving
2	Rapid weaving. Axis 1, 2 and 3 used
3	Rapid weaving. Axis 4, 5 and 6 used



**Figura 38 - Tecimento - Relação entre as possibilidades de movimento e precisão**  
 Fonte: ABB (2014)

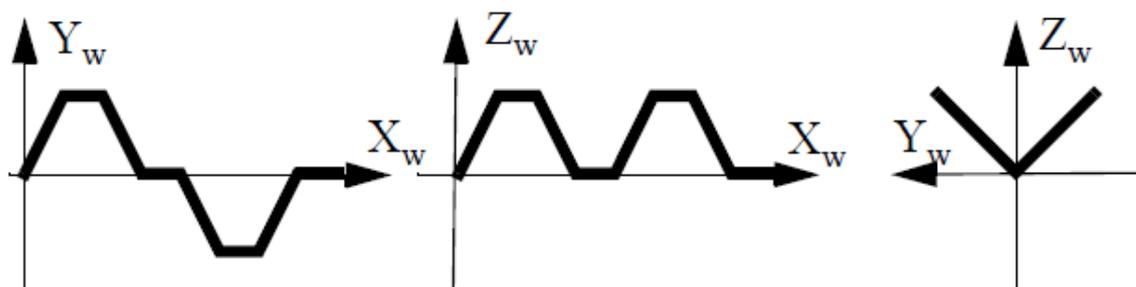
Assim como existem tipos de tecimento, também existem três diferentes formas (para entender as Figuras 39, 40 e 41 considere o eixo x como direção do movimento, o eixo z como altura da ferramenta em relação ao plano e o eixo y perpendicular a ambos construindo um sistema de coordenadas destros):

- Zigzag;



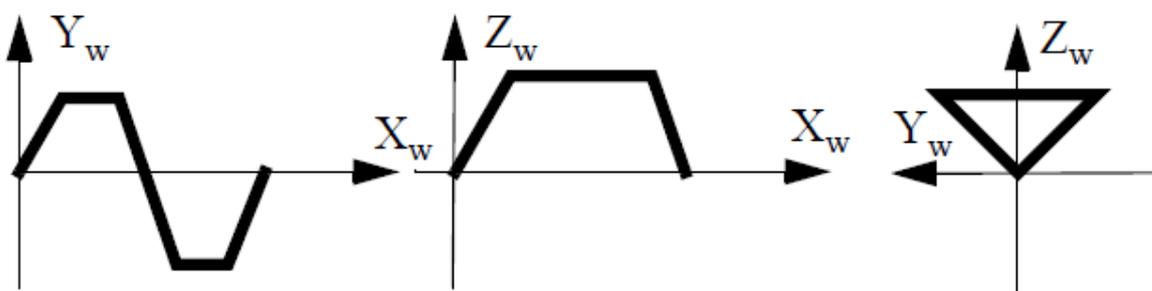
**Figura 39- Tecimento - Movimentos realizados quando a forma zigzag é utilizada**  
 Fonte: ABB (2014)

- Formato V;



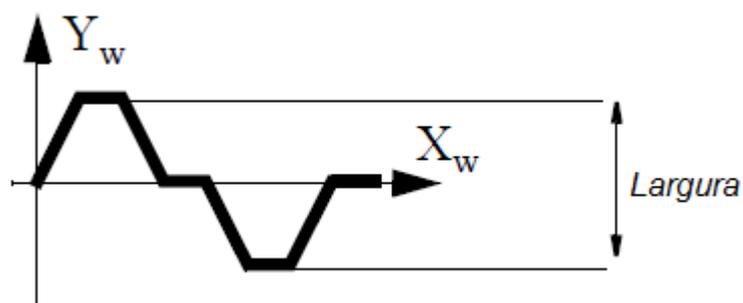
**Figura 40 - Tecimento - Movimentos realizados quando a forma "V" é utilizada**  
 Fonte: ABB (2014)

- Triangular.



**Figura 41 - Tecimento - Movimentos realizados quando a forma triangular é utilizada**  
 Fonte: ABB (2014)

Somente a seleção do formato empregado para a tecimento não satisfaz todas as condições necessárias para o processo de soldagem, outros parâmetros devem ser observados: a amplitude (Figura 42), o comprimento (Figura 43), o período (Figura 44) e a altura do movimento (Figura 45) devem ser definidos, possibilitando assim a execução do movimento por parte do robô.



**Figura 42 - Tecimento - Largura do cordão de solda**  
 Fonte: ABB (2014)

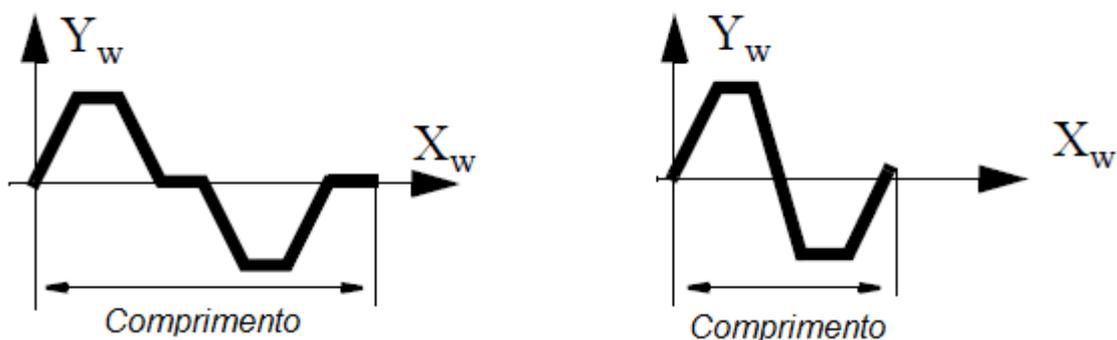


Figura 43 - Tecimento - Comprimento do cordão de solda  
Fonte: ABB (2014)

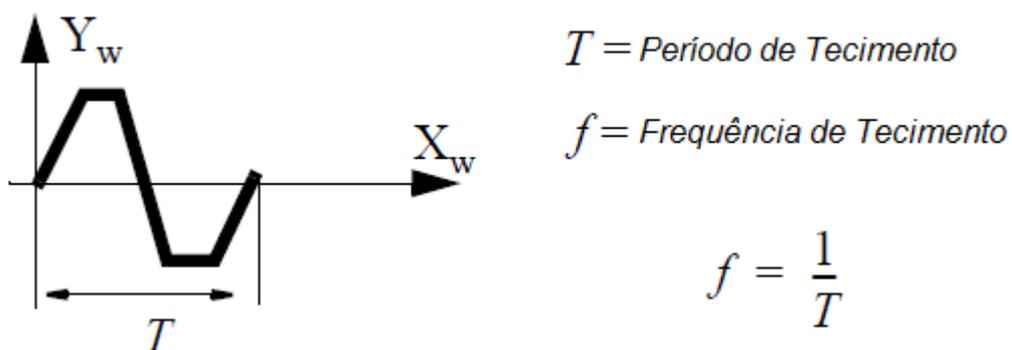


Figura 44 - Tecimento - Tempo de ciclo e frequência de soldagem  
Fonte: ABB (2014)

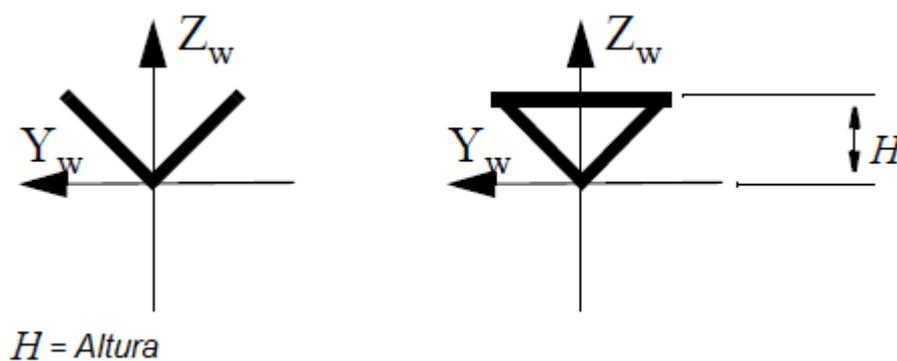


Figura 45 - Tecimento - Altura de soldagem  
Fonte: ABB (2014)

Dentro da função "weavedata" é possível também fazer determinadas alterações no formato das "ondas" desenhadas através dos eixos x e y, essas alterações podem ser observadas nas Figura 46 à 51 (ABB, 2014).

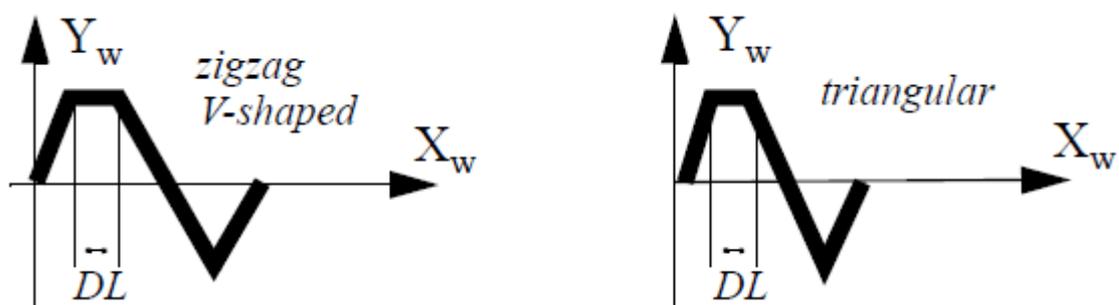


Figura 46 - Tecimento - Deslocamento no lado esquerdo (DL)  
Fonte: ABB (2014)

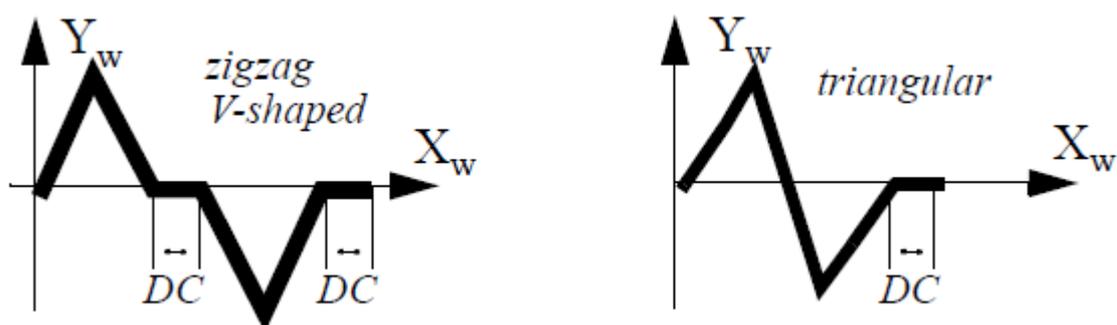


Figura 47 - Tecimento - Deslocamento central (DC)  
Fonte: ABB (2014)

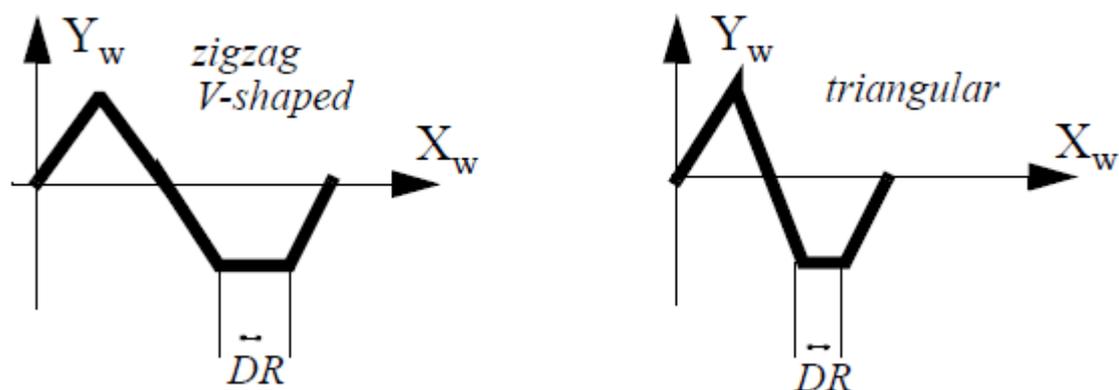
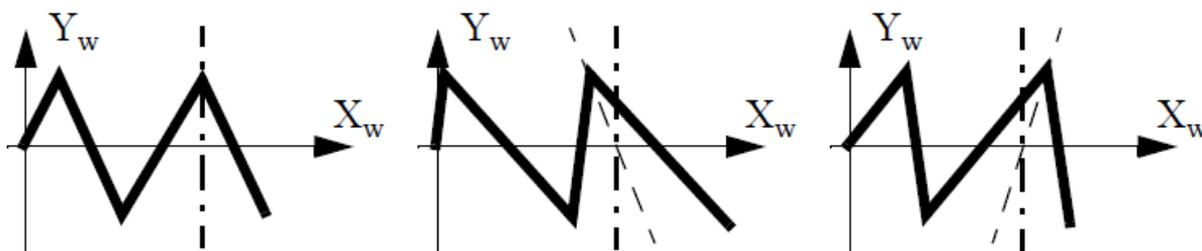
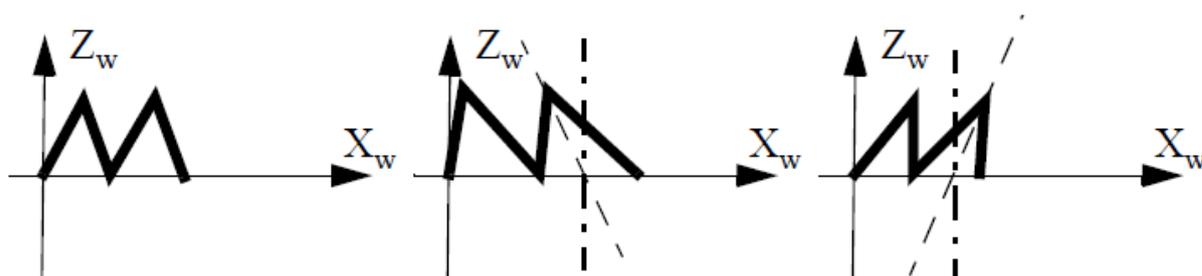


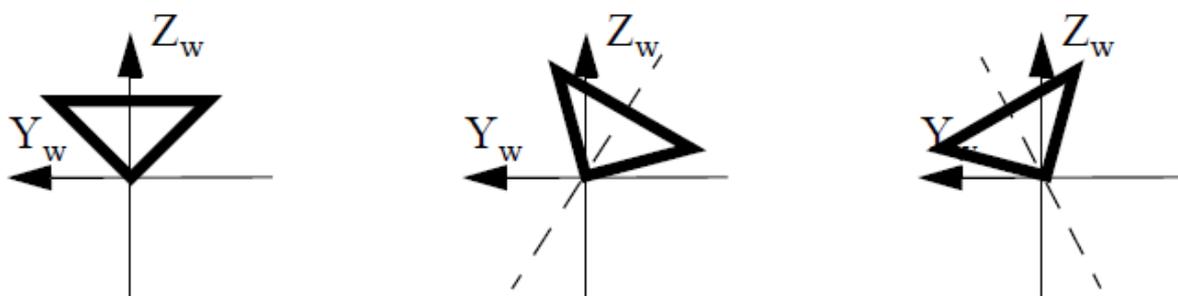
Figura 48 - Tecimento - Deslocamento no lado direito (DR)  
Fonte: ABB (2014)



**Figura 49 - Tecimento - Inclinação no plano horizontal**  
 Fonte: ABB (2014)



**Figura 50 - Tecimento - Inclinação no plano vertical**  
 Fonte: ABB (2014)



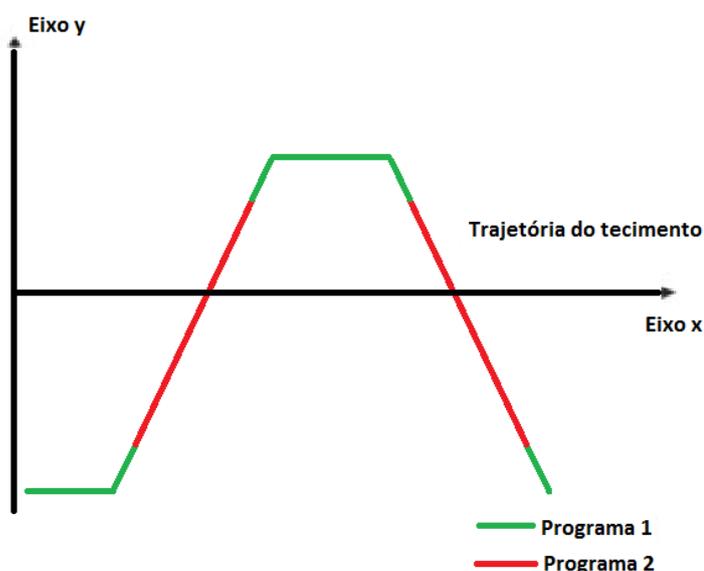
**Figura 51 - Tecimento - Inclinação no plano vertical**  
 Fonte: ABB (2014)

Todos os recursos da função "weavedata" pareciam satisfazer as condições de trajetória impostas para a atividade de revestimento soldado, porém a função não oferece suporte a um controle apurado de sinais digitais para a interconexão com a máquina de solda. Sempre que se executa uma atividade que não envolve o desenvolvimento da trajetória, como o acionamento de saídas digitais, causa um grande atraso nessa atividade secundária. O posicionamento torna-se prioridade para o controlador sobre qualquer atividade, dessa forma não é gasto processamento para as atividades intermediárias, fazendo com que exista um atraso entre a posição selecionada para acionamento das saídas digitais e o tempo em que essas saídas são realmente acionadas. De forma geral, o atraso pode ser justificado pelo sistema de supervisão das atividades que é executado pelas funções CAP.

A função "weavedata" contempla de forma geral a atividade de tecimento, porém não prevê uma atividade na qual existirão interferências de processo, no caso a mudança de programas de soldagem. O atraso, apesar de parecer mínimo quando visto em uma escala de segundos, é o suficiente para apresentar danos de soldagem em um processo.

A existência do atraso no controle das saídas digitais tornou a função não utilizável nessa integração, porém mostrou-nos as possibilidades de trajetória para tecimento e também as suas principais variáveis.

A partir desse momento seria necessário pesquisar um meio no qual o tempo para acionamento das saídas digitais fosse quase inexistente quando o robô atingisse o ponto definido da trajetória. Para encontrar as funções que associassem movimento com funções secundárias era necessário primeiro definir qual seria a trajetória desenvolvida pelo robô e onde seriam feitas as mudanças de programa. Definimos essas questões como mostra a Figura 52:



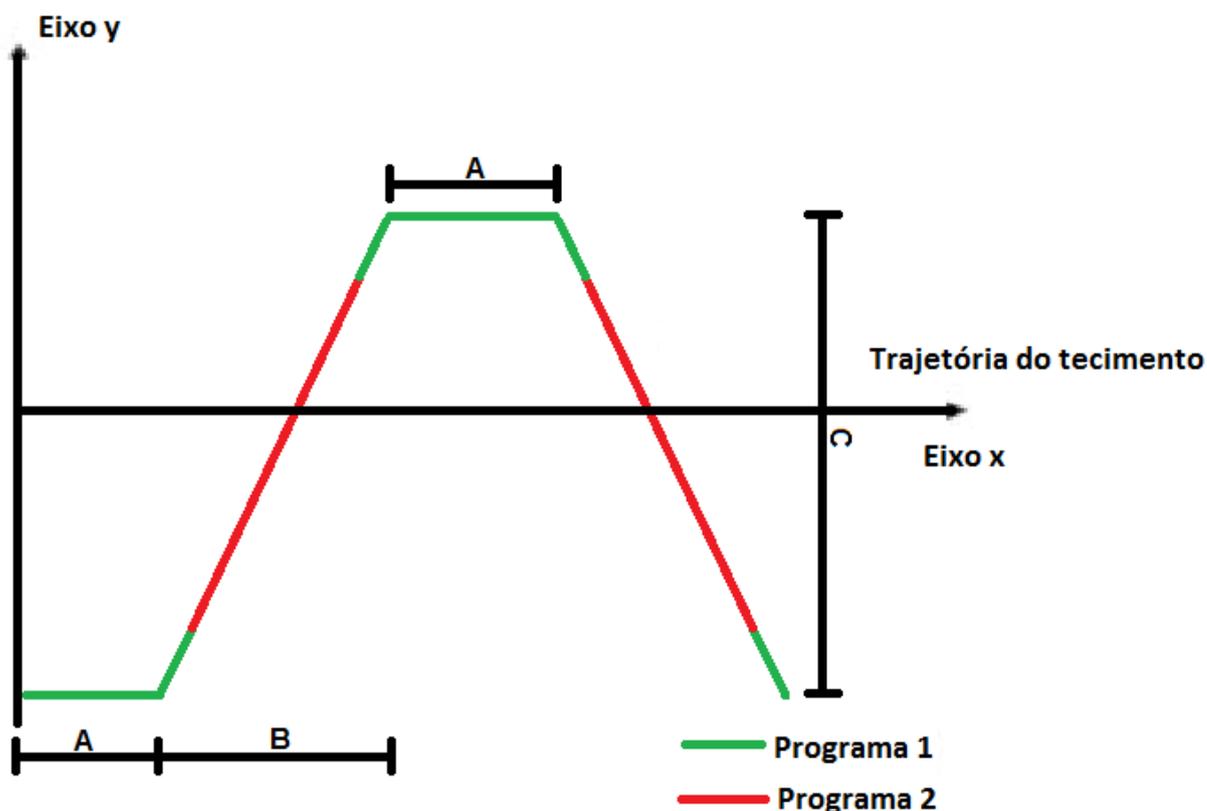
**Figura 52 - Movimento planejado para o tecimento**  
Fonte: Autoria própria.

Partindo-se da premissa de que a altura e posição inicial seriam definidas de forma manual, uma interferência no eixo z não seria necessária, focando o trabalho apenas na execução da trajetória e modificação de programas da forma mais eficiente possível.

Como é possível notar, todas as trajetórias planejadas são lineares, e é possível dividi-la em quatro segmentos de reta, sendo que apenas em dois deles

haveria mudança de programa. Quanto mais simples o movimento mais eficiente seria a troca de programas.

Assim como na função "weavedata", o movimento deveria ser cíclico, permitindo a variação do comprimento do cordão. Outra variável que deveria existir é a amplitude, então, antes de buscar um método de realizar a trajetória, dividimos a trajetória básica em função de três variáveis simples (Figura 53).



**Figura 53 - Variáveis consideradas para o movimento de tecimento**  
**Fonte: Autoria própria.**

Essas variáveis permitem, de forma bastante simples, modificações no formato do movimento realizado pelo robô, possibilitando a realização de ondas trapezoidais, triangulares ou quadradas. As variáveis A e B nunca podem ter valor nulo ao mesmo tempo e a variável C nunca pode ser nula. Caso o valor da variável A seja nulo, as ondas formadas serão triangulares, caso o valor da variável B seja nulo, as ondas serão quadradas. É importante notar que a relação entre as variáveis B e C determinam o ângulo de contorno.

Como comentado, o comprimento do cordão de solda deveria poder ser definido pelo usuário, para isso as mesmas variáveis são usadas, definindo quantos ciclos devem ser executados para ficar o mais próximo possível do valor solicitado.

O cálculo usado é simples, basta dividir o comprimento total solicitado para o cordão pelo valor da soma da variável B mais o valor duplicado de A, resultando na quantidade de ciclos que devem ser executados para construção do cordão. A unidade usada é centímetros.

A princípio o programa de trajetória desenvolvido para o robô funciona apenas na horizontal. Para entender isso imagine um sistema de coordenadas onde os eixos x e y, perpendiculares entre si, formam um plano, e o eixo z, perpendicular a x e y, define uma altura em relação a esse plano.

De início a ideia era posicionar o robô manualmente em sua posição inicial devido a falta de um suporte adequado e chapas de substrato com medidas padrão, ou seja, o ponto de partida do robô seria apresentado pelo usuário e usado pelo programa para definir os alvos de trajetória. A altura do arame de soldagem para o substrato deveria ser mantida fixa, ou seja, no sistema de coordenadas o valor no eixo z não seria alterado. A partir desse ponto a definição da trajetória seria definido pelos valores das variáveis já citadas, controlando os diferentes pontos alvo que o robô deveria atingir, dessa forma a lógica empregada seria a seguinte:

- Dado o conhecimento da posição atual do robô cria-se um ponto inicial (PI) em um sistema de coordenadas cartesianas com a seguinte estrutura  $(x, y, z)$ ;
- Para que o robô inicie o seu movimento um ponto alvo deve ser criado. Esse ponto é criado com base na variável A, ou seja, o robô realizará um movimento buscando atingir uma posição com coordenadas cartesianas  $(x-A, y, z)$ ;
- Caso o comprimento do cordão de solda não tenha sido atingido nesse movimento, um novo ponto alvo é criado, agora com base nas variáveis B e C. Esse ponto possuirá as seguintes coordenadas cartesianas  $(x-A-B, y+C, z)$ , fazendo com que o robô descreva, caso a variável B não possua valor nulo, um movimento diagonal;
- Caso o comprimento do cordão de solda não tenha sido atingido nesse movimento, um novo ponto alvo é criado, novamente com base na variável A, gerando a seguinte coordenada cartesiana  $(x-A-B-A, y+C, z)$  e o movimento é novamente realizado pelo robô;

- Caso o comprimento do cordão de solda não tenha sido atingido nesse movimento, um novo ponto alvo é criado, novamente com base nas variáveis B e C. Esse ponto possuirá as seguintes coordenadas cartesianas  $(x-A-B-A-B,y+C-C,z)$ , fazendo com que o robô descreva, caso a variável B não possua valor nulo, um movimento diagonal de retorno a sua linha original;
- O ciclo é repetido nessa ordem quantas vezes forem necessárias para que o comprimento do cordão de solda solicitado seja atingido;
- Quando o comprimento do cordão de solda for atingido, o robô realizará um movimento vertical afastando-se da superfície de soldagem em 150 milímetros, encerrando a rotina de movimentação.

Os passos descritos acima resolvem a trajetória a ser desenvolvida pelo robô, falta agora apenas demonstrar a função do robô capaz de unir o desenvolvimento de uma trajetória junto ao acionamento das saídas digitais que controlam a máquina de solda. A função utilizada para essa tarefa faz parte da biblioteca padrão do controlador e se chama "TriggL".

Com essa função é possível determinar até oito diferentes eventos durante um movimento linear. Para que essa função possa ser utilizada é necessária a criação dos eventos que ela realizará durante o movimento. Os eventos podem ser diversos, porém o que satisfaz a proposta do trabalho é o evento chamado "TriggerIO".

O evento "TriggerIO" proporciona o tratamento de sinais digitais ou analógicos que podem ser alterados devido a condições de distância ou tempo. Basicamente insere-se o valor desejado de distância ou tempo (esses valores são identificados conforme seu tipo, no caso da distância o valor é indicado em milímetros e sem complementos, no caso de tempo o valor inserido está na escala de segundos e possui o complemento "\Time") que faltam para que o ponto de trajetória definido (na função) seja alcançado, insere-se o tipo lógico que vai ter o valor alterado, digital ou analógico, e o nome da variável, e também o valor que a variável deve assumir a partir daquele ponto de trajetória (ABB, 2014).

É importante notar que um evento e uma função tratam-se de itens diferentes, o evento é um recurso que pode ser utilizado durante a execução de uma função, ou seja, durante a execução da função "TriggL" o evento "TriggerIO" ocorrerá.

Tratando-se da função "TriggL", para que ela seja usada é necessário definir qual o ponto de trajetória que deve ser atingido, a velocidade de movimentação do efetuador durante o trajeto, o evento que deve ocorrer e as características do efetuador. Como todos os itens já foram anteriormente citados, basta agora entender os acontecimentos quando a função é executada.

Como dito anteriormente, o evento ocorrerá durante a movimentação do robô, porém um único evento não é suficiente, já que a trajetória definida para o trabalho possui duas mudanças de estado das saídas digitais em um único movimento linear.

A função usada para movimentação suporta até oito diferentes eventos, bastando apenas que esses eventos sejam anexados a sintaxe da função. Pode-se dizer que o movimento é executado por quatro chamadas de movimentos lineares, sendo que dois dos movimentos possuem eventos iguais e executados na mesma sequência.

Unindo todas as informações passadas se tem a integração planejada entre o robô IRB1600ID e a fonte de soldagem Digiplus A7 modelo Inversal 450. Resumidamente, a máquina de solda possui a possibilidade de mudar seu modo de operação a quente entre oito programas salvos previamente. Esses programas são selecionados através da combinação de três entradas digitais que permitem, através de uma combinação binária entre elas, a modificação do programa. A chamada de um programa não configurado desliga a fonte. O robô, através de seu controlador, é integrado à uma interface de 16 entradas digitais e 16 saídas digitais por uma rede DeviceNet, onde o controlador é o mestre da rede e a interface escrava. Durante a execução de uma trajetória previamente definida, em quatro pontos distintos, existe a alteração do programa de soldagem. Os parâmetros que precisam ser configurados pelo usuário são os seguintes:

- Largura do cordão de solda (variável C);
- Comprimento dos trechos paralelos do movimento (variáveis A e B), que pode ser trapezoidal, retangular ou triangular;
- velocidade de movimentação do efetuador;
- Distâncias para troca de programa;
- Programa que deve ser utilizado em cada um dos trechos;
- Ponto inicial para o desenvolvimento do cordão de solda.

Através dessas definições a soldagem ocorrerá, permitindo a análise dos melhores parâmetros de soldagem para a execução do tecimento (revestimento soldado) com determinada liga de deposição metálica, cumprindo o principal objetivo do trabalho, que era facilitar o uso da unidade robótica afim de permitir testes de forma frequente e variada. No próximo capítulo serão exibidos os resultados e principalmente o programa desenvolvido com comentários explicando cada uma das atividades programadas.

## 5 RESULTADOS

Todo o trabalho desenvolvido até o momento resume-se a programação de um controlador para robôs e a criação de uma interface no seu "Flexpendant". A seguir é possível verificar o programa final, com comentários e cada uma de suas linhas, e a interface criada para interação com o usuário final.

### 5.1 PROGRAMA

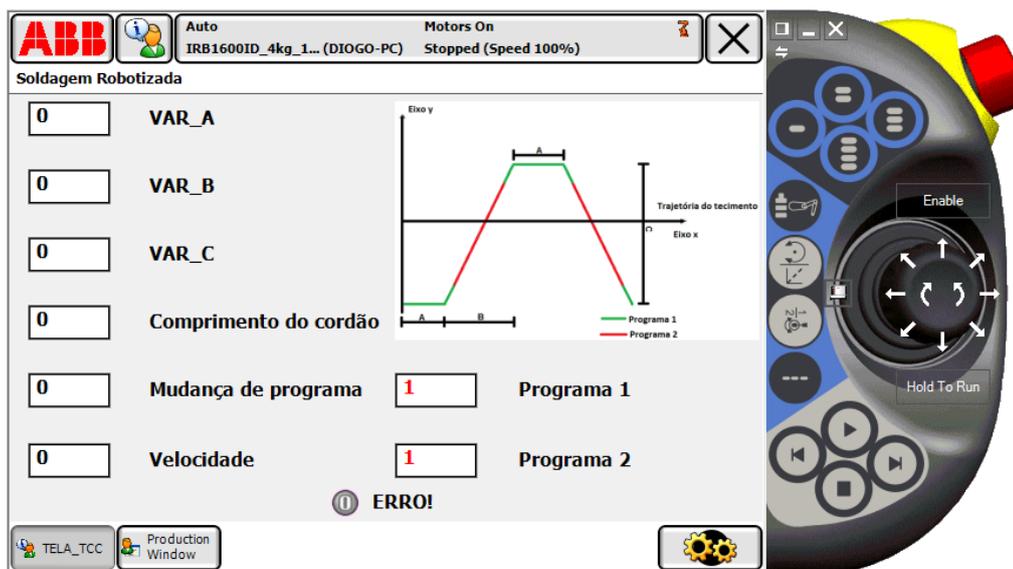
O programa desenvolvido visa atingir o principal objetivo proposto pelo trabalho, a integração entre a fonte de soldagem e o robô, permitindo a troca de programas de soldagem em determinados trechos.

É importante lembrar que a execução do programa de um robô é sequencial, ou seja, ele realiza a atividade programada em uma linha de forma completa para depois seguir para a próxima. No APÊNDICE A segue uma cópia do programa desenvolvido, ressaltamos que as cores usadas na cópia, assim como as fontes, foram mantidas conforme o software de programação original, o RobotStudio, permitindo dessa forma que o programa possa ser convenientemente replicado no software por qualquer um que venha a utilizar esse trabalho como base de pesquisa.

### 5.2 INTERFACE

De certa forma, a parte mais importante desse projeto é a interface com o usuário, já que é ela que traz toda a facilidade de programação e modificação de parâmetros de trajetória do robô e da máquina de soldagem.

Como é possível ver na Figura 54, os campos de configuração disponíveis são os mesmos mencionados até o momento, com exceção de um indicador de erro. Essa interface é responsável pelo cumprimento de um dos objetivos desse trabalho.



**Figura 54 - Interface com o usuário**  
**Fonte: Autoria própria.**

O indicador de erro sinalizará a falta de algum parâmetro indispensável para a realização da soldagem, impedindo dessa forma a movimentação do robô e o acionamento da fonte de soldagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo adequado dos equipamentos disponíveis para a integração entre o robô e a máquina de solda, não foi difícil definir qual caminho deveria ser tomado para a realização do trabalho, mesmo porque os dispositivos fornecidos possuíam apenas uma forma de interligação para que o conjunto fosse automatizado.

A dificuldade surgiu no momento da programação do conjunto, onde a falta de conhecimento prévio da dupla acerca de programação textual de robôs e a ausência de suporte em língua portuguesa do dispositivo robótico causou atrasos no cronograma planejado.

A literatura acerca do tema do trabalho é bastante desenvolvida, porém, encontrar uma abordagem bastante incisiva sobre a programação de robôs, principalmente quando diferentes fabricantes utilizam diferentes linguagens e meios de programação, tornou-se uma tarefa quase impossível, forçando-nos a recorrer aos complexos manuais fornecidos pelo fabricante do robô.

Os objetivos que foram propostos fazem referência exclusiva a um funcionamento adequado do conjunto integrado, e pode-se afirmar que esses objetivos foram cumpridos satisfatoriamente. Porém, na perspectiva dos autores, apesar do cumprimento do que foi proposto, muitas modificações podem ser feitas para melhorar o projeto desenvolvido até esse momento. Uma das melhorias que podem ser feitas está relacionada às normas regulamentadoras de segurança, com destaque a norma regulamentadora número 12, pois hoje a segurança de todos os envolvidos em um processo realizado por uma máquina é uma questão fundamental para qualquer empresa. Destaca-se também a possibilidade de uma integração entre o controlador do robô com um controlador lógico programável, proporcionando uma ampliação de dispositivos interligados, criando oportunidade de tornar o conjunto mais flexível. Como exemplo, seria possível a criação de uma mesa para soldagem com suporte fixo, mas com possibilidade de rotar sua superfície, proporcionando novos ângulos de soldagem para diferentes peças.

De forma geral, o trabalho desenvolvido satisfaz quanto ao seu resultado e agregou bastante conhecimento quanto a soldagem e robótica, porém deixou a sensação de que poderia ser melhorado, principalmente quanto a segurança aos usuários do equipamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASEA BROWN BOVERI. **Robot Studio - Operating Manual**. [S. l.], [20--?].

\_\_\_\_\_. **IRC5 with FlexPendant - Operating Manual**. [S. l.], [20--?].

\_\_\_\_\_. **Introduction to RAPID programming- Operating Manual**. [S. l.], [20--?].

\_\_\_\_\_. **RAPID instructions, functions and data types - Technical Reference Manual**. [S. l.], [20--?].

AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA. **Robôs manipuladores industriais (conceitos teóricos)**. Disponível em: < <http://automacaoerobotica.blogspot.com.br/2012/07/11-robos-manipuladores-industriais.html>>. Acesso em 29 de jul. 2014.

BAPTISTA, André Luís de Brito; NASCIMENTO, Ivaldo de Assis do. **Revestimentos duros resistentes ao desgaste depositados por soldagem utilizados na recuperação de elementos de máquinas**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], [20--?].

CARRARA, Valdemir. **Apostila de robótica**. Universidade Brás Cubas: [S. l.], [20--?].

FILHO, Alexandre Queiroz Bracarense Teodiano Freire Bastos et al. **Soldagem Robotizada**. Edgard Blucher: [S. l.: s.n.], 2002.

FILHO, Constantino Seixas. **Devicenet**. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de engenharia eletrônica, [20--?].

GIMENES JR., Luiz; RAMALHO, José Pinto. **Soldagem por eletrodo revestido**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/352-soldagem-por-eletrodo-revestido.html>>. Acesso em 08 de jun. 2014.

IMC SOLDAGEM. **Manual de instruções**. 3ª ed. Florianópolis, SC, 2011.

INFOSOLDA, **Revestimento por soldagem - processos de soldagem para revestimento**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/180-revestimento-por-soldagem-processos-de-soldagem-para-revestimento.html>>. Acesso em 22 de jun. 2014.

INFOSOLDA, **Revestimento por soldagem - características**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/177-revestimento-por-soldagem-caracteristicas.html>>. Acesso em 25 de jun. 2014.

ISO 10218 - **Manipulating Industrial Robots - Safety**. ISO Publications: França, 1992.

ISO/DIS 14539 - **Manipulating Industrial Robots: Vocabulary of object handling with end effectors and of characteristics of grasp-type grippers**. ISO Publications: França, 1998.

LAGES, Walter Fetter; PEREIRA, Carlos Eduardo. **Integração de sinais e dados**. Edgard Blucher: [S. l.: s.n.], 2002.

MODENESI, Paulo J. **Introdução à Física do Arco Elétrico**. Belo Horizonte, janeiro de 2012. UFMG.

NETO, Augusto J. Leda. **Robótica industrial**. Disponível em: <<http://engmecatonico.blogspot.com.br/2010/07/robotica-industrial.html>>. Acesso em 24 de jul. 2014.

OKIMOTO, Paulo César. **1ª aula - conceitos fundamentais e classificação**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula1.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

\_\_\_\_\_. **TIG : Tungsten Inert Gas, também conhecido como GTAW : Gas Tungsten Arc Welding**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula12-TIG.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

\_\_\_\_\_. **3ª aula - Brasagem**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula3.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

\_\_\_\_\_. **4ª aula - Introdução ao arco elétrico**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula4.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

\_\_\_\_\_. **5ª aula - MIG/MAG**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula5.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

\_\_\_\_\_. **6ª aula - MIG/MAG**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula6.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

\_\_\_\_\_. **7ª aula - Eletrodos revestidos**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula7.pdf>>. Acesso em 08 de jul. 2014.

ROBOTSTUDIO. Version 5.61.01. ABB, 2014.

ROMANO, Vitor Ferreira; DUTRA, Max Suell. **Introdução a robótica industrial**. Edgard Blucher: [S. l.: s.n.], 2002.

SMAR. **Tutorial devicenet**. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/devicenet.asp>>. Acesso em 29 de jul. 2014.

UNIVERSO DA SOLDAGEM. **Soldagem por eletrodo revestido**. Disponível em: <<http://universodasoldagem.wordpress.com>>. Acesso em 12 de jul. 2014.

VIRTUAL SHOP. **Curso completo solda TIG**. Disponível em: <<http://virtualimpsnet.blogspot.com.br/2011/11/curso-completo-de-solda-tig-textos-e.html>>. Acesso em 24 de jul. 2014.

## APÊNDICE A - Programa de tecimento para o robô IRB 1600ID-4/1.5

```

MODULE Module1 ! Abertura do módulo principal no qual o programa está armazenado e
será executado
VAR robtarget alvo; ! Declaração da variável que será utilizada para definir os pontos alvo de
trajetória
PERS num VAR_A; ! Declaração da variável "A" correspondente a um dos itens de trajetória,
seu valor é definido através da interface
PERS num VAR_B; ! Declaração da variável "B" correspondente a um dos itens de trajetória,
seu valor é definido através da interface
PERS num VAR_C; ! Declaração da variável "C" correspondente a um dos itens de trajetória,
seu valor é definido através da interface
PERS num VAL_L; ! Declaração da variável correspondente ao comprimento do cordão de
solda, seu valor é definido através da interface
PERS num MUDA_PROG; ! Declaração da variável correspondente a posição na qual o
programa de soldagem é alterado, seu valor é definido através da interface
VAR num MUDA_PROG_1; ! Declaração de variável auxiliar, usada durante a mudança de
programas
VAR num HIP; ! Declaração de variável auxiliar, usada para determinação de posição de
mudança de programa
PERS num VELOCIDADE_HMI; ! Declaração da variável usada para a definição da
velocidade, seu valor é definido através da interface
PERS num ERRO; ! Declaração da variável usada para verificação de erros
PERS num PROGRAMA_1:=1; ! Declaração da variável que define o programa um,
conforme o gráfico apresentado, possui valor inicial igual a um, mas seu valor pode ser
alterado através da interface
PERS num PROGRAMA_2:=1; ! Declaração da variável que define o programa dois,
conforme o gráfico apresentado, possui valor inicial igual a um, mas seu valor pode ser
alterado através da interface
VAR num I; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR num J; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR num AJUSTE; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR num VAR_B_2; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR num VAR_C_2; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR trigdata PROG_CURVA_1; ! Declaração de variável especial, usada para mudança de
programas
VAR trigdata PROG_CURVA_2; ! Declaração de variável especial, usada para mudança de
programas
VAR speeddata VELOCIDADE; ! Declaração de variável especial, usada para a configuração
da velocidade do robô
VAR num PROGRAMA_1_INT; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR num PROGRAMA_2_INT; ! Declaração de variável auxiliar interna
VAR pos POSICAO_ATUAL; ! Declaração de variável especial, usada para referenciar um
posicionamento
PROC main() ! Início do programa principal
IF VAR_A+VAR_B = 0 OR VAR_C = 0 OR VAL_L = 0 OR PROGRAMA_1 = 0 OR
PROGRAMA_2 = 0 THEN ! Verifica a ausência de dados para a realização da trajetória
ERRO:=1; ! Caso identificado algum problema com os dados a variável ERRO recebe valor
um
ELSE

```

```

ERRO:=0; ! Caso não seja identificado nenhum problema com os dados a variável ERRO
recebe valor zero
ENDIF ! Encerra a condição de verificação
IF ERRO = 0 THEN ! Verifica o valor da variável ERRO, se a mesma possuir valor zero a
rotina continua
VAR_B_2:= VAR_B*VAR_B; ! Calcula o quadrado do valor da variável B
VAR_C_2:= VAR_C*VAR_C; ! Calcula o quadrado do valor da variável C
HIP:= Sqrt (VAR_B_2+VAR_C_2); ! Calcula o valor da raiz quadrada da soma dos
quadrados das variáveis B e C
VELOCIDADE:= [VELOCIDADE_HMI, 1000,1000,1000]; ! Define a velocidade de
trabalho do robô
TCC; ! Encaminha para a rotina auxiliar de desenvolvimento da trajetória do robô
ENDIF ! Encerra a condição de verificação da variável ERRO
ENDPROC ! Encerra o programa principal
PROC TCC() ! Início da rotina auxiliar
MUDA_PROG_1:= HIP-MUDA_PROG; ! Calcula o segundo ponto de troca de programa
PROGRAMA_1_INT:= PROGRAMA_1-1; ! Adapta o número do programa as condições
binárias
PROGRAMA_2_INT:= PROGRAMA_2-1; ! Adapta o número do programa as condições
binárias
J:=0; ! Define a variável com valor zero
I:=VAL_L; ! Define a variável com o valor igual ao comprimento do cordão de solda
solicitado
POSICAO_ATUAL:=CPos(\Tool:=tool0 \Wobj:=wobj0); ! Adquire a posição atual do robô
alvo:=[[POSICAO_ATUAL.x,POSICAO_ATUAL.y,POSICAO_ATUAL.z],[0,1,0,0],[0,0,2,0
],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]]; ! Caso a posição do efetuador não esteja correta, garante que
a posição seja ajustada
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\Wobj:=wobj0; ! Ajusta a posição da ferramenta
WHILE J<>1 DO ! Inicia ciclo de repetição infinito
I:=I-VAR_A; ! Subtrai o valor da variável A da variável I
IF I>0 THEN ! Caso o valor de I seja maior que zero o programa realiza a rotina de soldagem
normalmente
SetGO DIGIPLUS, PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o
solicitado
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_A,0,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\Wobj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
ELSE
IF I=0 THEN ! Caso o valor de I seja igual a zero o programa conclui a rotina de soldagem
SetGO DIGIPLUS, PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o
solicitado
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_A,0,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\Wobj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ELSE
IF I<0 THEN ! Caso o valor de I seja menor que zero o valor de movimentação sofre um
ajuste para executar o comprimento exato do cordão de solda
SetGO DIGIPLUS, PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o
solicitado

```

```

AJUSTE:=I+VAR_A; ! Calcula o valor de ajuste para a definição do próximo ponto
alvo:= Offs(alvo,-1*AJUSTE,0,0); ! Cria novo ponto alvo do robô
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\WObj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
I:=I-VAR_B; ! Subtrai o valor da variável B da variável I
IF I>0 THEN ! Caso o valor de I seja maior que zero o programa realiza a rotina de soldagem
normalmente
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_B,VAR_C,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
TriggIO PROG_CURVA_1, MUDA_PROG\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_2_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggIO PROG_CURVA_2, MUDA_PROG_1\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggL alvo, VELOCIDADE, PROG_CURVA_1 \T2:= PROG_CURVA_2, fine, tool0; !
Movimenta o robô até o ponto alvo definido anteriormente realizando a mudança de
programas de soldagem
ELSE
IF I=0 THEN ! Caso o valor de I seja igual a zero o programa conclui a rotina de soldagem
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_B,VAR_C,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
TriggIO PROG_CURVA_1, MUDA_PROG\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_2_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggIO PROG_CURVA_2, MUDA_PROG_1\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggL alvo, VELOCIDADE, PROG_CURVA_1 \T2:= PROG_CURVA_2, fine, tool0; !
Movimenta o robô até o ponto alvo definido anteriormente realizando a mudança de
programas de soldagem
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ELSE
IF I<0 THEN ! Caso o valor de I seja menor que zero o valor de movimentação sofre um
ajuste para executar o comprimento exato do cordão de solda
AJUSTE:=I+VAR_B; ! Calcula o valor de ajuste para a definição do próximo ponto
alvo:= Offs(alvo,-1*AJUSTE,VAR_C,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
TriggIO PROG_CURVA_1, MUDA_PROG\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_2_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggIO PROG_CURVA_2, MUDA_PROG_1\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggL alvo, VELOCIDADE, PROG_CURVA_1 \T2:= PROG_CURVA_2, fine, tool0; !
Movimenta o robô até o ponto alvo definido anteriormente realizando a mudança de
programas de soldagem
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
I:=I-VAR_A; ! Subtrai o valor da variável A da variável I
IF I>0 THEN ! Caso o valor de I seja maior que zero o programa realiza a rotina de soldagem
normalmente

```

```

SetGO DIGIPLUS, PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o
solicitado
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_A,0,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\Wobj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
ELSE
IF I=0 THEN !Caso o valor de I seja igual a zero o programa conclui a rotina de soldagem
SetGO DIGIPLUS, PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o
solicitado
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_A,0,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\Wobj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ELSE
IF I<0 THEN ! Caso o valor de I seja menor que zero o valor de movimentação sofre um
ajuste para executar o comprimento exato do cordão de solda
SetGO DIGIPLUS, PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o
solicitado
AJUSTE:=I+VAR_A; ! Calcula o valor de ajuste para a definição do próximo ponto
alvo:= Offs(alvo,-1*AJUSTE,0,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\Wobj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
I:=I-VAR_B; ! Subtrai o valor da variável B da variável I
IF I>0 THEN ! Caso o valor de I seja maior que zero o programa realiza a rotina de soldagem
normalmente
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_B,-1*VAR_C,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
TriggIO PROG_CURVA_1, MUDA_PROG\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_2_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggIO PROG_CURVA_2, MUDA_PROG_1\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggL alvo, VELOCIDADE, PROG_CURVA_1 \T2:= PROG_CURVA_2, fine, tool0; !
Movimenta o robô até o ponto alvo definido anteriormente realizando a mudança de
programas de soldagem
ELSE
IF I=0 THEN
alvo:= Offs(alvo,-1*VAR_B,-1*VAR_C,0); ! Cria o novo ponto alvo do robô
TriggIO PROG_CURVA_1, MUDA_PROG\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_2_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggIO PROG_CURVA_2, MUDA_PROG_1\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggL alvo, VELOCIDADE, PROG_CURVA_1 \T2:= PROG_CURVA_2, fine, tool0; !
Movimenta o robô até o ponto alvo definido anteriormente realizando a mudança de
programas de soldagem
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ELSE

```

```

IF I<0 THEN ! Caso o valor de I seja menor que zero o valor de movimentação sofre um
ajuste para executar o comprimento exato do cordão de solda
AJUSTE:=I+VAR_B; ! Calcula o valor de ajuste para a definição do próximo ponto
alvo:= Offs(alvo,-1*AJUSTE,-1*VAR_C,0); ! Calcula o valor de ajuste para a definição do
próximo ponto
TriggIO PROG_CURVA_1, MUDA_PROG\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_2_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggIO PROG_CURVA_2, MUDA_PROG_1\Start \GOp:= DIGIPLUS,
PROGRAMA_1_INT; ! Define o valor da saídas digitais conforme o solicitado
TriggL alvo, VELOCIDADE, PROG_CURVA_1 \T2:= PROG_CURVA_2, fine, tool0; !
Movimenta o robô até o ponto alvo definido anteriormente realizando a mudança de
programas de soldagem
GOTO NEXT; ! Direciona o programa para a subrotina de encerramento do ciclo
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDIF ! Encerramento de condição
ENDWHILE ! Limite do ciclo de repetição
NEXT: ! Subrotina de encerramento
WaitRob \InPos; ! Aguarda o robô atingir o ponto de movimentação
SetGO DIGIPLUS,7; ! Desliga todas as saídas digitais
alvo:= Offs(alvo,0,0,150); ! Define um alvo 150 milímetros acima do ponto final de soldagem
MoveL alvo,VELOCIDADE,fine,tool0\WObj:=wobj0; ! Movimenta o robô até o ponto alvo
definido anteriormente
WaitRob \InPos; ! Aguarda o robô atingir o ponto final de movimentação
ENDPROC ! Encerra a rotina
ENDMODULE ! Encerra o módulo

```