

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

RAILSON BORBA DA ROSA

RENOVAÇÃO DE CÉLULAS AUTOMATIZADAS APLICADAS À VEDAÇÃO E  
PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRAS NA LATARIA DE VEÍCULOS

SÃO PAULO

2015

RAILSON BORBA DA ROSA

RENOVAÇÃO DE CÉLULAS AUTOMATIZADAS APLICADAS À VEDAÇÃO E  
PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRAS NA LATARIA DE VEÍCULOS

Trabalho apresentado ao programa de Pós-graduação em Automação e Controle de Processos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Automação e Controle de Processos.

Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

SÃO PAULO

2015

R696r Rosa, Railson Borba da.  
Renovação de células automatizadas aplicadas à vedação e  
proteção contra batida de pedras na lataria de veículos / Railson  
Borba da Rosa. São Paulo: [s.n.], 2015.  
98 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa.

Dissertação (Mestrado Profissional em Automação e Controle  
de Processos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2015.

1. Automação      2. Vedação      3. Células de manufatura  
flexíveis      4. Ergonomia      I. Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.      II. Título

CDU 681.0



### ATA DE EXAME DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Programa: **Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos**

Nome do(a) Aluno(a): **Railson Borba da Rosa**

Nome do Orientador: **Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa**

Nome do Coorientador:

Título do Trabalho: **"Renovação de células automatizadas aplicadas à vedação e proteção contra batida de pedras na lataria de veículos"**

Abaixo o resultado de cada participante da Banca Examinadora

Nome completo dos Participantes Titulares da Banca	Sigla da Instituição	Aprovado / Não Aprovado
Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa – Orientador	IFSP – SJC	APROVADO
Prof. Dr. Eduardo Alves da Costa – Membro Interno	IFSP – SPO	APROVADO
Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas - Membro Externo	USP – EEL	Aprovado
Nome completo dos Participantes Suplentes da Banca	Sigla da Instituição	Aprovado / Não Aprovado
Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa – Membro Interno	IFSP - SJC	
Prof. Dr. Antônio Carlos de Souza – Membro Externo	IFSP - SRT	

Considerando-o:  APROVADO  
 NÃO APROVADO

Assinaturas

\_\_\_\_\_  
Presidente da Banca

\_\_\_\_\_  
Membro Interno

\_\_\_\_\_  
Membro Externo

São Paulo, 23 de junho de 2015

Observações:

30 dias para apresentar a versão final e colaborar com a comissão de mérito do IFSP.  
+ ficha catalográfica

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, em especial minha esposa Luciana Bruckchem e filha Julia Bruckchem da Rosa pela dedicação, pela compreensão e pelo apoio em todos os momentos difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização e conclusão deste trabalho precisou da ajuda, do apoio e da dedicação de muitas pessoas. Gostaria de agradecer principalmente:

Ao Programa de Pós-Graduação em Controle e Automação do IFSP pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa, em especial ao meu orientador Professor Doutor João Sinohara da Silva Sousa pelo suporte e pela compreensão.

Aos colegas do IFSP pelo auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho, em especial a Sérgio Minas Melconian pelo seu suporte.

À GM do Brasil® que permitiu a utilização dos resultados das modificações em sua linha de produção nesse trabalho e aos meus líderes (Rafael Perez, Elísio Sanches, Eric Preuss e Eduardo Falotico) pela orientação e suporte ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

Aos colegas da GM®, tanto do centro global de manufatura (Fei Cai e Gregory Welch) pela orientação e pelo esclarecimento de dúvidas, assim como aos representantes da planta de Gravataí (em especial Daniel Krüger, Lindomar Souza e Adriano Latocheski) pelo fornecimento de informações e pela compilação de dados.

Ao grupo de engenheiros da Fanuc®, em especial Mark Studebaker, Raymond Guzowski e David Lazar pelo suporte e fornecimento de informações.

Por fim, à minha família, especialmente a meu primo Rodrigo Borba da Rosa, a meu irmão Maurício Borba da Rosa e à minha esposa Luciana Bruckchem pelas revisões do texto dessa dissertação.

## RESUMO

As montadoras de automóveis têm tradição em automatizar seus processos buscando maior produtividade, qualidade, flexibilidade e melhorias das condições ergonômicas de operação. Dentre as várias etapas produtivas em uma fábrica desse ramo, as atividades de vedação e de proteção contra batidas de pedras nas carrocerias de veículos são responsáveis pela exposição dos operadores a posturas inadequadas por tempo prolongado. Por isso utiliza-se robôs nessas atividades, buscando, com a evolução das tecnologias e dos recursos disponíveis, minimizar o tempo de operação manual nessas condições. Este trabalho analisa a renovação da automação de três células responsáveis pelos processos de vedação e proteção contra batida de pedra, com aumento de capacidade, flexibilização através da adição de novos modelos, implementação de melhorias ergonômicas e redução de consumo de material.

**Palavras-chaves:** Automação, Vedação, Células de Manufatura Flexíveis, Ergonomia.

## ABSTRACT

The automotive industry has tradition in automate its process to increase the production, improve the quality, flexibility and ergonomic conditions. Among the productive steps of fabrics in this field, the sealing and underbody coating are responsible for operator exposure to bad work posture during excessive time. Because of it, there have been used robots in this kind of activities, trying with the evolution of technology and available resources to minimize the manual operation time under these circumstances. This work analysis the automation replacement of three cells responsible for sealing and underbody coating process, with capacity increase, flexibility by the addition of new models, implementation of ergonomic improvements and material usage reduction.

**Keywords:** Automation, Sealing, Flexible Manufacturing Cells, Ergonomics.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Representação de Linha de Produção .....	20
Figura 2 - Sistema Flexível contra outros Métodos de Automação .....	21
Figura 3 - Funcionamento de Sensor Indutivo .....	23
Figura 4 - Principais Configurações de Sensores Óticos.....	24
Figura 5 - Motor de Indução Trifásico .....	25
Figura 6 - Conjunto de Servo Acionamento.....	26
Figura 7 - Seção de um Motor Síncrono de Ímãs Permanentes.....	27
Figura 8 - Diagrama de Controle de Servo Motor.....	27
Figura 9 - Servo Acionamento de Potência.....	28
Figura 10 - Encoders .....	29
Figura 11 - Princípio de Funcionamento de CLP .....	30
Figura 12 - Cinemática entre Junções de um Robô.....	31
Figura 13 - Descrição de um Ponto em um Plano Cartesiano.....	32
Figura 14 - Tipos de Robôs .....	33
Figura 15 - Esquema de Medição de Vazão por Obstrução de Área.....	34
Figura 16 - Relação de Energia .....	34
Figura 17 - Medidor de Deslocamento Positivo.....	37
Figura 18 - Servo Dispensador Integrado (ISD).....	38
Figura 19 - Linearização da Rotação do Motor de Passo .....	38
Figura 20 - ISD Ciclo de Carga do ISD .....	39
Figura 21 - Ciclo de Descarga do ISD.....	40
Figura 22 - Interface do ISD com o Robô .....	40
Figura 23 - Ciclo de Descarga da Câmara A .....	41
Figura 24 - Ciclo de Descarga da Câmara B .....	41
Figura 25 - Classificação do Espaço de Trabalho .....	42
Figura 26 - Aplicação RULA para Membros Superiores .....	43
Figura 27 - Áreas Produtivas de uma Montadora.....	44
Figura 28 - Processos Realizados na Área de Pintura .....	45
Figura 29 - Mesa de Rolos.....	48
Figura 30 - Sensores da Mesa de Rolos.....	48

Figura 31 - Carroceria sobre <i>Skid</i> .....	49
Figura 32 - Centrador .....	50
Figura 33 - Carroceria no Transportador Aéreo .....	51
Figura 34 - Sistema de Visão.....	53
Figura 35 - Relação Entre Sistemas de Coordenadas .....	54
Figura 36 - Viscosidade do Plastisol em Função da Temperatura .....	55
Figura 37 - Sistema de Bombeamento para Materiais Viscosos .....	56
Figura 38 - Métodos de Aplicação .....	57
Figura 39 - Segmento de Topologia de Rede .....	58
Figura 40 - Fluxo de Operação das Células.....	59
Figura 41 - Célula de Calafetação de Assoalho.....	60
Figura 42 - Célula de Proteção Contra Batida de Pedra .....	61
Figura 43 - Célula de Calafetação Interna .....	62
Figura 44 - Análise Ergonômica das Células .....	66
Figura 45 - Análise de Processo .....	69
Figura 46 - Alvos de uma Carroceria .....	70
Figura 47 - Desempenhos dos Tipos de Filetes.....	71
Figura 48 - Tolerâncias Dimensionais.....	72
Figura 49 - Aplicador Multifuncional .....	73
Figura 50 - Aplicador Inteligente .....	73
Figura 51 - Novas Células de Vedação de Assoalho.....	78
Figura 52 - Novas Células de Proteção contra Batida de Pedras.....	79
Figura 53 - Novas Células de Vedação de Interiores .....	80
Figura 54 - Redução de Pincelamento .....	82

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tempo de Ciclo Antigo Calafetação de Assoalho.....	63
Tabela 2 - Tempo de Ciclo Proteção contra Batida de Pedra.....	64
Tabela 3 - Tempo de Ciclo Vedação Interna.....	64
Tabela 4 - Tempos de Ciclo.....	65
Tabela 5 - Modificações Necessárias para Célula de Vedação de Assoalho.....	75
Tabela 6 - Modificações Necessárias na Célula de Proteção contra Batida de Pedras .....	76
Tabela 7 - Modificações Necessárias na Célula de Vedação de Interiores .....	77
Tabela 8 - Resultados de Capacidade .....	81

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CLP: Controlador Lógico Programável

IDC: Controle de Motor Integrado (*Integrated Driver Controller*)

ISD: Servo Dispensador Integrado (*Integrated Servo Dispenser*)

GM: General Motors

PVC: Policloreto de Vinil

LED: Diodo Emissor de Luz (*Light Emitter Diode*)

LER: Lesão por Esforço Repetitivo

MIT: Motor de Indução Trifásico

MSIP: Motor Síncrono de Ímã Permanente

UCP: Unidade Central de Processamento

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 - Relação de Energia Antes e Depois da Restrição.....	34
Equação 2 - Vazão Mássica em Função de $\beta$ .....	35
Equação 3 - Determinação de Vazão para Fluidos Compressíveis .....	35
Equação 4 - Determinação da Vazão Real .....	36
Equação 5 - Caracterização do ISD .....	39
Equação 6 - Componentes da Matriz de Transformação.....	54
Equação 7 - Viscosidade do Plastisol em Função da Temperatura. ....	55

## SUMÁRIO

RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XI
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS .....	XII
LISTA DE EQUAÇÕES .....	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 MOTIVAÇÃO.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.3 METODOLOGIA.....	18
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	18
2 REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 MODELOS DE PRODUÇÃO .....	20
2.2 SENSORES, TRANSDUTORES E ATUADORES.....	22
2.2.1 SENSORES INDUTIVOS .....	22
2.2.2 SENSORES ÓTICOS.....	23
2.2.3 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO - (MIT).....	25
2.2.4 SERVO ACIONAMENTO .....	26
2.3 CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS (CLPS) .....	29
2.4 ROBÓTICA.....	31
2.5 MEDIDORES DE VAZÃO .....	33
2.6 AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DO ESPAÇO DE TRABALHO.....	42

3	SISTEMA DE PINTURA, TECNOLOGIAS APLICADAS EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO E CÉLULAS ORIGINAIS .....	44
3.1	SISTEMAS DE TRANSPORTE E IDENTIFICAÇÃO DE CARROCERIAS .....	47
3.2	SISTEMA DE CORREÇÃO DE TRAJETÓRIA .....	52
3.3	MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE PLASTISOL .....	55
3.4	CÉLULAS DE VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA ORIGINAL .....	57
3.4.1	CÉLULA DE CALAFETAÇÃO DE ASSOALHO .....	60
3.4.2	CÉLULA DE PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA .....	61
3.4.3	CÉLULA DE VEDAÇÃO INTERNA .....	62
3.5	ANÁLISE DAS RESTRIÇÕES DAS CÉLULAS .....	63
3.5.1	RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE .....	63
3.5.2	LIMITAÇÕES DE FLEXIBILIDADE .....	65
3.5.3	LIMITAÇÕES ERGONÔMICAS.....	65
3.5.4	DESEMPENHO DE CONSUMO DE MATERIAL .....	66
4	RENOVAÇÃO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA .....	67
4.1	REQUISITOS DE PRODUTO.....	67
4.2	ADAPTAÇÃO DAS CÉLULAS .....	67
4.3	AUMENTO DE CAPACIDADE DAS CÉLULAS .....	68
4.3.1	TRANSPORTADOR .....	68
4.3.2	SISTEMA DE VISÃO.....	68
4.3.3	PROCESSO.....	68
4.4	FLEXIBILIZAÇÃO .....	71
4.5	REDUÇÃO DOS IMPACTOS ERGONÔMICOS .....	71

4.5.1 FILETE FINO .....	71
4.5.2 APLICADOR MULTIFUNCIONAL E INTELIGENTE .....	72
4.6 REDUÇÃO DO CONSUMO DE MATERIAL .....	74
4.6.1 FILETE FINO .....	74
4.6.2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO .....	74
4.7 OPÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO.....	74
4.8 NOVA CÉLULA DE VEDAÇÃO DE ASSOALHO .....	78
4.9 NOVA CÉLULA DE PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA .....	79
4.10 NOVA CÉLULA DE VEDAÇÃO DE INTERIORES .....	79
5 RESULTADOS E ANÁLISE.....	81
6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....	83
6.1 PERSPECTIVAS .....	83
REFERÊNCIAS .....	84
ANEXOS .....	86
ANEXO A - UTILIZAÇÃO MÉTODO RULA.....	86
ANEXO B - TOPOLOGIA DE REDE DA PLANTA DO ESTUDO DE CASO .....	87
ANEXO C - TABELA DE ATUALIZAÇÃO PARA OPÇÃO DE REFORMA .....	88
ANEXO D - ROBÔ JOINT-LINKED DÜRR® ECORS16-2®.....	89
ANEXO E - PISTOLA INTELIGENTE DE FILETE FINO .....	91
ANEXO F - DETALHES CÉLULA DE VEDAÇÃO DE ASSOALHOS .....	92
ANEXO G - PISTOLA DE BORRIFAÇÃO SEM ASSISTÊNCIA DE AR.....	94
ANEXO H - DETALHES CÉLULA DE PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRAS...	95
ANEXO I - ROBÔ JOINT-LINKED DÜRR® ECORS30 L16-2® .....	97
ANEXO J - DETALHES CÉLULA DE VEDAÇÃO DE INTERIOES .....	99

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Desde o início da Revolução Industrial empregam-se tecnologias de automação em busca de maior produtividade, flexibilidade e qualidade nos processos produtivos. Assim como a automação, a gestão empresarial através da aplicação de métodos como a manufatura enxuta (*lean manufacturing*) é fundamental para a sobrevivência das empresas no mercado globalizado atual (QUINTELLA, 1998). A concorrência de mercado impulsiona todo o setor industrial, principalmente o automotivo, a buscar soluções flexíveis para minimizar os custos de produção e garantir os padrões de qualidade e de repetitividade.

Devido a esse cenário, aumenta-se a utilização de sistemas robotizados integrados com outras etapas de produção, como manuseio de materiais, identificação de produto, sistemas de posicionamento, entre outros (GROOVER, 2010).

Assim, é possível processar diferentes modelos de produtos com os mesmos equipamentos, permitindo a centralização da manufatura e a maximização dos volumes de produção, melhorando o rateio do investimento para implementar a automação.

Além disso, tem-se os benefícios ergonômicos do uso de sistemas robotizados para as atividades que expõem os operadores a posicionamentos incorretos por tempo excessivo e redução de consumo de materiais.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar o estudo de caso sobre o projeto de renovação da automação nas etapas de vedação e proteção contra batidas de pedras na lataria de veículos. O projeto é composto de quatro metas:

- Elevar a produção de 53 para 63 carrocerias por hora (aumento de 120 mil unidades por ano);
- Flexibilizar as células para introduzir 2 novos modelos (totalizando 5 modelos na planta);
- Reduzir problemas ergonômicos, minimizando a necessidade de acabamento manual das vedações nas carrocerias;
- Reduzir o consumo de material.

### **1.3 METODOLOGIA**

Inicialmente foi realizada uma fundamentação teórica e um levantamento das tecnologias existentes aplicadas em sistemas de pintura, detalhando as utilizadas nos processos abordados no estudo de caso.

Então, para atingir os objetivos desse trabalho foi empregado o método científico dedutivo, analisando as limitações dos equipamentos instalados em função dos objetivos em um levantamento de campo.

O primeiro aspecto abordado foi a capacidade das células com relação a medições dos tempos de ciclo de cada etapa dos processos e identificação das restrições. Posteriormente, foram analisadas as limitações dos equipamentos instalados no tocante à quantidade de memória dos dispositivos para comportarem novos modelos. Por fim, foram verificados os motivos para a intervenção manual e as oportunidades para redução de consumo de material.

A partir das informações obtidas com o levantamento de campo, foram estabelecidas propostas de soluções baseadas na fundamentação teórica e no levantamento de tecnologias aplicadas na área de vedação e proteção contra batida de pedra.

Essas propostas foram base para a implementação e posterior comprovação dos resultados no campo, empregando o método comparativo entre objetivos e resultados obtidos.

### **1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho aborda as tecnologias existentes e os componentes utilizados na automação de células de manufatura na Revisão da Literatura e Fundamentação Teórica (capítulo 2).

Posteriormente, é realizada a apresentação do processo de uma montadora automotiva, abordando o sistema de pintura de carrocerias, as tecnologias aplicadas nas etapas de vedação e uma descrição das células originais, analisando-as e discutindo as suas limitações no Sistema de Pintura, Tecnologias Aplicadas em Sistemas de Vedação e Células Originais (capítulo 3).

As propostas de soluções para essas limitações e opções de implementação utilizando as tecnologias apresentadas no capítulo 2 e 3 são desenvolvidas na Renovação do Sistema de Vedação e Proteção contra Batida de Pedra (capítulo 4).

A apresentação e discussão sobre os resultados desse projeto é feita em Resultados e Análise (capítulo 5) e finalmente conclui-se o trabalho resumindo qualitativamente as

discussões e apontando diretrizes para novos projetos de mesma natureza na Conclusão e Perspectivas (capítulo 6).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MODELOS DE PRODUÇÃO

As etapas produtivas podem ser integradas de forma a minimizar o manuseio de materiais e maximizar a utilização de recursos (GROOVER, 2010); como exemplo prático disso, pode-se citar a sinergia na utilização de estufas não somente para secar as tintas, mas também os adesivos estruturais e demais materiais que precisam receber energia térmica para sua ativação, sofrendo modificações que lhes conferirão as características finais necessárias para o produto.

A organização desses passos em sequência caracteriza o princípio de manufatura em linha de produção, que é indicado para a fabricação de grandes quantidades de produtos similares e cujo processo de manufatura pode ser dividido em etapas (GROOVER, 2010), representadas na Figura 1.

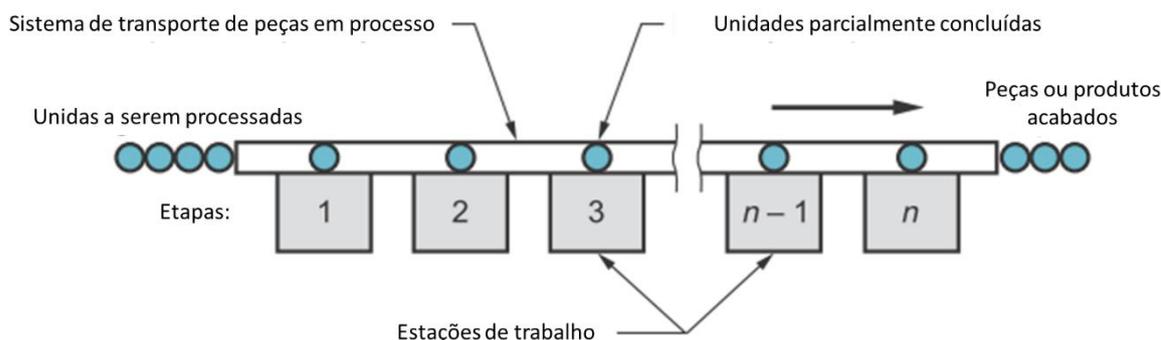


Figura 1 - Representação de Linha de Produção (GROOVER, 2010)

Em função dos custos dos equipamentos necessários para esses processos, pode-se utilizar a estratégia de produzir diferentes produtos na mesma planta, maximizando os volumes e, portanto, o rateio do investimento inicial. Com o aumento da diversidade de modelos oferecidos aos consumidores, o nível de personalização e variação de opcionais pode inviabilizar a formação de lotes de produção, requerendo que os equipamentos sejam projetados de forma flexível para absorverem as particularidades de cada versão.

Para determinar qual método de automação é o melhor a ser aplicado para um dado processo de produção, é necessário comparar a diversidade de modelos ou estilos de peças por ano com o volume anual de produção requerida, como demonstrado na Figura 2.

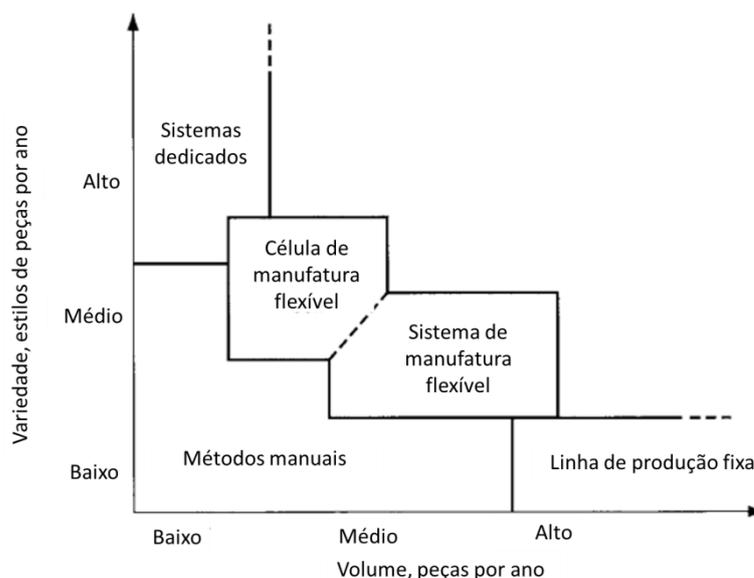


Figura 2 - Sistema Flexível contra outros Métodos de Automação (GROOVER, 2010)

Nos sistemas fixos de automação, as etapas de processo e sequência de execução são configuradas fisicamente, o que permite alto volume de produção. Porém, não são facilmente modificáveis. Já os sistemas com automação programável são projetados para permitir a leitura de instruções ou programas que determinam o processo a ser executado, admitindo, portanto, uma certa variabilidade de produtos. Os sistemas flexíveis, por sua vez, possuem esses mesmos recursos de programação mas com a capacidade de identificar automaticamente os modelos a serem produzidos, sendo recomendados, então, para operações com alta variedade de opcionais.

Para viabilizar a implementação de automação flexível no ramo automobilístico, é necessário direcionar soluções de alguns problemas específicos, como: o transporte e o posicionamento de carrocerias, a necessidade de garantir a aplicação dos materiais na posição correta, o desenvolvimento de um sistema de bombeamento e medição que permita o controle de vazão para materiais viscosos e abrasivos, assim como métodos e dispositivos de aplicação para esses materiais que permitam a implementação deles como atuadores em robôs. Nos capítulos que seguem, serão discutidas as tecnologias existentes para cada um desses problemas e métodos para avaliação ergonômica do espaço de trabalho com operações manuais.

## **2.2 SENSORES, TRANSDUTORES E ATUADORES**

Sensores são dispositivos que convertem estímulos físicos ou variáveis de interesse em sinais que possam ser medidos, como tensão ou corrente elétrica. Existem vários tipos desses dispositivos e os princípios de funcionamento dependem das grandezas a serem medidas, por exemplo, a posição de um objeto que deve ser identificada por sensores mecânicos, indutivos, capacitivos, óticos, etc. (GROOVER, 2010).

Além do princípio de atuação, os sensores podem ser classificados em discretos ou analógicos, sendo que o discreto emite um sinal que pode assumir um valor limitado (como uma chave, por exemplo) e um sensor analógico pode assumir qualquer valor dentro da sua faixa de operação.

Já atuadores são dispositivos que convertem os sinais de controle em ações físicas, normalmente mecânicas como um motor elétrico, que converte energia elétrica em movimento rotacional do seu eixo.

### **2.2.1 SENSORES INDUTIVOS**

Para detectar o posicionamento de objetos metálicos, normalmente utiliza-se sensores de proximidade indutivos, que são componentes eletrônicos capazes de detectar a aproximação de um objeto sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador, o que aumenta a vida útil do sensor por não possuir peças móveis sujeitas a desgastes mecânicos, não necessitam de energia mecânica para operar e são imunes à vibração e a choques mecânicos.

Esses dispositivos trabalham pelo princípio da indução eletromagnética, funcionam de maneira similar aos enrolamentos primários e secundários de um transformador. O sensor tem um oscilador e uma bobina; juntos produzem um campo magnético fraco; quando um objeto metálico entra no campo, pequenas correntes são induzidas na superfície do objeto. Devido a essa interferência com o campo magnético, energia é extraída do circuito oscilador do sensor, diminuindo a amplitude da oscilação e causando uma queda de tensão (voltagem). O circuito de detecção do sensor percebe a queda de tensão do circuito do oscilador e responde mudando o estado do sensor (LIMA, 2008), conforme representado na Figura 3.

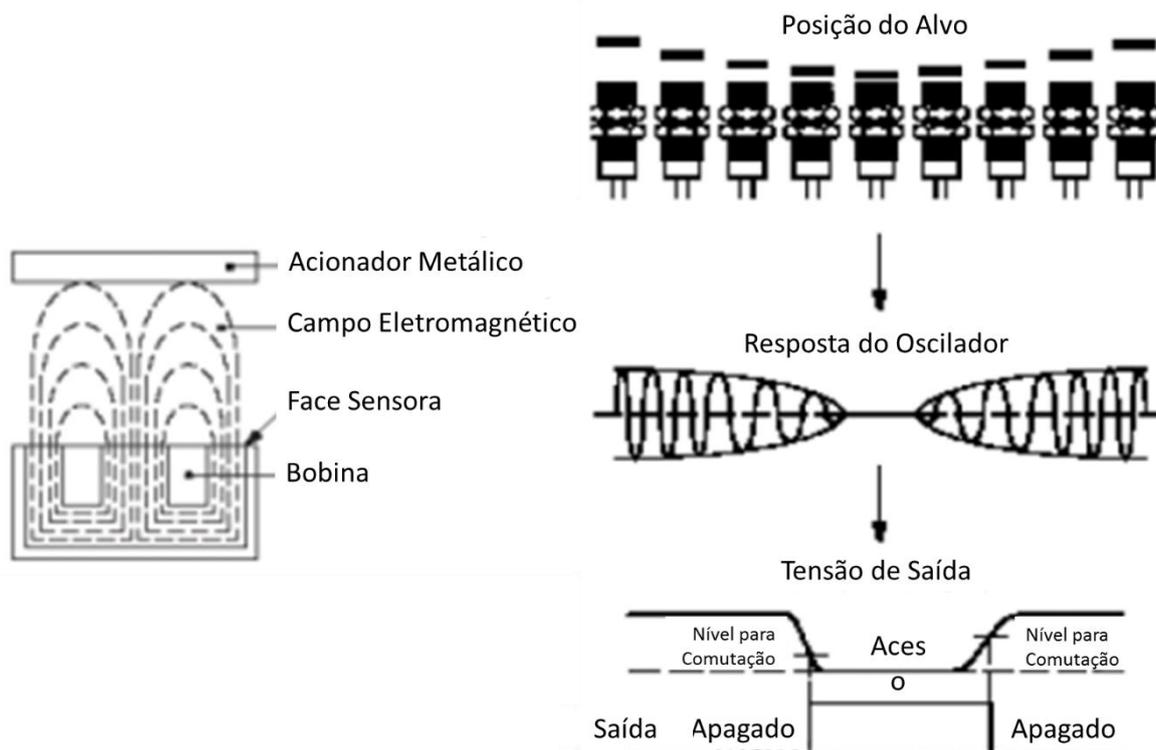


Figura 3 - Funcionamento de Sensor Indutivo (LIMA, 2008)

### 2.2.2 SENSORES ÓTICOS

Os sensores óticos são indicados para diversas situações como, por exemplo, quando o contato físico com o objeto não é possível ou quando o objeto é de um material incapaz de ser detectado por outro tipo de sensor.

Possuem um princípio de funcionamento baseado num feixe luminoso (WERNECK, 1996), em geral infravermelho e que pode ser polarizado, gerado por um dispositivo emissor e captado por outro dispositivo receptor. A presença do objeto no caminho do raio infravermelho possibilita ou impede, dependendo do tipo de sensor, a recepção deste por parte do receptor. Assim, o controlador monitora se o objeto se encontra ou não presente no caminho da luz.

Nos dispositivos mais comuns, o emissor consiste em um diodo emissor de luz (*Light Emitter Diode*, LED) infravermelho polarizado adequadamente, o qual emite um raio de um determinado espectro de frequências. O dispositivo receptor, em geral, consiste em um fototransistor, que quando está polarizado corretamente fica em estado de corte ou saturação dependendo se sua base está sendo ou não iluminada.

As principais configurações físicas dos transdutores óticos, desconsiderando qual seja a fonte de emissão e o tipo de dispositivo receptor, são:

- Sensores de barreira: Neste tipo de transdutor, o emissor e o receptor encontram-se em dois dispositivos diferentes. Eles devem ser colocados em perfeito alinhamento de maneira tal que a luz emitida chegue ao receptor. Quando um objeto não transparente se interpõe entre o emissor e o receptor, a luz obviamente não chega, desativando o receptor, e entregando o estado correspondente na saída.
- Sensores de reflexão: Neste tipo de transdutor, emissor e receptor de luz encontram-se no mesmo dispositivo, apontando paralelamente. Para que o raio de luz infravermelha emitido pelo emissor chegue ao receptor, é necessário que ele se reflita em uma superfície refletora posicionada na frente do dispositivo e de forma perpendicular a este. Esta superfície pode ser um simples espelho, mas este exige uma perfeita perpendicularidade entre sua superfície e o raio emitido para ser refletido paralelamente.
- Sensores de reflexão difusa: Neste tipo de transdutor, o emissor de luz e o receptor também se encontram no mesmo dispositivo, normalmente muito próximos um do outro e apontando paralelamente. Quando uma superfície clara ou brilhante (que não absorva a luz) é colocada bem na frente do dispositivo, o feixe emitido é refletido nele e retorna para ser captado pelo receptor, saturando assim o fototransistor. Estes dispositivos não exigem a presença de uma superfície espelhada para refletir a luz, o que é feito pelo próprio objeto (figura 4).

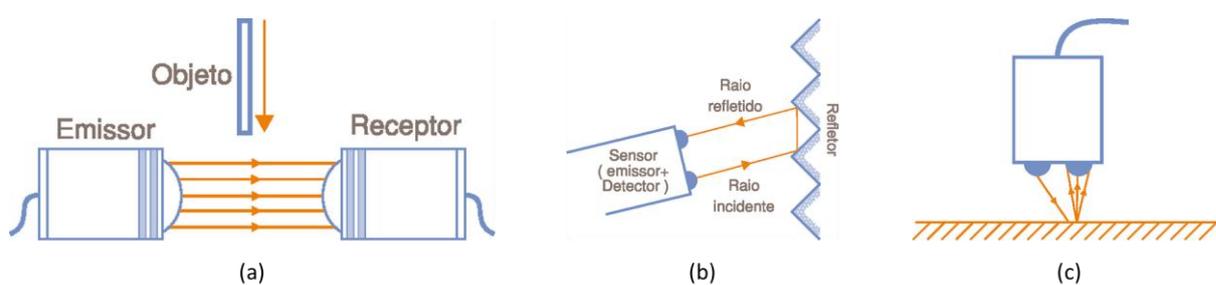


Figura 4 - Principais Configurações de Sensores Óticos: (a) Barreira, (b) Reflexão e (c) Reflexão Difusa (WERNECK, 1996)

### 2.2.3 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO - (MIT)

Esse tipo de motor é uma máquina rotativa e corrente alternada assíncrona (GUEDES, 1994), composta basicamente de duas partes: estator e rotor. O espaço entre o estator e o rotor é denominado entreferro. O estator constitui a parte estática e o rotor a parte móvel.

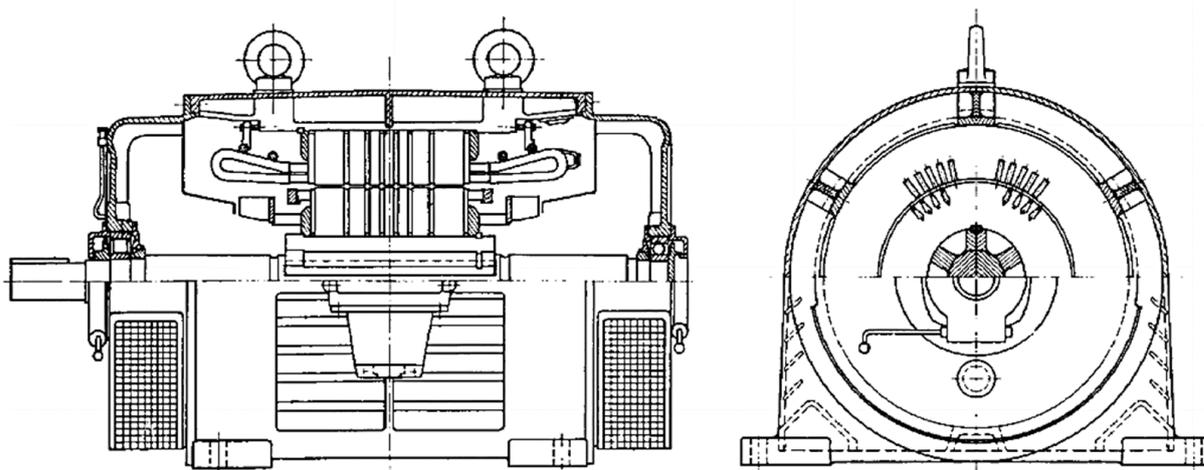


Figura 5 - Motor de Indução Trifásico (GUEDES, 1994)

O estator é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente ou de aço silício para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e histerese. Estas chapas têm o formato de um anel com ranhuras internas (vista frontal) de tal maneira que possam ser alojados enrolamentos, os quais por sua vez, quando em operação, deverão criar um campo magnético.

O rotor também é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente, com o formato também de anel (vista frontal) e com os enrolamentos alojados longitudinalmente.

O estator e rotor são montados solidários, com um eixo comum aos “anéis” que os compõem. O estator é constituído de um enrolamento trifásico distribuído uniformemente em torno do corpo da máquina, para que o fluxo magnético resultante da aplicação de tensão no enrolamento produza uma forma de onda espacialmente senoidal. A onda eletromagnética produzida pelo enrolamento é uma função senoidal do espaço e do tempo.

A aplicação de tensão alternada nas bobinas irá produzir um campo magnético variante no tempo que devido à distribuição uniforme do enrolamento irá gerar um campo magnético resultante girante na velocidade proporcional à frequência da rede trifásica. O fluxo magnético

girante atravessará o entreferro e por ser variante no tempo induzirá tensão alternada no enrolamento trifásico do rotor. Como os enrolamentos do rotor estão curto circuitados essa tensão induzida fará com que circule uma corrente pelo enrolamento do rotor, o que por consequência irá produzir um fluxo magnético no rotor que tentará se alinhar com o campo magnético girante.

#### 2.2.4 SERVO ACIONAMENTO

O servo acionamento é um conjunto formado por dois equipamentos principais: o servo motor e o servo conversor, conforme Figura 6. Esse conjunto possui a capacidade de seguir fielmente a referência, que pode ser velocidade, torque ou posição com boa repetitividade. (STEPHAN, 2004).

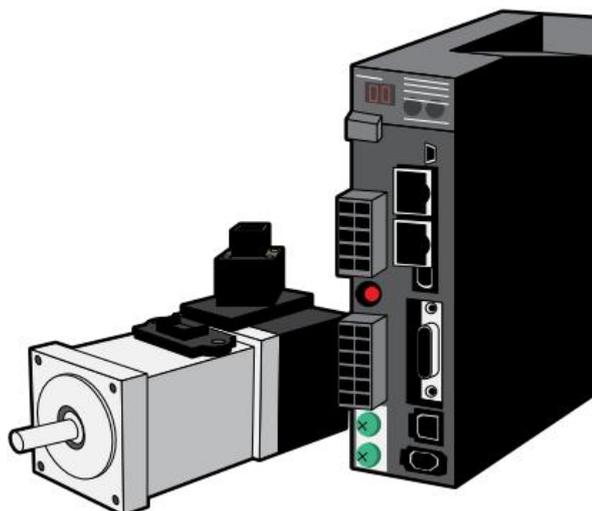


Figura 6 - Conjunto de Servo Acionamento (STEPHAN, 2004)

O servo conversor é um amplificador eletrônico que monitora o retorno de posição do sistema e ajusta continuamente os desvios; basicamente ele recebe o sinal de comando do sistema de controle, amplifica-o e o transmite por meio de uma corrente elétrica ao servo motor de forma a produzir os movimentos proporcionais ao sinal de controle. Com um sensor de posição construído a partir de sensores indutivos ou óticos apresentados nos capítulos 2.2.1 e 2.2.2, ele compara o estado atual do motor com o que deveria estar e altera o valor de tensão ou largura de pulsos para corrigir a posição. Por fim, para o acionamento mecânico, pode-se utilizar um motor elétrico de corrente contínua, um motor elétrico de corrente alternada ou até mesmo um sistema hidráulico.

Um tipo de acionamento é o motor elétrico síncrono com ímãs permanentes (MSIP), sendo que eles podem ser considerados como parte do entreferro em função de sua alta resistividade elétrica e permeabilidade magnética similares a do ar.

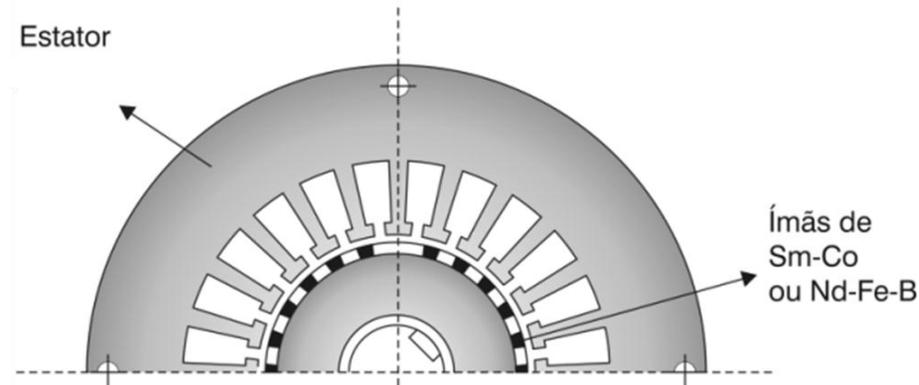


Figura 7 - Seção de um Motor Síncrono de Ímãs Permanentes (MSIP) (STEPHAN, 2004)

As correntes de armadura de um Motor Síncrono de Ímã Permanente (MSIP) podem ser ajustadas por meio de uma malha de controle com tempo de resposta bem menor que as constantes de tempo mecânicas do sistema. Neste caso, pode-se admitir que as correntes de armadura são impostas à máquina.

O controle da motorização elétrica pode ser efetuado por um sistema microcontrolado que armazena as instruções do programa de controle em memória EEPROM (memória programável e eletricamente apagável). Esse sistema microcontrolado é responsável pelo controle do acionamento de potência do servo motor, conforme Figuras 8 e 9.

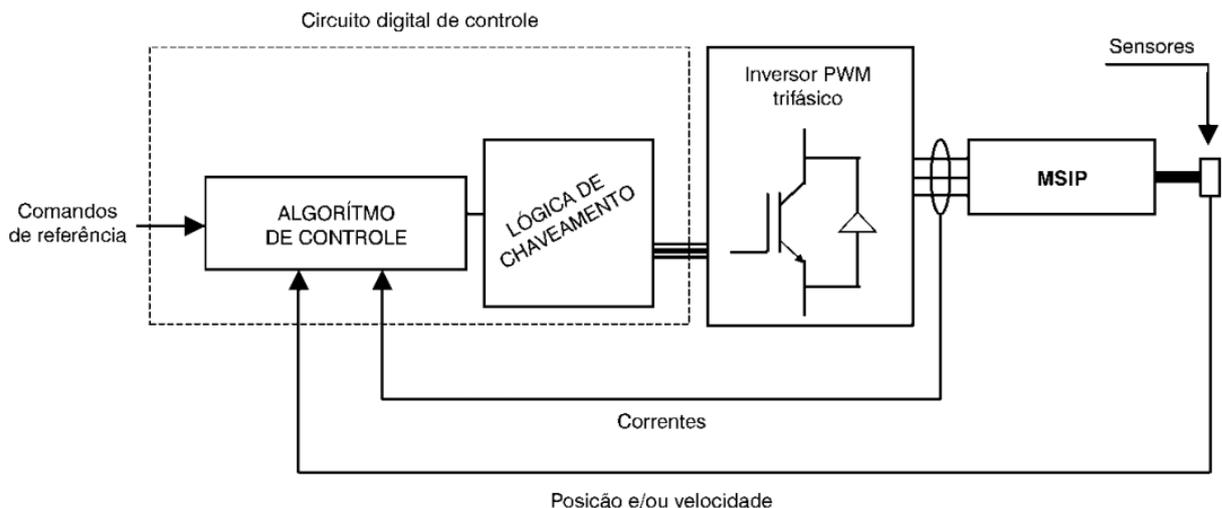


Figura 8 - Diagrama de Controle de Servo Motor (STEPHAN, 2004)

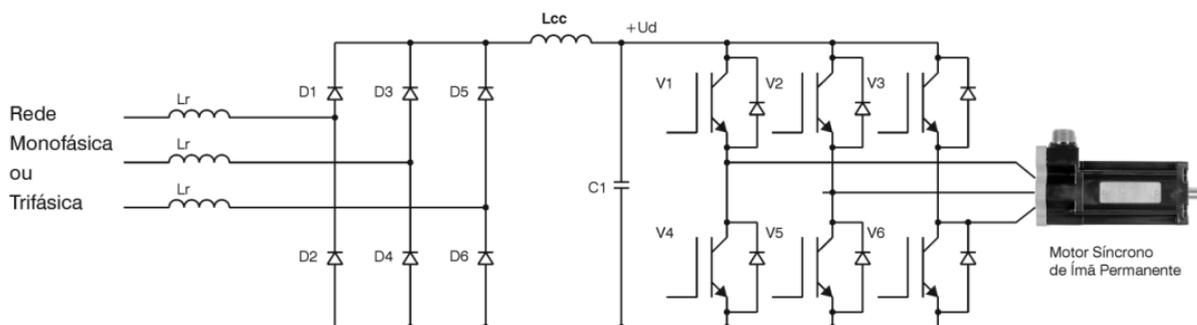


Figura 9 - Servo Acionamento de Potência (STEPHAN, 2004)

Para o monitoramento da posição do servo motor, pode-se utilizar encoders, que basicamente podem ser de dois tipos: incremental, que apresenta construção mais simples na qual os pulsos são gerados de duas marcações radiais igualmente espaçadas (A e B na Figura 10a) permitindo a determinação da posição pela contagem dos pulsos e o sentido de rotação pelo defasamento entre esses pulsos; e o absoluto, no qual cada posição do disco corresponderá a uma combinação de sinais (A1, A2, ..., A6 na Figura 10b). Em geral os sinais referentes à posição nesses dois tipos de encoders podem ser gerados por sensores indutivos ou óticos, discutidos nos capítulos 2.2.1 e 2.2.2, que percebem a passagem pelas marcas dos discos. Comparando o funcionamento dos dois tipos de encoders, no caso de falta de energia, o encoder incremental requer a passagem pela marca de zero para reiniciar a contagem após o religamento, já o absoluto pode disponibilizar a informação da posição logo que é energizado, uma vez que cada posição tem um código único e não precisa calcular com base nas referências armazenadas e na quantidade de pulsos adicionados.

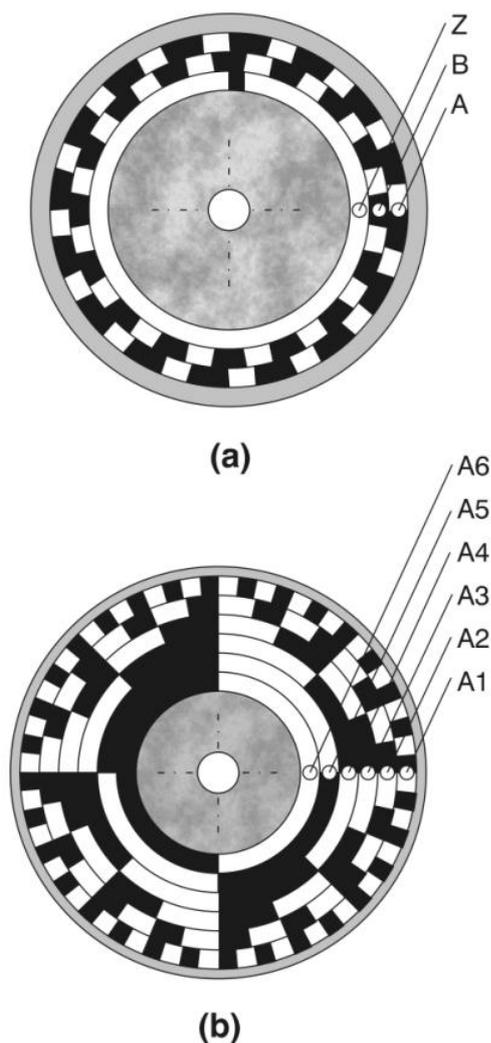


Figura 10 - Encoders: (a) Incremental, (b) Absoluto (STEPHAN, 2004)

### 2.3 CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS (CLPS)

O nível de automação programável é descrito por Groover (2010, p. 889) como um sistema que introduz equipamentos programáveis conferindo a ele as seguintes características: alto investimento em equipamentos programáveis, menor taxa de produção do que os sistemas de automação fixa, habilidade de absorver as variações de produto por meio de reprogramação e normalmente aplicados à produção de lotes por modelo. Assim, novos programas podem ser desenvolvidos para diferentes peças ou produtos, sendo que esse recurso introduziu a capacidade de processamento computacional na indústria através de controladores lógico programáveis (CLPs).

O primeiro conceito desses controladores foi inventado por Dick Morley em 1968, buscando atender às especificações de um grupo de engenheiros da GM. Elas estabeleciam que

o controlador deveria ser de fácil programação e reprogramação, preferencialmente na planta, de fácil manutenção, confiável em ambiente fabril, menor que o sistema equivalente feito com relês e com custo competitivo.

O funcionamento desse dispositivo baseia-se numa varredura do barramento de entrada, execução da lógica programada, considerando a leitura do barramento de entrada e as condições do barramento de saída, atualizado esse último com o resultado da execução da lógica, iniciando-se uma nova varredura, conforme Figura 11.

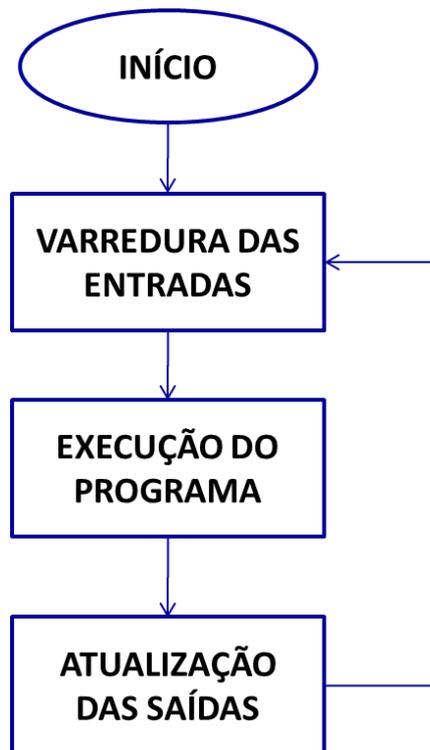


Figura 11 - Princípio de Funcionamento de CLP (MIAZAKI, 2010)

Esses controladores podem ser compostos por: módulos de entrada/saída (E/S), processador, memória de programa supervisor, memória de usuário, memória de dados, fonte de alimentação, luzes indicadoras (dependendo do tipo do CLP) e terminal de programação.

Desses componentes, os módulos de entrada recebem os sinais a partir de dispositivos ou componentes externos, podendo ser digitais (discretos) ou analógicos. Os pontos de entrada digitais reconhecem dois estados: ligado ou desligado, enquanto os pontos de entrada analógicos reconhecem vários estados.

Já os módulos de saída são responsáveis por produzir sinais para acionar dispositivos ou componentes do sistema de controle (atuadores), também podem ser digitais (discretos) ou analógicos.

A lógica que gere esse conjunto de componentes fica armazenada em memórias: memória do programa supervisor que armazena o programa de controle do CLP e não pode ser modificada pelo usuário, memória do usuário que armazena o programa com a lógica de operação do CLP e a memória de dados que armazena os valores do programa do usuário, tais como a imagem das entradas e saídas do CLP (MIAZAKI, 2010).

## 2.4 ROBÓTICA

Os robôs são dispositivos utilizados em células de produção flexíveis e projetados para substituir o homem nas operações insalubres, pesadas, etc. Esses equipamentos são compostos basicamente de elos equivalentes aos ossos de um ser humano e junções que seriam similares às articulações, tendo uma das extremidades engastada e na outra a ferramenta que é chamada de efetuador ou *tool*, sendo que é ela que realizará de fato o trabalho de solda ou aplicação de material, por exemplo.

A movimentação dessas junções é realizada através da rotação e do controle de posição das articulações utilizando o servo acionamento discutido no Capítulo 2.2.4, conferindo aos robôs mobilidade.

Através do mapeamento da dinâmica e cinemática desse conjunto de elos e junções, é possível estabelecer a relação entre seus eixos e determinar o quanto se precisa movimentar e em qual sentido cada uma de suas junções se movimenta para levar o efetuador para a posição desejada, conforme representado na Figura 12.

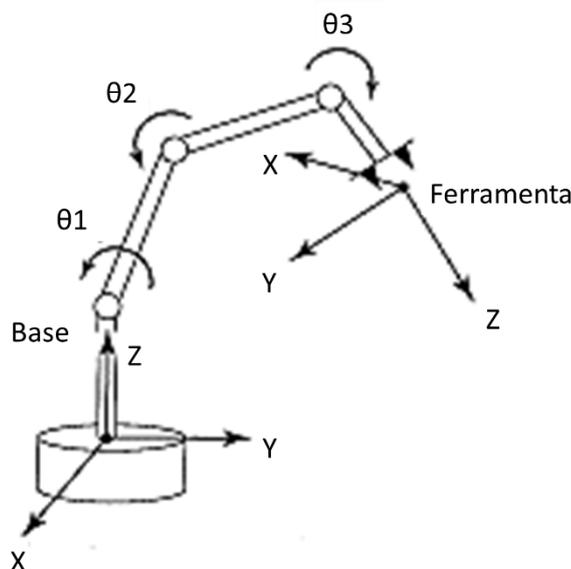


Figura 12 - Cinemática entre Junções de um Robô (CRAIG, 2005)

A caracterização da cinemática de robôs é realizada através da representação e do mapeamento de cada segmento articulado em relação a um sistema de coordenadas, permitindo o levantamento da relação desses segmentos (CRAIG, 2005).

Um exemplo de representação em um sistema de coordenadas é a descrição de um ponto em um plano cartesiano com a referência das distâncias nos respectivos eixos “X”, “Y” e “Z” conforme ilustrado na Figura 13.

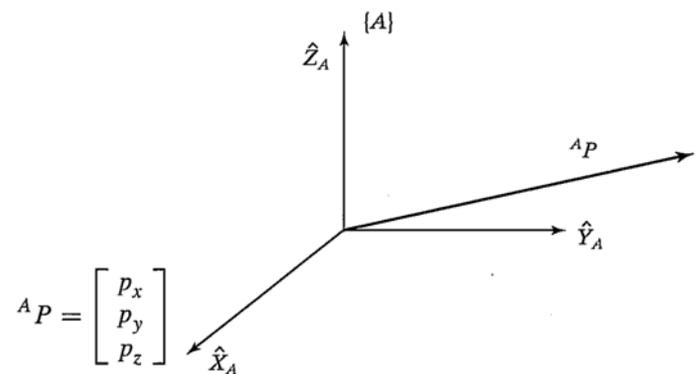


Figura 13 - Descrição de um Ponto em um Plano Cartesiano (CRAIG, 2005)

Em muitas aplicações práticas, a programação de robôs é realizada pela simples gravação da localização de pontos que eles devem percorrer durante a sua trajetória em relação a um sistema de coordenadas, que normalmente é escolhido de acordo com o tipo de robô e aplicação.

Além dessas posições por onde o robô deve passar, descreve-se também com qual velocidade e qual o tipo de trabalho ele deve realizar com o efetuator.

Apesar de serem desenvolvidos para aplicação em automação flexível, os robôs podem ter características construtivas específicas conforme as necessidades de processo, influenciando nos graus de liberdade e na forma de movimentação. As configurações básicas disponíveis no mercado são o polar, o cilíndrico, o cartesiano, o braço articulado e o SCARA (*Selectively Compliant Assembly Robot Arm*), ilustradas na Figura 14. Cada configuração tem suas vantagens e desvantagens, devendo ser selecionadas conforme as necessidades da aplicação (CRAIG, 2005).

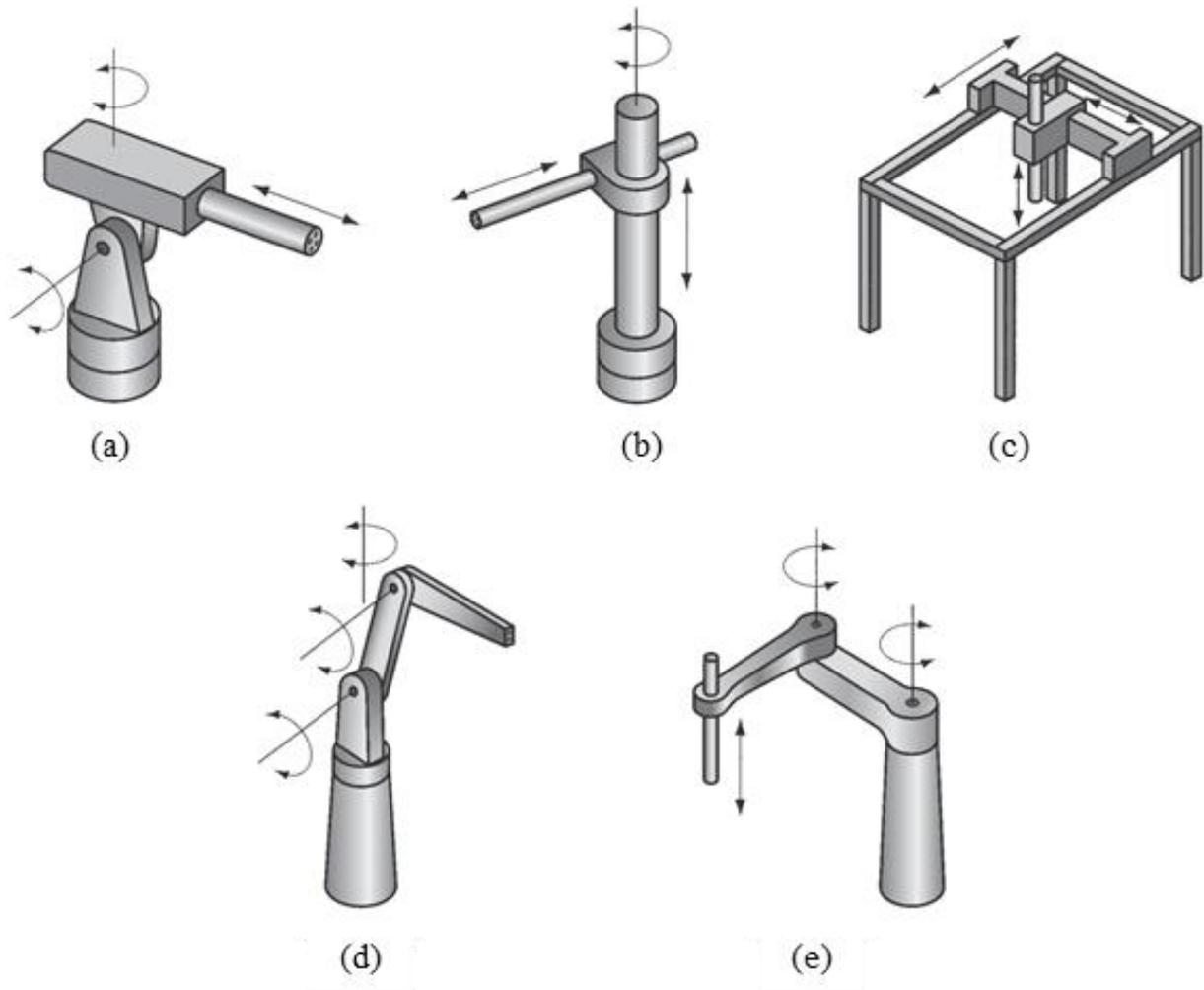


Figura 14 - Tipos de Robôs: (a) polar, (b) cilíndrico, (c) cartesiano, (d) braço articulado e (e) SCARA (GROOVER, 2010)

## 2.5 MEDIDORES DE VAZÃO

Conforme França (2007), a medição de vazão serve para determinar a massa ou o volume de um fluido que escoar em uma tubulação ou um canal em um intervalo de tempo. Normalmente está intimamente ligada às características do material que será medido, como viscosidade, abrasividade, temperatura, grau de impurezas, etc.

Existem vários métodos de medição de vazão empregados no mercado, sendo que eles são aplicados conforme as características de vazão do material que será medido, por exemplo, para gases e fluidos com alta compressibilidade normalmente vincula-se o valor de vazão mássica medido com o valor da temperatura, sendo que alguns instrumentos inclusive medem de forma a compensar a sua influência na densidade do gás em questão.

Dentre os métodos de medição de vazão disponíveis, o mais comum é o de obstrução de área, que consiste em introduzir na tubulação uma restrição ao fluido que apresentará uma pressão a jusante e a montante dessa obstrução, sendo que a vazão mássica ou volumétrica é proporcional à raiz quadrada da diferença entre essas duas pressões, ilustrada na Figura 15.

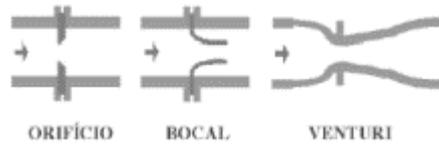


Figura 15 - Esquema de Medição de Vazão por Obstrução de Área (FRANÇA, 2007)

Para determinar essa medição, aborda-se primeiramente um caso especial onde o fluido é incompressível, não viscoso, o escoamento ideal e unidimensional. Com essas condições de contorno, é possível estabelecer a seguinte relação de conservação de energia representada na Figura 16:

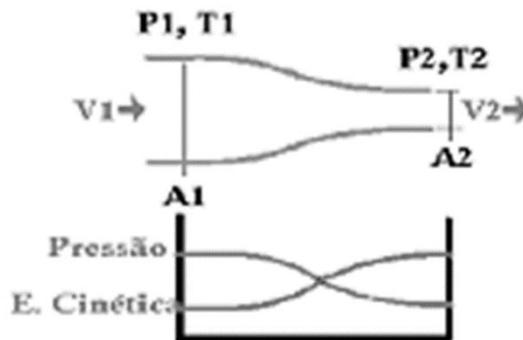


Figura 16 - Relação de Energia (FRANÇA, 2007)

Considerando  $m$  = massa do fluido e  $\rho$  sua densidade, pode-se expressar matematicamente a relação ilustrada acima pela Equação (1):

$$\dot{m}_{\left[\frac{kg}{s}\right]} = \left(\rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]} \cdot A_{\left[m^2\right]}\right)_1 = \left(\rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]} \cdot A_{\left[m^2\right]}\right)_2 \quad (1)$$

Determinada a relação entre os diâmetros da tubulação a montante ("D") e a jusante ("d") da restrição, é possível isolar a vazão mássica, deixando-a em função da área a jusante, da relação entre diâmetros e da diferença de pressões, conforme Equação (2):

$$\left( P_{\left[\frac{kgf}{m^2}\right]} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]}^2 \right)_1 = \left( P_{\left[\frac{kgf}{m^2}\right]} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]}^2 \right)_2$$

$$\xrightarrow{\text{Resulta}} \dot{m}_{\tau,i \left[\frac{kg}{s}\right]} = \frac{A_{2[m^2]}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P_{\left[\frac{kgf}{m^2}\right]}}; \beta = \frac{d_{[m]}}{D_{[m]}} \quad (2)$$

Entretanto os fluidos reais são compressíveis e, portanto, requerem uma correção na equação apresentada acima. Considerando as premissas simplificadoras de que o escoamento seja unidimensional e em regime permanente, o fluido comporta-se como um gás perfeito e o escoamento é isoentrópico, ou seja, sem atrito e sem troca de calor.

Com essas considerações, faz-se uso das seguintes relações da termodinâmica para refinar a aproximação do cálculo da vazão e introduzir um fator de correção para a expansão do fluido, conforme Equação (3).

$$h = C_p \cdot T; K = \frac{C_p}{C_v}$$

$$C_p = \frac{R \cdot K}{(K - 1)}$$

$$\left( \frac{P_1 \left[\frac{kgf}{m^2}\right]}{P_2 \left[\frac{kgf}{m^2}\right]} \right)^{\frac{1}{K}} = \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right); \left( \frac{P_2 \left[\frac{kgf}{m^2}\right]}{P_1 \left[\frac{kgf}{m^2}\right]} \right)^{\frac{K-1}{K}} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$\dot{m}_{\left[\frac{kg}{s}\right]} = \left( \rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]} \cdot A_{[m^2]} \right)_1 = \left( \rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]} \cdot A_{[m^2]} \right)_2$$

$$\left( h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]}^2 \right)_1 = \left( h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{\left[\frac{m}{s}\right]}^2 \right)_2$$

$$\dot{m}_{T,c \left[\frac{kg}{s}\right]} = A_{2[m^2]} \cdot \frac{\left\{ 2 \cdot k \cdot P_1 \left[\frac{kgf}{m^2}\right] \cdot \rho_1 \cdot r^{\frac{2}{k}} \cdot \left[ 1 - r^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^2}{\left\{ (k - 1) \cdot \left( 1 - r^{\frac{2}{k}} \cdot \beta^4 \right) \right\}^2} = Y \cdot \frac{A_{2[m^2]}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \underbrace{\sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta P_{\left[\frac{kgf}{m^2}\right]}}}_{\dot{m}_{T,c \left[\frac{kg}{s}\right]}}$$

$$r = \left( \frac{P_2 \left[\frac{kgf}{m^2}\right]}{P_1 \left[\frac{kgf}{m^2}\right]} \right)$$

Fator Expansão

$$Y = \left[ r^{2/k} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{\left(1 - r^{\frac{k-1}{k}}\right)}{(1-r)} \cdot \frac{(1-\beta^4)}{(1-r^{\frac{2}{k}} \cdot \beta^4)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Apesar de ser uma equação melhorada, ela ainda não é totalmente fiel à massa real, sendo ainda necessário corrigir as aproximações por meio da determinação de um fator para compensar as premissas simplificadoras, chamado de coeficiente de descarga (FRANÇA, 2007), conforme Equação (4):

$$\begin{aligned} \dot{m}_{REAL} \left[ \frac{kg}{s} \right] &= C_d \cdot Y \cdot \frac{A_2 [m^2]}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta P \left[ \frac{kgf}{m^2} \right]} \\ C_d &= \frac{\dot{m}_{Real\_Incomp.} \left[ \frac{kg}{s} \right]}{\dot{m}_{Teo\_Incomp.} \left[ \frac{kg}{s} \right]} = f(\beta, Re) < 1 \\ Y &= \frac{\dot{m}_{Real\_Comp.} \left[ \frac{kg}{s} \right]}{\dot{m}_{Teo\_Incomp.} \left[ \frac{kg}{s} \right]} = \frac{\dot{m}_{Real\_Comp.} \left[ \frac{kg}{s} \right]}{C_d \cdot \dot{m}_{Teo\_Incomp.} \left[ \frac{kg}{s} \right]} = g(\beta, k, r) \leq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

Para o dimensionamento desse tipo de sensores, é necessário considerar a norma técnica de instalação como ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Essa traz referências dos coeficientes de descargas e critérios de especificação para os medidores baseados nesse princípio de operação.

Entretanto, como pode ser identificado pelas equações que regem o método de obstrução de área, o valor medido tem grande dependência da densidade e viscosidade do material, sendo inviável a sua utilização com materiais que não possuem um fluxo isoentrópico. Uma alternativa são medidores que utilizam o deslocamento positivo provocado pelo fluido como princípio de operação, por exemplo, o de hélice ilustrado na Figura 17.

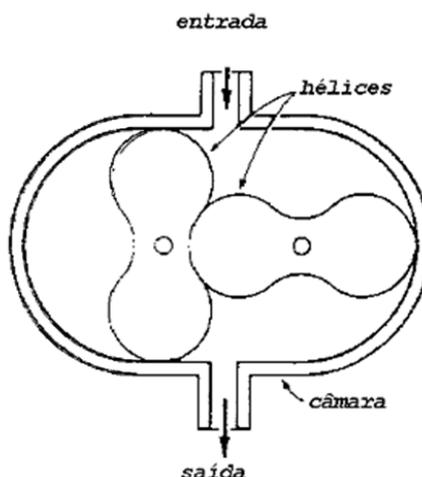


Figura 17 - Medidor de Deslocamento Positivo (SCHNEDCER, 2011)

Este tipo de medidor é uma boa alternativa quando se está interessado no volume sem preocupar-se com a perda de carga introduzida no sistema.

Seu funcionamento é simples, o fluído faz as hélices girarem acionando um sensor indutivo apresentado no Capítulo 2.2.2 para gerar um pulso quando elas passam por determinada região. A cada volta dada, um volume específico passa da entrada para a saída, contabilizando-se a quantidade de pulsos por unidade de tempo (frequência) e multiplicando-a pelo volume característico do medidor obtém-se a vazão volumétrica.

Entretanto esse medidor provoca uma perda de carga na linha, que pode ser influenciada pela temperatura se o fluído a ser medido for de alta viscosidade, provocando oscilações de pressão no ponto de aplicação e nas próprias medições. Uma forma de contornar o problema e minimizar o acoplamento entre a precisão de volume dispensado e as flutuações de temperatura e viscosidade do material é através do controle da temperatura do fluido dispensado de forma a mantê-la estável e tornar o controle de vazão mais preciso frente às variações de intempéries.

Uma outra abordagem é de controlar diretamente o volume dispensado, sem introduzir perda de carga na linha. Essa abordagem pode ser implementada pelo deslocamento de uma haste que empurra o volume acondicionado dentro de um recipiente fechado. Esse sistema possui um servo motor que controla o deslocamento de um pistão empurrando o volume do material, sem conversões ou métodos indiretos, como pode ser verificado na Figura 18.

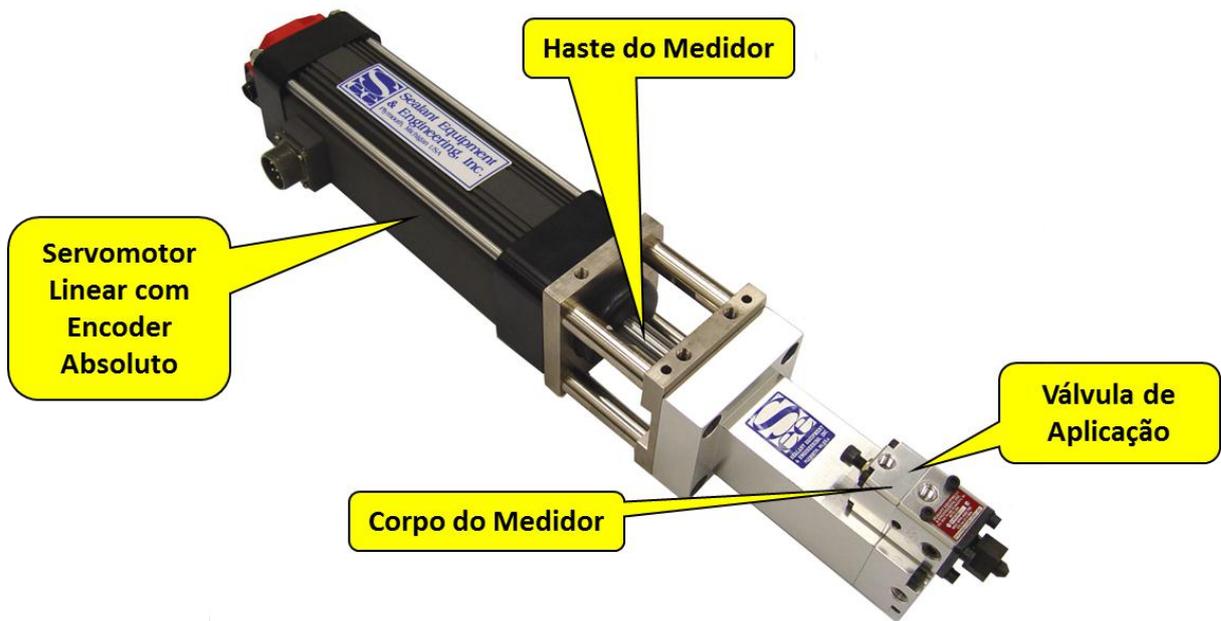


Figura 18 - Servo Dispensador Integrado (ISD) (FANUC®, 2010)

Esse sistema de servo dispensador integrado oferece um controle preciso do volume aplicado por meio do deslocamento da haste que é monitorado como um servo acionamento discutido no Capítulo 2.2.4, cujo controle normalmente é implementado como um eixo adicional em controladores de robôs quando utilizado em células flexíveis.

A linearização do movimento de rotação do servo motor pode ser realizada por um acoplamento mecânico que transmite a rotação do eixo do motor ou até mesmo rotação do eixo de um sistema de redução de velocidade (moto redutor) a um fuso linear, como ilustrado na Figura 19.

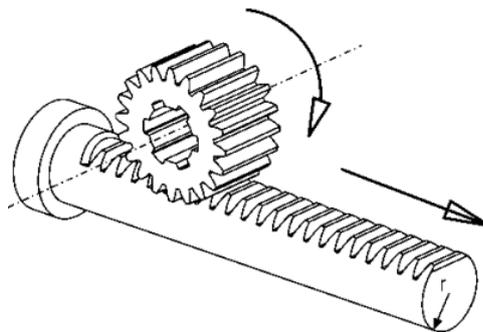


Figura 19 - Linearização da Rotação do Motor de Passo (STEPHAN, 2004)

O medidor do ISD pode ser caracterizado como um cilindro com diâmetro interno “ $d$ ” e com um embulo com deslocamento controlado pelo servo acionamento, sendo “ $S$ ” o número

de sensores óticos do encoder absoluto, “r” a resolução dada por  $2\pi/S$ , “ $\Delta S$ ” a quantidade de pulsos para obter o deslocamento desejado, “n” a relação de redução do moto reductor acoplado ao servo motor, “l” o deslocamento linear da haste do medidor para cada volta do moto reductor e “V” o volume dispensado pelo medidor, conforme Equação (5):

$$V_{[ml]} = \frac{\Delta L_{[cm]} \cdot \pi \cdot (d_{[cm]})^2}{4}$$

$$\Delta L_{[cm]} = L_{Final[cm]} - L_{Inicial[cm]}$$

$$V_{[ml]} = \Delta S \cdot r_{[rad]} \cdot \frac{l_{[cm]}}{2\pi} \cdot \frac{\pi \cdot (d_{[cm]})^2}{4}$$

$$\Delta S = \frac{V_{[ml]}}{r_{[rad]} \cdot \frac{l_{[cm]}}{2\pi} \cdot \frac{\pi \cdot (d_{[cm]})^2}{4}} \quad (5)$$

O funcionamento do servo dispensador integrado se subdivide em dois ciclos, inicialmente ocorre o enchimento do compartimento de material (*short meter assembly*), conforme ilustrado na Figura 20.

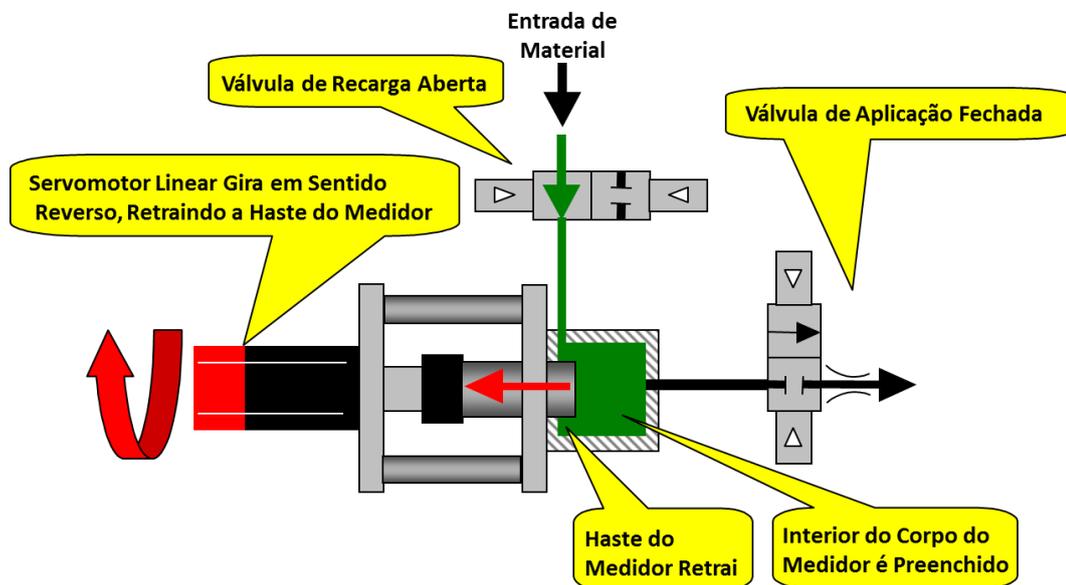


Figura 20 - ISD Ciclo de Carga do ISD (FANUC®, 2010)

Na segunda etapa, ocorre o deslocamento da haste de medição (*meter rod*), empurrando o material inicialmente carregado no compartimento para ser aplicado, conforme ilustrado na seguinte Figura 21.

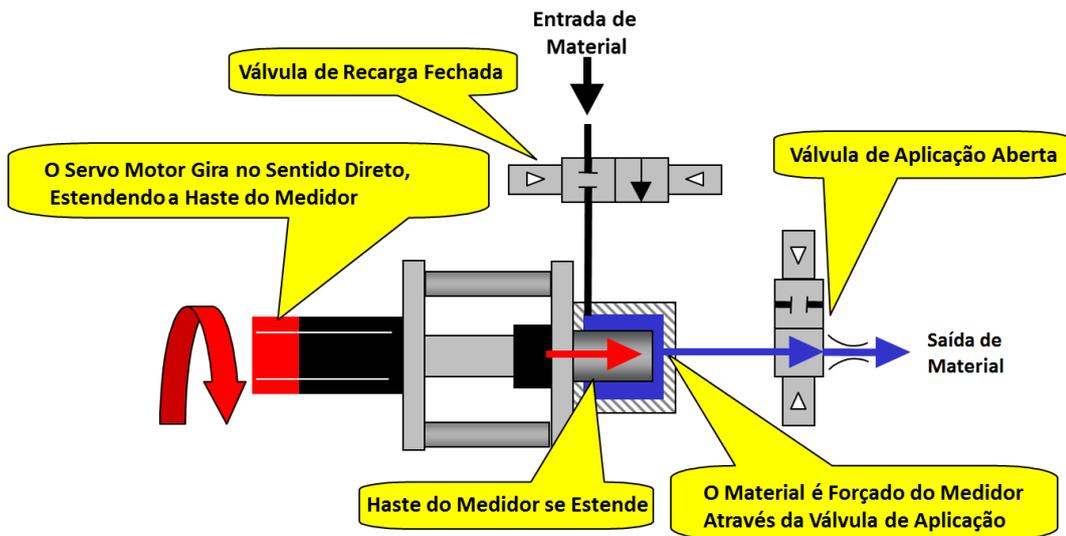


Figura 21 - Ciclo de Descarga do ISD (FANUC®, 2010)

O comando do acionamento desse sistema é executado pelo robô, utilizando a capacidade de processamento de sua CPU conforme ilustrado pela Figura 22, mantendo uma boa performance de velocidade de acionamento.

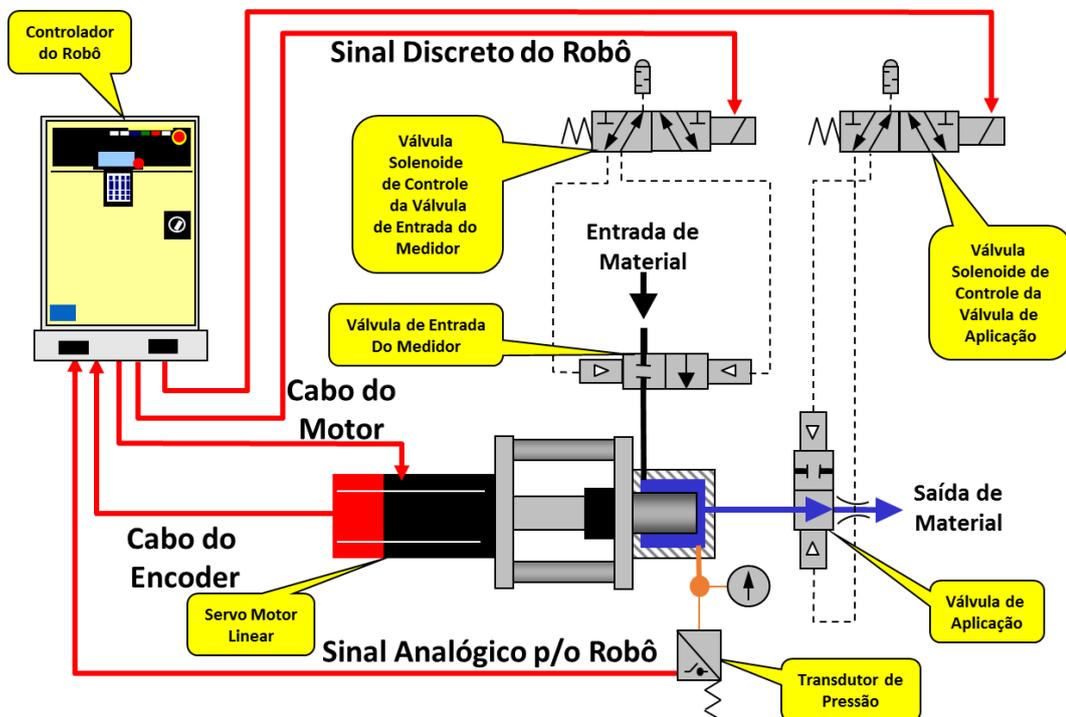


Figura 22 - Interface do ISD com o Robô (FANUC®, 2010)

Existe ainda uma variação desse método de controle de vazão que faz uso de duas câmaras. Enquanto uma faz a segunda etapa e empurra o material para aplicação a outra executa

a primeira etapa enchendo-se com material e elas invertem de papel no próximo ciclo, de acordo com as Figuras 23 e 24.

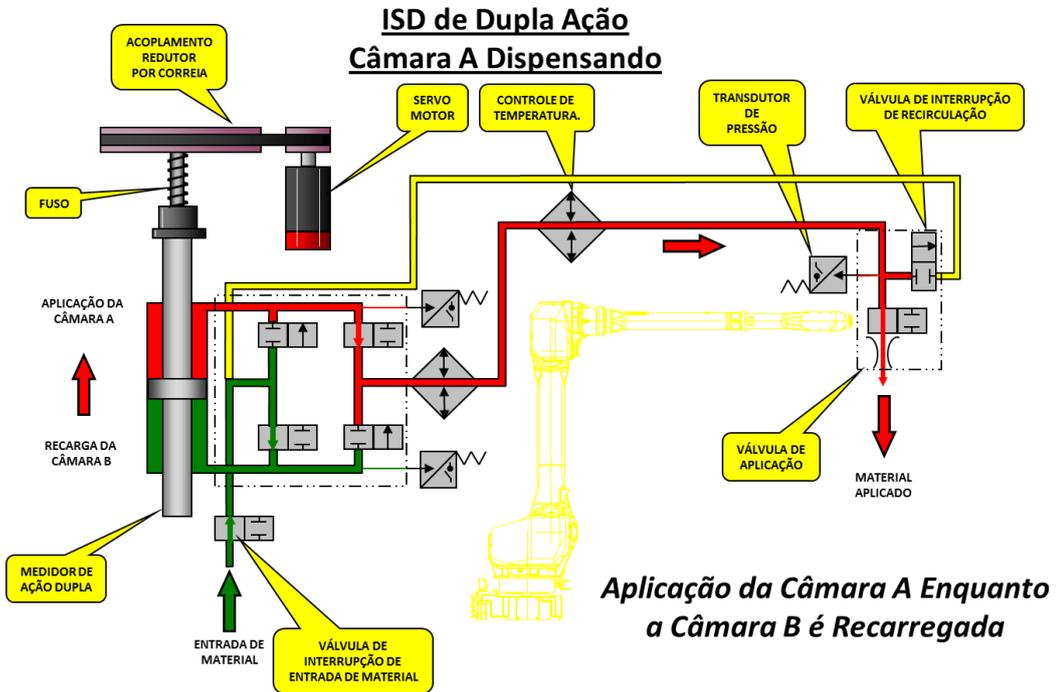


Figura 23 - Ciclo de Descarga da Câmara A (FANUC®, 2010)

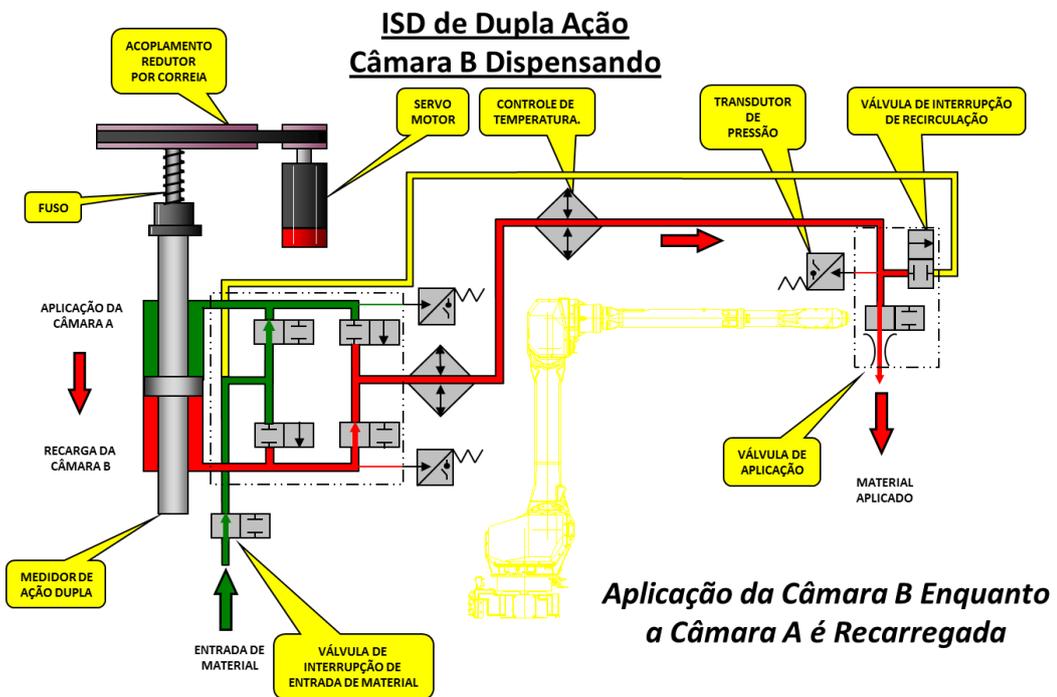


Figura 24 - Ciclo de Descarga da Câmara B (FANUC®, 2010)

Com esse sistema é possível o fornecimento praticamente contínuo do material de selagem, similar ao regime de aplicação com controle indireto por pressão.

## 2.6 AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DO ESPAÇO DE TRABALHO

Para medir o quanto uma atividade está de acordo com os critérios ergonômicos, a norma ABNT/CEE 136 estabelece um espaço de trabalho recomendado. Assim é possível confrontar a movimentação do operador com a classificação desse espaço, representado na Figura 24.

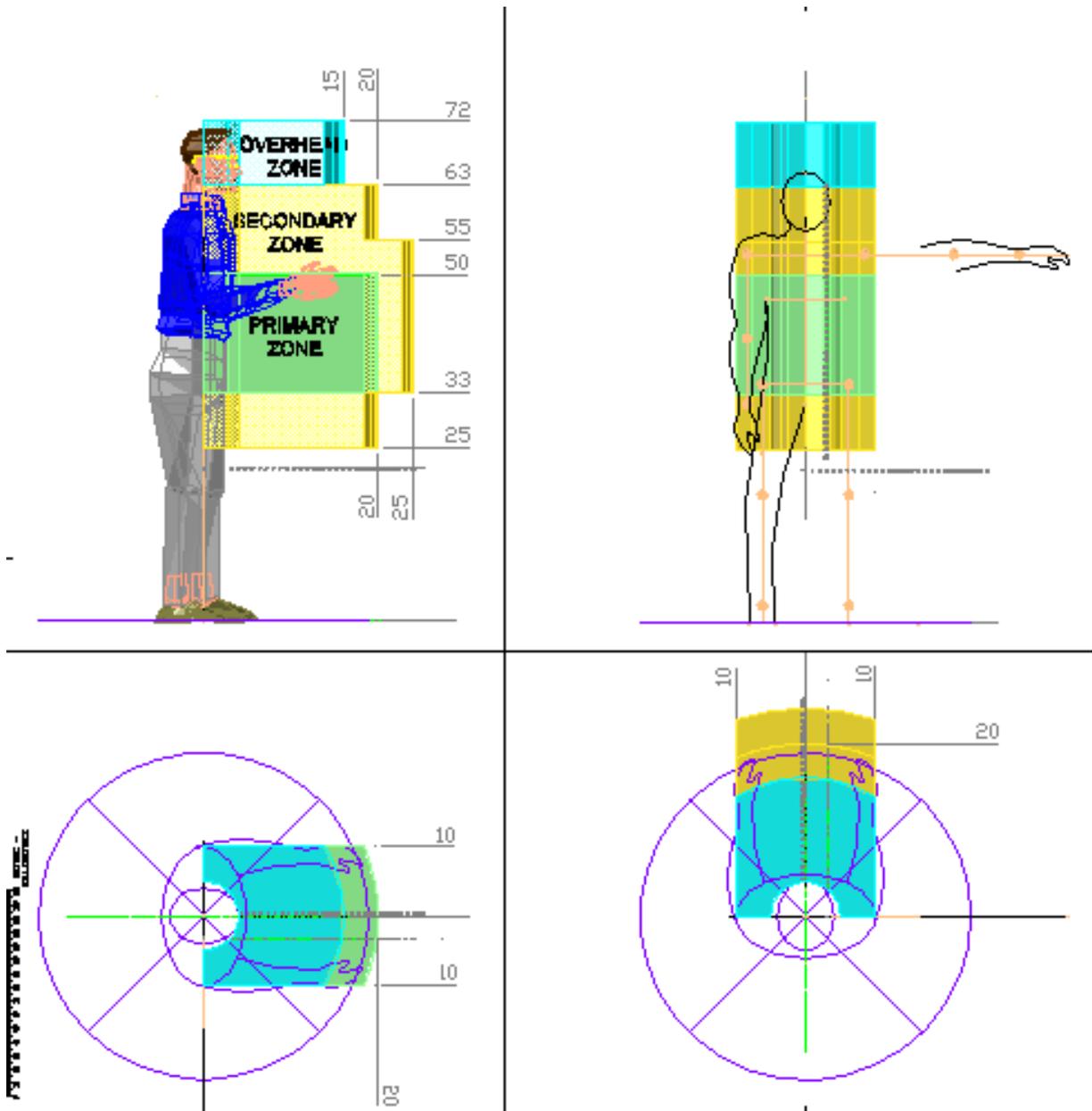


Figura 25 - Classificação do Espaço de Trabalho

Ter uma operação com os membros superiores fora da região ilustrada pela Figura 25 requer um estudo detalhado, de forma a ponderar o tempo de exposição (permanência dos braços nessa região) e severidade (peso da ferramenta sustentada pelo colaborador).

Um dos métodos recomendados pela norma ABNT/CEE 136 para avaliar operações fora do envelope de trabalho é o RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*). Ele foi desenvolvido por Dr. Lynn McAtamney e pelo Professor E. Nigel Corlett, ergonomistas do Instituto de Ergonomia Ocupacional da Universidade de Nottingham, na Inglaterra, a partir da adaptação de métodos existentes com o acréscimo da análise de outras variáveis como: força, repetição e amplitude de movimento articular.

A RULA permite estimar os riscos de lesões osteomusculares relacionadas ao trabalho, ela permite uma avaliação rápida e sistemática dos riscos posturais aos trabalhadores e pode ser conduzida antes e depois de uma intervenção para se avaliar se a intervenção foi eficiente na diminuição dos riscos de uma lesão.

Para obter-se um bom resultado com o método é necessária uma observação detalhada do trabalho realizado, deve-se observar vários ciclos da atividade e preferencialmente registrá-la em vídeo para permitir uma identificação mais precisa (já que permite congelamento de imagem e análise de tempos, movimentos e posturas mais importantes).

O método considera 3 estágios: o primeiro é de identificação da postura de trabalho, o segundo, a aplicação de um sistema de escore e o terceiro é a aplicação de uma escala de níveis de ação como ilustrado na Figura 26. O Anexo A apresenta o formulário de aplicação desse método para todos os membros.

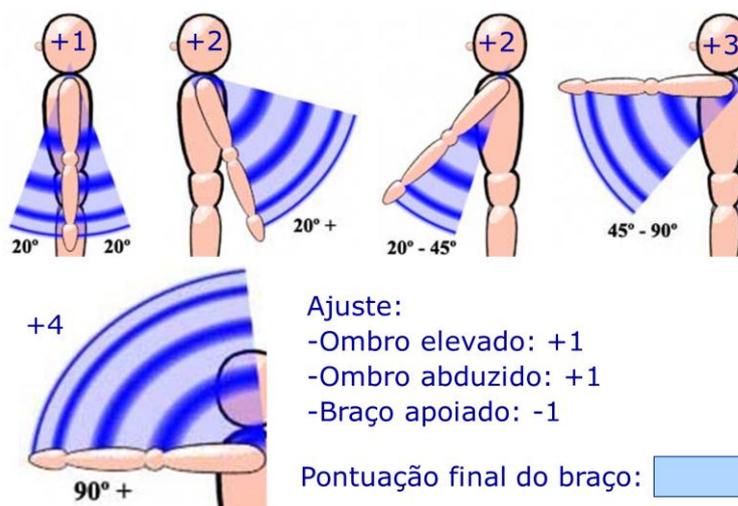


Figura 26 - Aplicação RULA para Membros Superiores

### 3 SISTEMA DE PINTURA, TECNOLOGIAS APLICADAS EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO E CÉLULAS ORIGINAIS

As empresas do ramo automotivo empregam técnicas de automação flexíveis para minimizar os custos da implementação de novos produtos e simplificar a adequação de suas linhas produtivas. Esses sistemas normalmente são divididos em áreas, tais como: estamparia, funilaria, pintura e montagem, como representados na Figura 27.

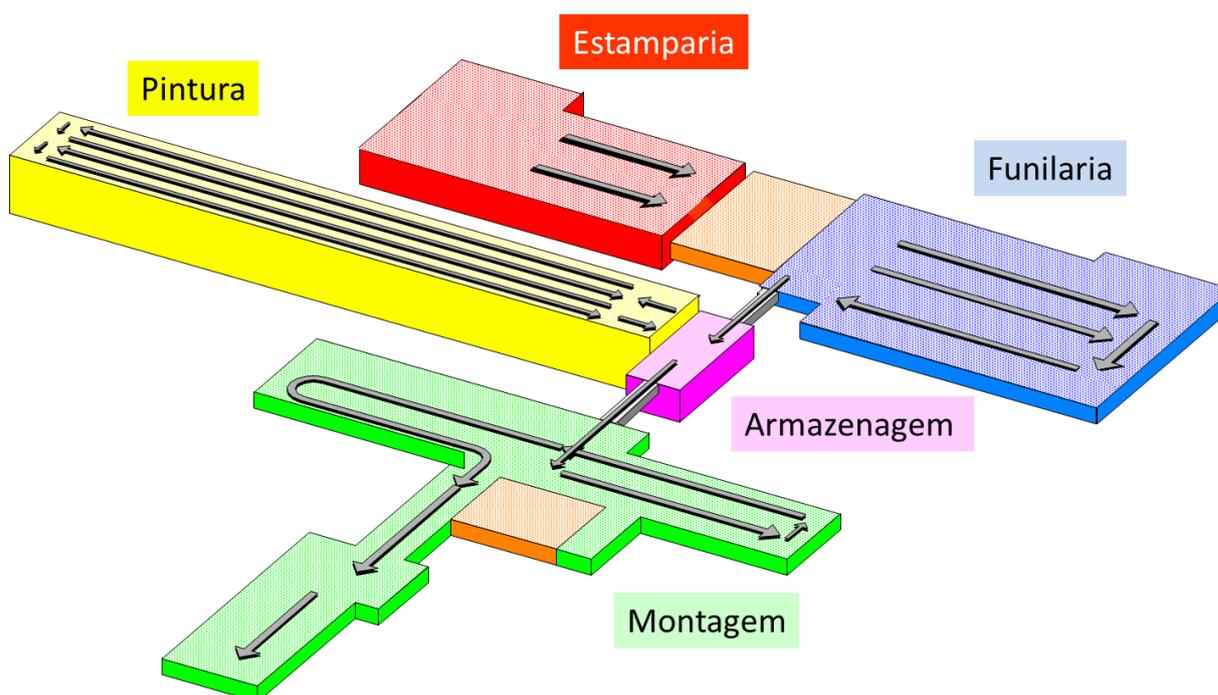


Figura 27 - Áreas Produtivas de uma Montadora (GM®, 2000)

Dentro do prédio de pintura, além do processo decorativo, podem ser realizadas outras etapas intermediárias destinadas à proteção contra corrosão, à vedação, à proteção contra batida de pedras e à ornamentação, similarmente ao ilustrado na Figura 28 (GOLDSCHMIDT, 2007).

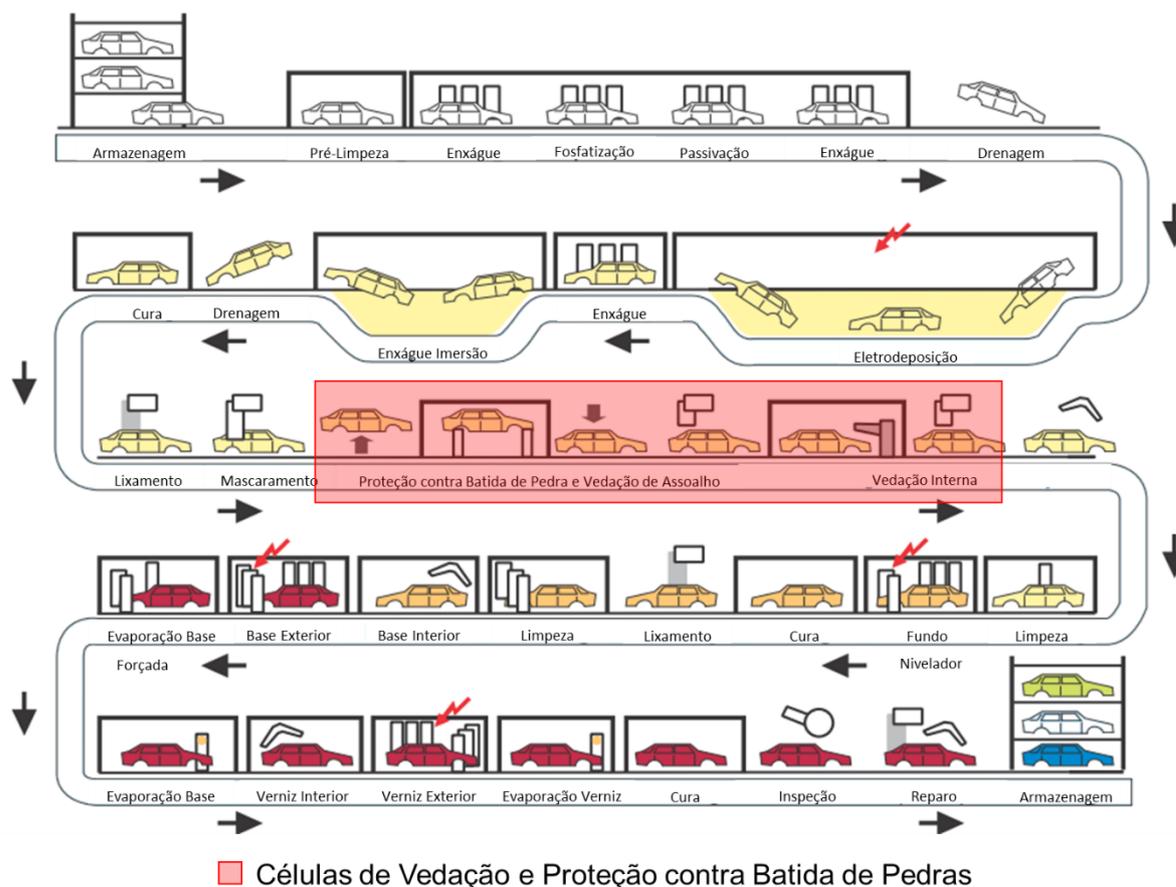


Figura 28 - Processos Realizados na Área de Pintura (GOLDSCHMIDT, 2009)

Dos processos executados dentro do prédio de pintura, o de vedação contra entrada de água, pó e cheiros na carroceria e o de proteção contra batida de pedra no assoalho das unidades utilizam materiais que precisam ser aplicados entre duas etapas de pintura específicas: após a proteção contra corrosão e antes da aplicação do fundo nivelador, permitindo que a cura deles seja realizada em conjunto com esse último material na mesma estufa.

Esses processos contribuem para a durabilidade dos veículos automotores por promoverem proteção contra corrosão. A vedação evita a entrada de água e cobre as arestas das chapas nas junções enquanto o PVC impede que o revestimento das chapas do assoalho seja removido com a batida das pedras.

Além disso, a calafetação contribui para o desempenho acústico por reduzir a entrada de ruído na carroceria e para a eficiência energética do ar condicionado, evitando a saída indesejada do ar refrigerado de dentro do veículo.

Essas atividades apresentam sérios impactos ergonômicos devido às regiões das carrocerias que requerem a aplicação de massa de vedação e PVC para proteção contra batida

de pedra. Busca-se minimizar esses impactos utilizando técnicas de automação, que foram disponibilizadas com a evolução do emprego de robôs dentro do processo produtivo.

Originalmente projetou-se a planta do estudo de caso para uma capacidade de 40 carrocerias por hora considerando a introdução de automação tanto nas etapas de calafetação de assoalho, quanto nas de proteção contra batida de pedra e de calafetação interna. Para isso foram utilizados sistemas robotizados nessas etapas de processo, devido ao grande impacto ergonômico.

As tecnologias utilizadas datam de 1999 e englobaram as soluções mais modernas para a época. A especificação dessas células era para uma capacidade de até 40 carrocerias por hora considerando uma quantidade de 18 metros lineares de vedação de assoalho, 4 metros quadrados de cobertura para proteção contra batida de pedra e 14 metros lineares de vedação de interior, conforme requerido pelo produto.

Essa automação fez uso basicamente de robôs para diminuir a exposição dos operadores às condições insalubres e empregou técnicas arrojadas de controle de vazão de materiais viscosos e de alta pressão para permitir o seu bombeamento, assim como verificação de posicionamento das carrocerias e correção de trajetória de aplicação.

Entretanto a solução adotada na época da instalação da planta possuía algumas limitações: como a forma de aplicação de filete sem auxílio de ar comprimido. Essa aplicação requer um acabamento manual, após o material ser dispensado sobre a junção, para garantir a vedação.

Esse acabamento consiste em espalhar a massa com pincel de forma a garantir a vedação. Assim, o sistema automático instalado efetuava apenas metade da operação e, portanto, ainda se tinham impactos ergonômicos para serem compensados.

Além disso, um projeto intermediário elevou a velocidade para 53 carrocerias por hora sem modificações nas automações instaladas. O ganho de capacidade foi obtido com a transferência de conteúdo de processo para as estações de acabamento, onde cinco operadores eram responsáveis por complementar a vedação aplicando material e efetuar o acabamento manual nas porções dispensadas manualmente e pelos robôs.

### 3.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE E IDENTIFICAÇÃO DE CARROCERIAS

No início da indústria automotiva, tanto a movimentação das carrocerias quanto a identificação dos processos eram realizadas manualmente. As carrocerias eram depositadas sobre carrinhos com rodas e os operadores levavam essas unidades de uma estação para outra, seguindo a sequência de produção.

Esse método de transporte ainda é utilizado em alguns processos para plantas de baixo volume, com produção inferior a dez carrocerias por hora. Entretanto, para plantas com capacidade produtiva maior, fez-se necessário o desenvolvimento de sistemas capazes de movimentar as carrocerias em menor tempo.

Isso levou ao desenvolvimento de sistemas eletromecânicos, tendo a lógica de controle sido implementada com circuitos elétricos, sendo que a identificação dos processos a serem realizados era manual, mas empregando sensores apresentados no Capítulo 2.2.1 e 2.2.2 para verificar o posicionamento das unidades. Nessa operação, normalmente são utilizados sensores indutivos, que emitem o sinal na presença da carroceria, e motores elétricos apresentados no Capítulo 2.2.3 como atuadores, efetuando a movimentação de acordo com a lógica do circuito elétrico de comando.

Essa solução apresenta dificuldades para modificação e implementação de novos modelos, às vezes requerendo longos períodos de parada para permitir a implementação de modificações nos circuitos de comando. Com essas características, o sistema pode ser classificado como automação fixa (GROOVER, 2010), cujas etapas de processo são definidas por configuração dos equipamentos e não podem ser facilmente modificadas, requerendo alto investimento para instalação e são destinadas a altos volumes de produção. Assim, essa abordagem oferece baixa ou nenhuma flexibilidade para a introdução de novos produtos no sistema de produção.

Um exemplo da aplicação desse método na indústria do ramo automobilístico é a sua utilização nos sistemas de transporte das unidades dentro da pintura de carrocerias por meio de mesa de rolos utilizando motor de indução trifásico discutido no Capítulo 2.2.3 como atuador dos rolos, apresentada na Figura 29.

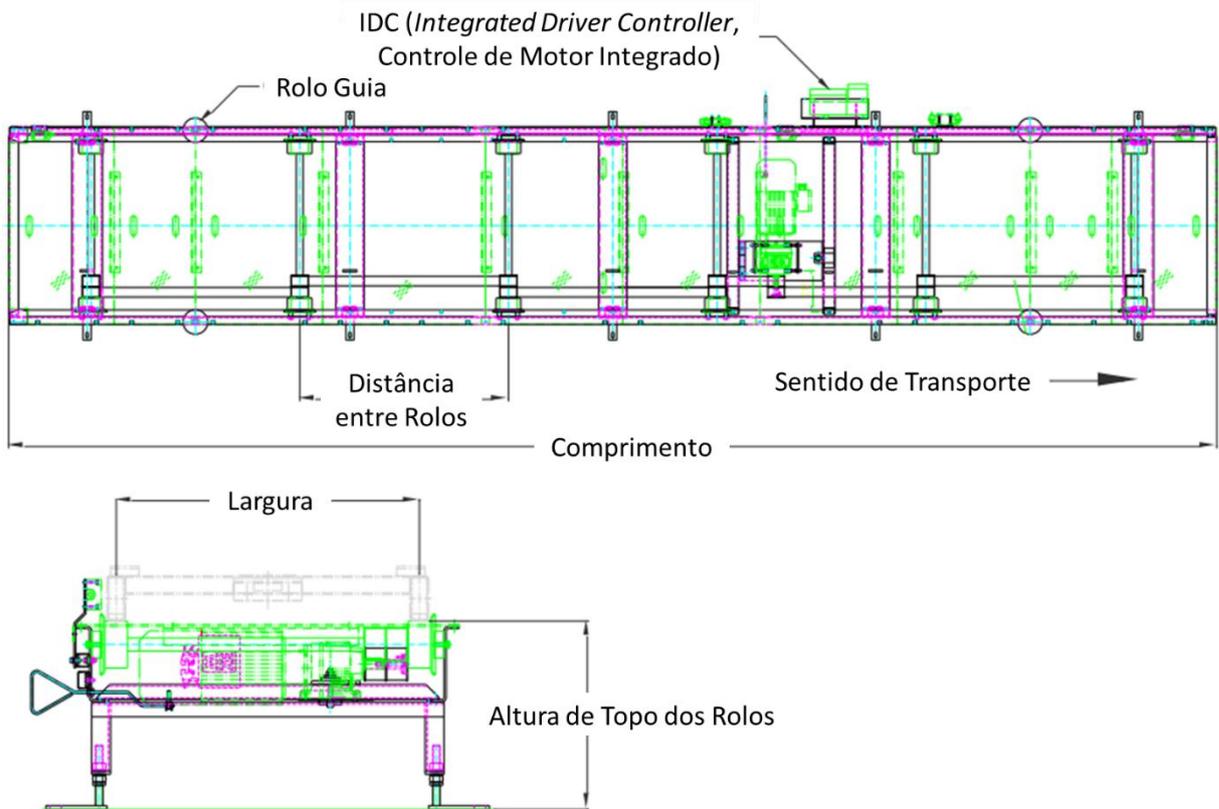


Figura 29 - Mesa de Rolos (GCS-1-30327)

A lógica desse equipamento é baseada em dois sensores de proximidade indutivos apresentados no Capítulo 2.2.1 conectados ao barramento de entrada de um CLP, apresentado no Capítulo 2.3, que comanda o acionamento da motorização dos rolos. O primeiro indica presença de carroceria para ser carregada e o segundo indica que ela chegou no final do trajeto, conforme ilustrado pela Figura 30.

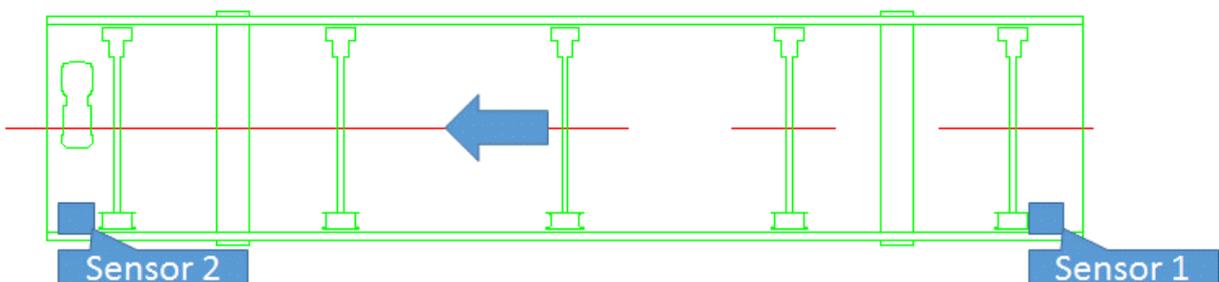


Figura 30 - Sensores da Mesa de Rolos (GCS-1-30327)

Conforme pode ser evidenciado, esse sistema apresenta características de automação programável, ou seja, podem ser utilizados para o transporte de diferentes tipos de carrocerias desde que sejam respeitados os limites de comprimento (agrupamento de lote por similaridade).

Assim, para viabilizar essa movimentação, elas são apoiadas sobre um gancho metálico, chamado de *skid*, como pode ser verificado em rosa na Figura 31.

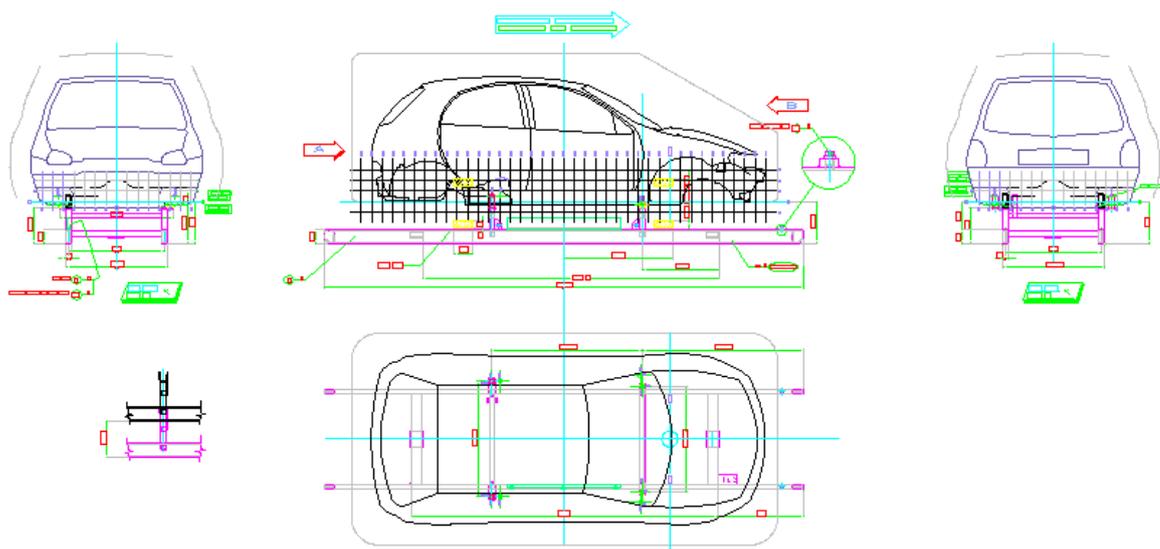


Figura 31 - Carroceria sobre *Skid* (GCS-1-30327)

É possível a montagem de vários tipos de mesa de rolo, conforme a necessidade. Elas podem ter, por exemplo, a função de movimento longitudinal, transversal (que além de carregar a unidade como a mesa da Figura 31, executa um movimento transversal sobre trilhos), etc.

Para a finalidade de operações robotizadas, esses equipamentos de transporte são acrescidos de mais um recurso que reduz o erro de posicionamento devido ao possível escorregamento do *skid* em relação aos rolos da mesa que é o sistema de centrador (apresentado na Figura 32), que consiste de um grampo acionado por um motor de indução trifásico, apresentado no Capítulo 2.2.3, e também comandado por CLP, discutido no Capítulo 2.3.

Após a unidade acionar o sensor que indica a carroceria no final de trajeto, o centrador é fechado. Ele somente é aberto após a conclusão dos processos automatizados, sendo que ele também é utilizado em estações de transferência entre tipos de ganchos de transporte (entre *skids*).



Figura 32 - Centrador (GCS-1-30327)

Outro modelo de posicionamento utilizando um ferramental auxiliar é o sistema de *lift and locating*, que basicamente, quando a unidade atinge o seu ponto de parada, aciona um conjunto de pinos que levanta a carroceria por furos de dimensões controladas, garantindo-se o posicionamento das unidades transportadas.

Já para os processos de vedação e de proteção contra batida de pedras no assoalho que precisam ser realizados por baixo das carrocerias, o sistema de transporte de unidades precisa ser elevado. Os primeiros sistemas desse tipo são constituídos por ganchos suspensos e transportados por uma corrente sobre trilhos. Essa solução apresenta um problema de estabilidade de posição transversal.

Existem outros métodos de transporte que não apresentam esse problema, como o de mesa de rolo invertida, que tem o mesmo princípio de uma mesa de rolo, porém com o *skid* no formato de um gancho e com os rolos das mesas responsáveis por tracioná-los, conforme apresentado em rosa na Figura 33.

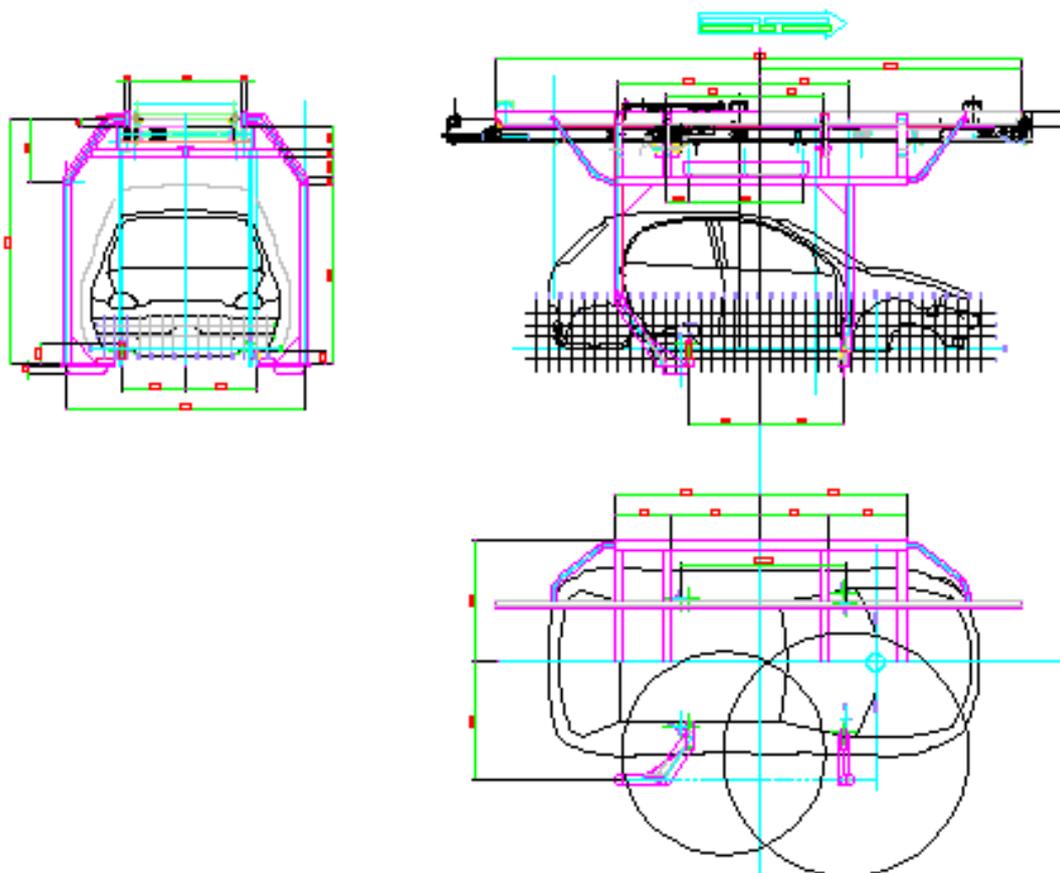


Figura 33 - Carroceria no Transportador Aéreo (GCS-1-30327)

A evolução desse sistema consiste da individualização da motorização nos próprios ganchos, que são alimentados eletricamente por barramentos e são responsáveis pela própria tração.

Já para poder reconhecer que processo executar na respectiva carroceria, é necessário identificá-la e existem diversos sistemas para esse fim; um dos mais antigos é o de identificação por combinação binária de manípulos metálicos como alavancas fixadas nos *skids*, que são posicionadas manualmente por um operador e monitoradas por sensores de proximidade indutivos, discutidos no Capítulo 2.2.1.

Entretanto a diversidade de opções de montagem de carrocerias levou ao desenvolvimento de sistemas capazes de armazenar mais informação. Atualmente o sistema mais utilizado é o de etiqueta com código de barras. Essa codificação torna possível verificar os detalhes das características das unidades, inclusive opcionais.

Um outro sistema alternativo ao leitor de código de barras industrial e que apresenta um menor custo é o de identificação indireta com numeração para os ganchos de transporte de

carroceria e o de armazenamento das informações das unidades em um banco de dados indexado por esse número.

Essa numeração poder ser armazenada por um código de barras metálico ou por um identificador com rádio frequência passivo. Esses dois métodos carregam apenas a numeração do *skid*. Assim, é possível ler esses dispositivos auxiliares e utilizar o número do *skid* como chave de procura para acessar o banco de dados do sistema de controle no CLP e resgatar as informações das carrocerias, minimizando-se a necessidade do leitor de código de barras industrial.

### **3.2 SISTEMA DE CORREÇÃO DE TRAJETÓRIA**

Para sistemas robotizados de precisão não basta somente controlar o posicionamento do robô, apresentados no Capítulo 2.4. É preciso certificar-se da localização do objeto com o qual se interage durante o processo. Isso normalmente é realizado pelo sistema de manipulação da peça que a recebe na entrada da célula e a posiciona em um ferramental, garantindo a sua localização.

Esses sistemas possuem tolerâncias que resultam em certo erro, que crescem à medida que os objetos a serem processados aumentam de tamanho; no caso de carrocerias (cujo transporte para o interior das células é realizado por estruturas metálicas deslocadas por rolos), esses erros são consideráveis.

Além desse fator, as montadoras de automóveis controlam as variações dimensionais das carrocerias e as mantêm dentro de um limite que não afete a montagem final e tampouco o desempenho do carro. Esse controle é feito unindo-se as chapas em um processo com pinos de localização para posicionamento das peças e formação de subconjuntos, também com dimensional e posição controlados por furos.

Esses referenciais dimensionais da geometria das carrocerias em relação a furos específicos e à disponibilidade crescente de recurso computacional nos robôs levaram ao desenvolvimento de uma nova abordagem: a identificação da real posição da carroceria por um sistema de visão.

Pode-se utilizar um sistema de visão de câmeras 2D com baixo custo computacional para determinar o real posicionamento desses furos. Obtendo-se as referências de três pontos da carroceria, é possível obter-se um plano que passará pelos três pontos medidos, entretanto somente a determinação desse plano não contém a informação necessária para calcular a

diferença de posição entre a carroceria em produção e a originalmente utilizada para a programação da célula.

Para obter essas informações, posicionam-se as câmeras de forma que a projeção do seu foco se cruze, formando um ponto que será o centro do sistema cartesiano de referência, com o semi plano “X” “Y” paralelo ao plano formado pelas posições dos furos de referência da carroceria, também chamados de alvos. O sistema determinado pela carroceria utilizada para a programação da estação é chamado de zero da célula e o determinado pelas próximas unidades a serem processadas é chamado de zero da carroceria.

Dessa forma, a programação da trajetória dos robôs é realizada em relação ao zero da célula projetado pelo plano do sistema de visão. A correção medida pelo sistema de visão gera uma matriz de transformação que vai corrigir os pontos da trajetória dos robôs, como ilustra a Figura 34.

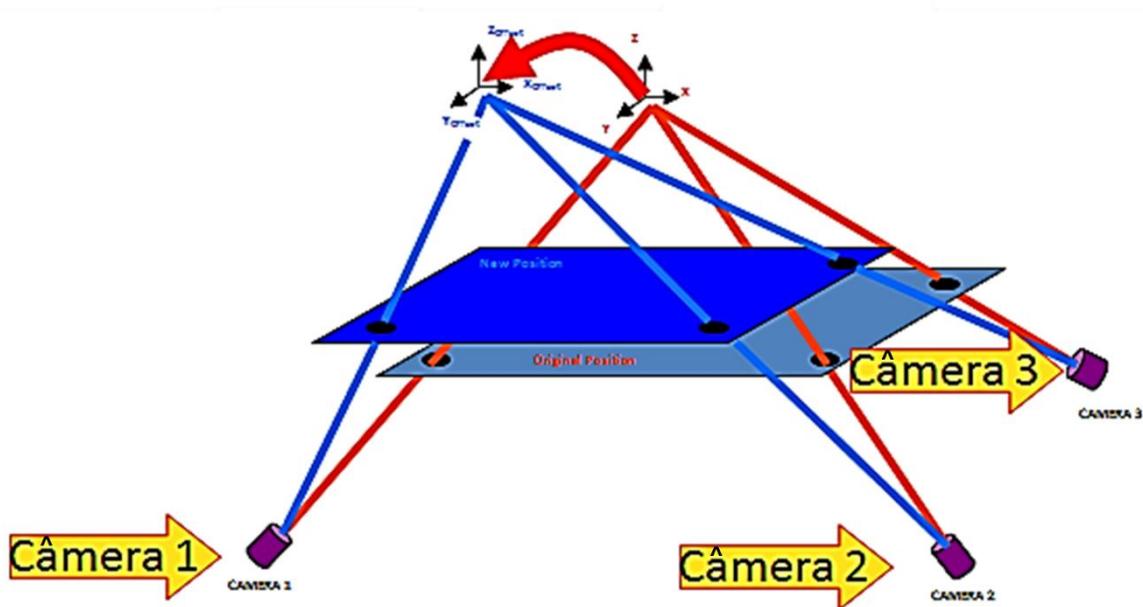


Figura 34 - Sistema de Visão (FANUC®, 2010)

Para compor a matriz de transformação que levará os pontos da trajetória do robô do sistema de coordenadas da célula para o determinado pela carroceria que será processada, faz-se uma análise da rotação e translação que precisa ser aplicadas ao zero da célula para levá-lo ao zero da unidade, conforme Figura 35.

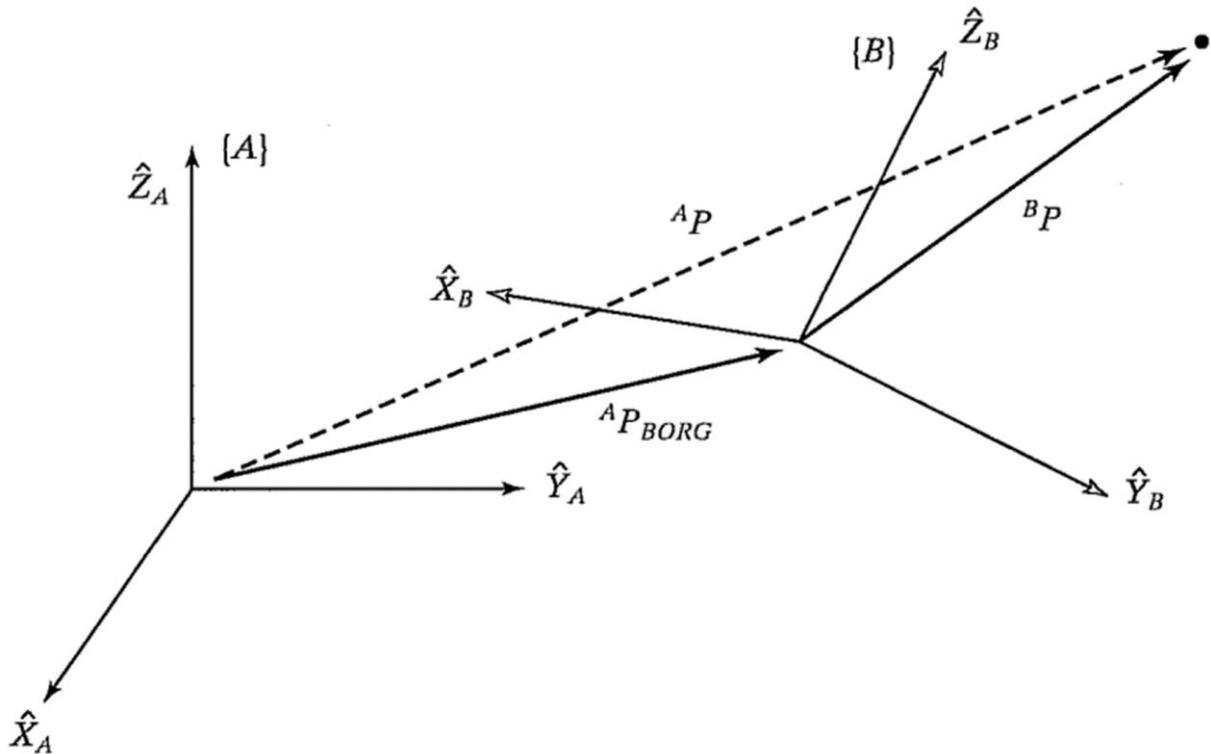


Figura 35 - Relação Entre Sistemas de Coordenadas (CRAIG, 2005)

A matriz de transformação que leva do sistema {A} para o sistema {B} é composta por uma parcela que analisa a rotação, uma parcela que analisa a translação e um índice de escala, conforme a Equação (6) (CRAIG, 2005).

$${}^A P_{[m]} = {}^A T_B {}^B P_{[m]}; \quad {}^A P_{[m]} = {}^A R_B {}^B P_{[m]} + {}^A P_{BORG[m]}; \quad \begin{bmatrix} {}^A P_{[m]} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^A R_B & {}^A P_{BORG[m]} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Os primeiros sistemas com essa tecnologia demandavam em torno de vinte segundos para efetuar a leitura dos alvos (furos no assoalho das carrocerias) e a transmissão da matriz de transformação para efetuar a correção da trajetória dos robôs. Atualmente, um sistema novo com quatro alvos leva na média dois segundos para efetuar esse processo, sendo que alguns fornecedores de robôs integram o controlador do sistema de visão no painel de comando do próprio robô. Essa topologia reduz ainda mais o tempo para identificar a correção, minimizando o tempo de transmissão das informações.

### 3.3 MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE PLASTISOL

O material utilizado para selar as junções de chapas nas carrocerias é muito viscoso e apresenta algumas características físicas importantes, como alta abrasividade e alta incompressibilidade.

Além disso, sua viscosidade é muito dependente da temperatura, por isso o sistema que leva esse material até o ponto de uso e os bicos de calafetação precisa ser de metal especial e com tratamento térmico para aumentar a dureza de forma a resistir a abrasão e especialmente desenhado para minimizar o aquecimento do material ao longo do trajeto, conforme Equação (7).

$$\eta = A \cdot e^{\frac{E_{act}}{R \cdot T}} \quad (7)$$

Nessa equação,  $\eta$  é a viscosidade,  $A$  é constante,  $E_{act}$  é a energia de ativação,  $R$  é a constante universal dos gases e  $T$  é a temperatura absoluta. Essa função resulta na curva apresentada na Figura 36.

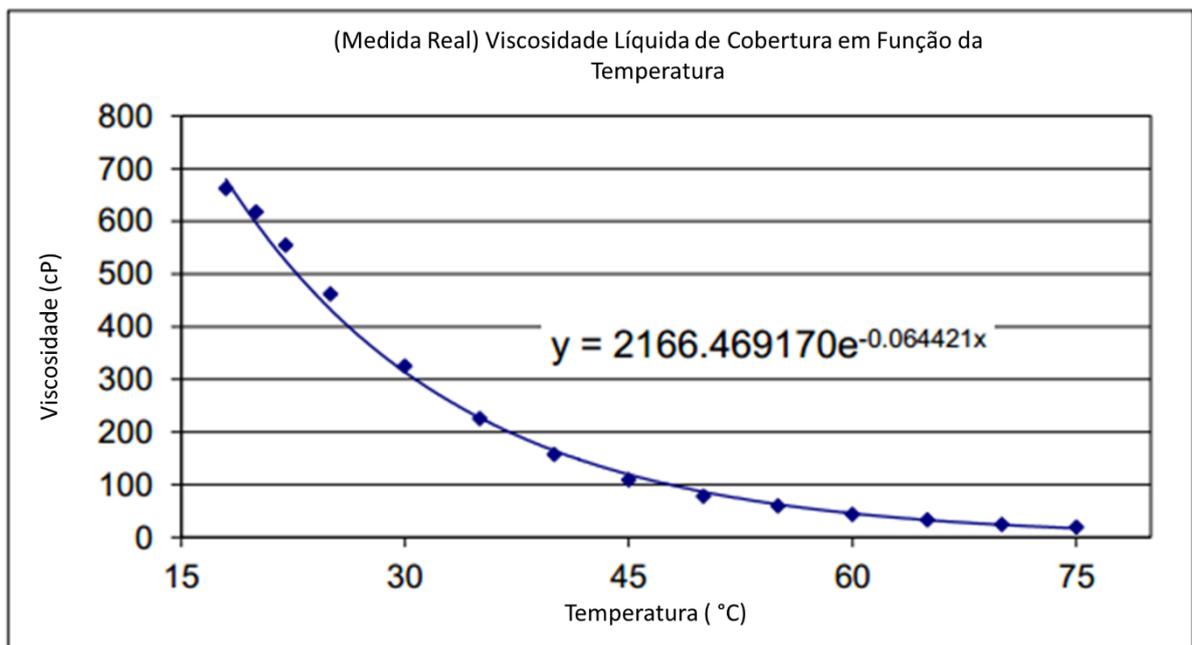


Figura 36 - Viscosidade do Plastisol em Função da Temperatura

Uma outra característica importante desse material é a redução de viscosidade que ele sofre durante a aplicação devido à taxa de cisalhamento das moléculas que compõem o vedante,

provocada pelo atrito com as paredes da tubulação no momento da aplicação e voltando aos valores originais logo após ter sido dispensada sobre a junção. Essa característica de variação da viscosidade durante o momento da aplicação chama-se tixotropia.

Devido a essas características, é necessário um sistema de alta pressão de bombeamento. Utiliza-se normalmente dois sistemas integrados, o primeiro faz a retirada do material do container de armazenamento e o pressuriza na linha principal, conforme Figura 36.

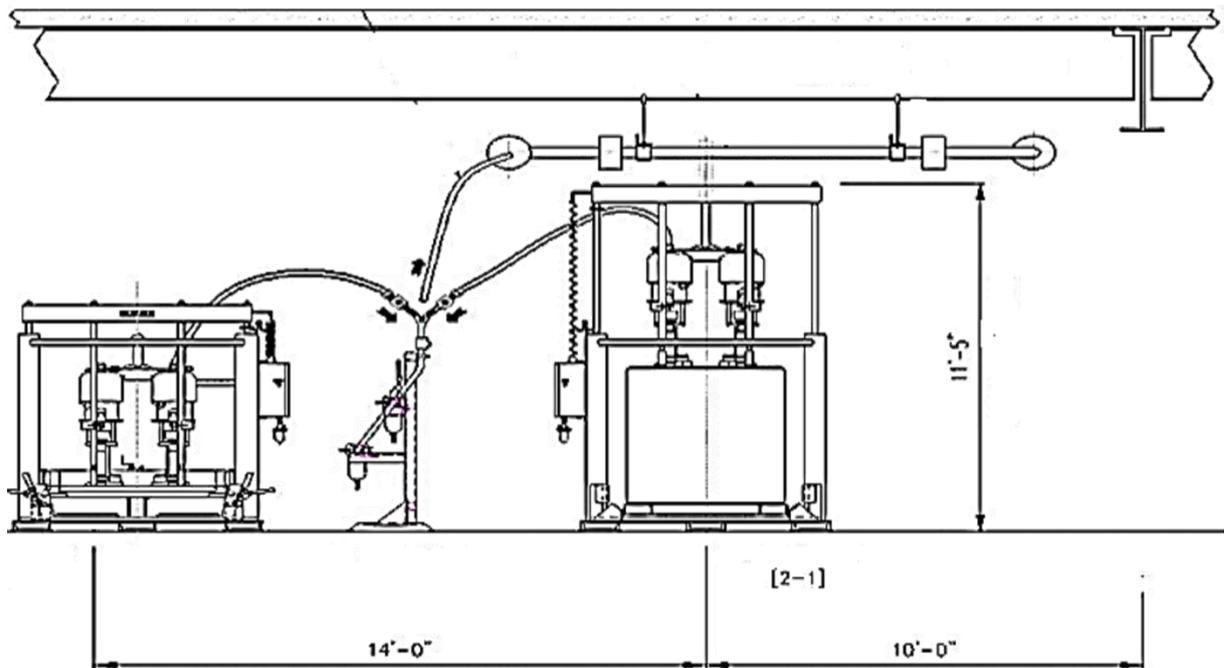


Figura 37 - Sistema de Bombeamento para Materiais Viscosos

O segundo é responsável por pressurizar o material em um laço de tubulação menor, próximo do ponto de uso, garantindo a estabilidade nas altas pressões de aplicação.

Uma das primeiras formas para depositar o material nas junções foi a extrusão sem assistência de ar comprimido. Esse método não permite aumentar a largura e promover maior estabilidade e confiança na aplicação sem aumentar a espessura, o que baixa a área de aderência do material aplicado sobre as junções, fazendo com que pingue ao longo da linha e tenha um alto consumo de material.

Outro método é um sistema similar à costura, no qual o material sai por um orifício pequeno e é enrolado para cobrir as junções. Esse método possibilitou o desacoplamento da largura do filete em relação a sua espessura, todavia é mais propenso a romper e tem menor capacidade de cobrir furos.

Por fim, tem-se o método de filete fino, que é considerado hoje o método mais robusto e com menor consumo de material. A Figura 38 apresenta esses três tipos de aplicação.

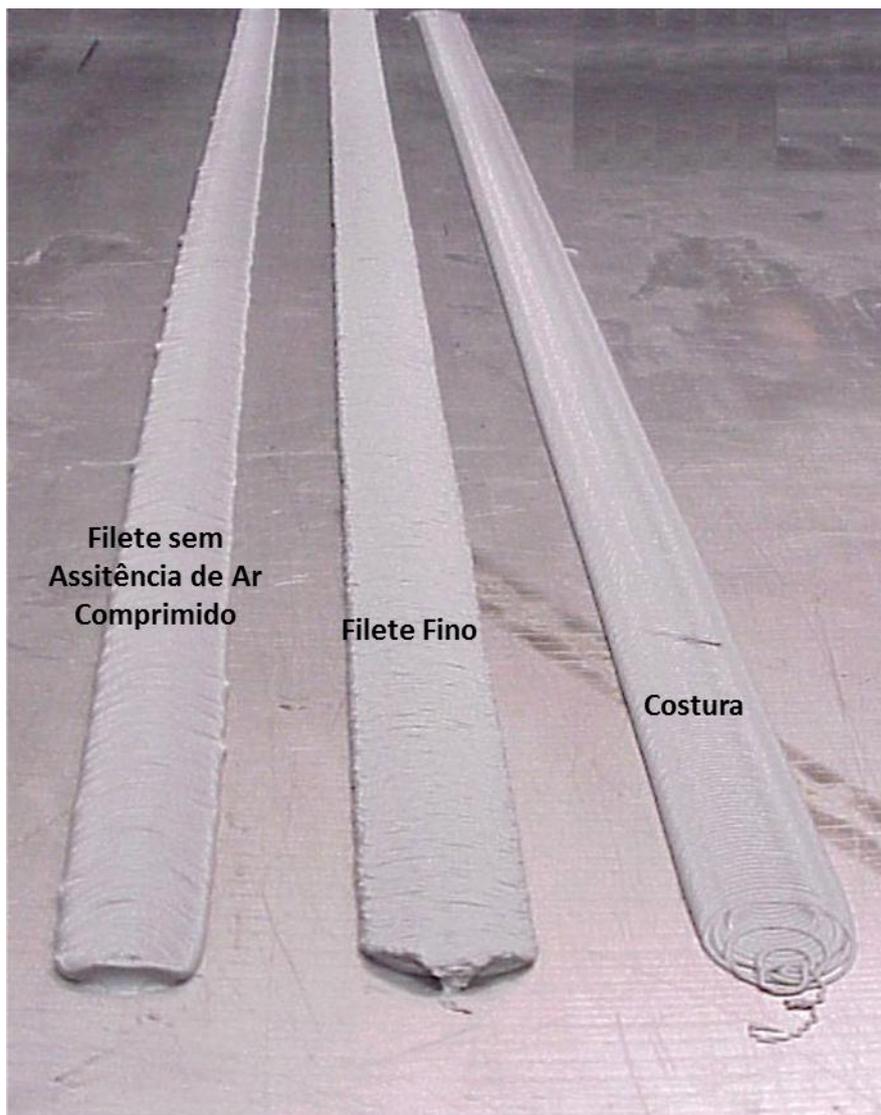


Figura 38 - Métodos de Aplicação (FANUC®, 2010)

### **3.4 CÉLULAS DE VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA ORIGINAL**

As etapas do processo de pintura de carrocerias em estudo são as de vedação de assoalho, proteção contra batida de pedra e vedação de interiores. Elas são executadas nessa ordem seguindo as recomendações de processo, sendo que a vedação de assoalho e a sua respectiva estação de verificação e reparo precedem a estação de proteção contra batida de pedra de forma a permitir a visualização do filete aplicado, porque depois a aplicação do material para proteção contra batida de pedra cobre a superfície, ocultando os filetes de calafetação.

Além disso, a célula de aplicação de PVC é mais estável que a de vedação, mesmo assim ainda requer uma estação de verificação e reparo e mais uma estação de limpeza de respingos. E a última etapa desse processo é a de calafetação de interiores, realizada após ser transferida do gancho aéreo para um *skid* convencional e seguir para a complementação das demais atividades do processo de pintura, conforme destacado em vermelho na Figura 28 do Capítulo 3.

O ciclo de operação dessas células tem início na identificação da unidade, essa informação é obtida por um leitor de código de barras, identificando o número do *skid*. De posse dessa informação, o CLP que controla o sistema de transporte discutido no Capítulo 3.1 acessa o banco de dados buscando as características da carroceria em questão. Esse banco de dados foi carregado quando a carroceria entrou no processo de pintura e passou por um leitor de código de barras, vinculando as informações do código de barras ao número do gancho de transporte da unidade.

A porção da topologia de rede desse segmento de processo é apresentada na Figura 32, a topologia completa da rede consta no Anexo B.

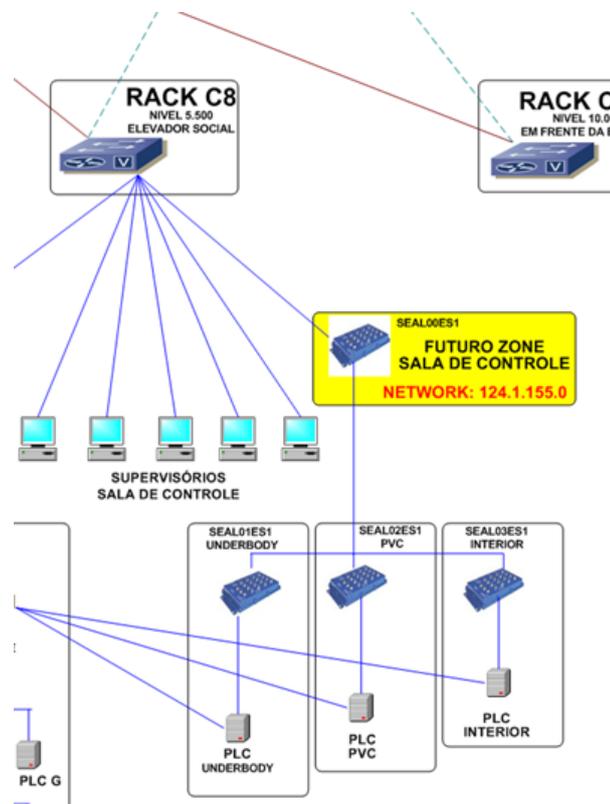


Figura 39 - Segmento de Topologia de Rede (GM, 2000)

O próprio CLP de transporte envia as especificações da carroceria, como modelo e opcionais, para o controlador da célula. Esse, por sua vez, de posse das características da

unidade, verifica a disponibilidade da célula e libera a entrada caso esteja apta para iniciar um novo processo.

Com a confirmação da célula, o controle do transportador inicia a transferência da unidade para dentro da célula, parando a unidade quando o sensor de carroceria em posição é acionado, fechando o centrador. Ao receber o sinal de carroceria em posição e centrador fechado, o CLP da célula cruza a informação recebida do sistema de controle do transportador com uma planilha de referência, identificando a qual código de trabalho ela repassa as informações das carrocerias para as unidades centrais de processamento dos robôs (UCPs).

Essas unidades buscam em sua memória qual programa deve ser executado em função do código recebido do controlador da célula, sendo que o primeiro processo a ser executado é a verificação da posição da carroceria pelo sistema de visão, solução adotada para minimizar o problema de variação da posição das carrocerias.

A topologia do sistema de visão dessa célula é centralizada e utiliza um dos dois robôs como mestre para efetuar o processamento e a identificação da posição dos alvos da carroceria dentro da célula, estabelecendo o plano de referência para ela e verificando o quanto está deslocado em relação ao zero da célula. Assim, esse controlador efetua o cálculo da matriz de transformação para corrigir a posição dos pontos da trajetória dos robôs, demandando em torno de 20 segundos para o controlador mestre do sistema de visão confirmar de que a variação de posição da carroceria está dentro dos limites, que o cálculo foi concluído e a matriz de correção foi repassada para o controlador escravo, iniciando então a aplicação do material.

Esse fluxo é similar para as três estações, tanto de calafetação de assoalho, proteção contra batida de pedra quanto para a de calafetação de interiores e é apresentado na Figura 40.

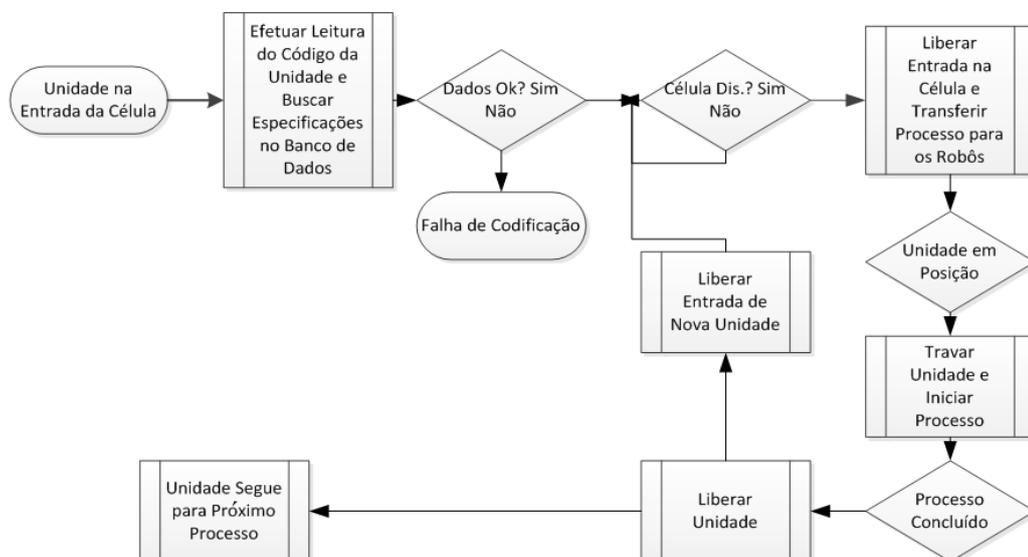


Figura 40 - Fluxo de Operação das Células (ROSA; SOUSA; KENCHIAN, 2014)

Já no que se refere ao sistema de bombeamento de material, a célula de proteção contra batida de pedra possui um tanque de abastecimento individual e um sistema de controle de vazão indireto por pressão sem medição de temperatura. Porém o processo de vedação automático e o processo de vedação manual daqueles filetes que são visíveis ao cliente e, portanto, requerem acabamento estético, compartilham o mesmo tanque de abastecimento, apresentando um conflito, pois a especificação de viscosidades de trabalho é diferente para os dois métodos de aplicação, sendo que as células de vedação possuem ISD de simples ação discutido no Capítulo 2.5.

Por fim, dos tipos de robôs apresentados no Capítulo 2.4, o que mais se encaixou nessa operação, devido aos graus de liberdade que possui, é o *Joint-Linked*, pois permite que o efetuator seja movimentado em qualquer direção dentro do espaço de trabalho do robô, inclusive acessando compartimentos restritos.

### 3.4.1 CÉLULA DE CALAFETAÇÃO DE ASSOALHO

A estação de vedação de assoalho é composta por dois robôs Fanuc® M16iL® (capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 quilos e com braço alongado para trabalhos na região da caixa de roda e assoalho) sobre trilhos, conforme a Figura 41.

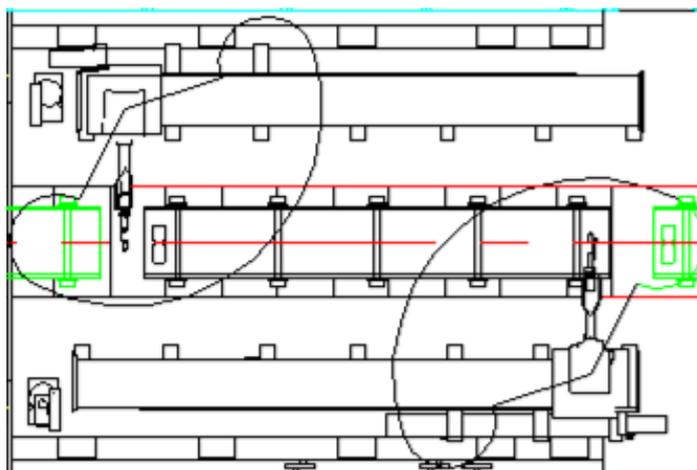


Figura 41 - Célula de Calafetação de Assoalho (GM®, 2000)

O controlador desses robôs é o RJ2®, com capacidade para gerir os seis eixos conectados diretamente à CPU e mais uma extensão para controlar o sétimo eixo que comanda o trilho.

Para efetuar a aplicação do material, os robôs são equipados com um bico de filete sem assistência de ar comprimido, que possui limitação de diâmetro devido ao consumo. Isso reflete na necessidade de acabamento manual para garantir a vedação.

### 3.4.2 CÉLULA DE PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA

A célula de proteção contra batida de pedra é composta por três robôs Fanuc® M16i® (capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 quilos e com braço padrão para trabalhos na região da caixa de roda e assoalho) fixos em pedestais, conforme a Figura 42, com duas pistolas de aplicação posicionadas com 45 graus de defasagem entre elas, de forma a minimizar a movimentação dos robôs para a aplicação.

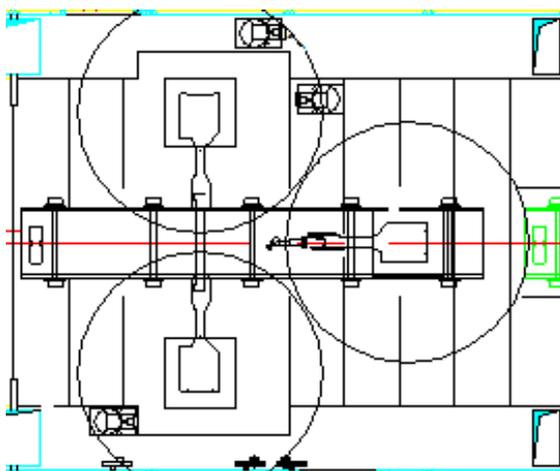


Figura 42 - Célula de Proteção Contra Batida de Pedra (GM®, 2000)

Diferentemente da célula de calafetação do assoalho, essa apresenta uma certa limitação de acesso, uma vez que não possui trilhos e o processo executado nela não requer robôs com braço alongado devido ao método de aplicação. Para isso, eles são equipados com pistola de aplicação por borrifação sem assistência de ar comprimido, apresentando uma abertura em torno de 200 mm e com recomendação de distância de aplicação (entre a ponta da pistola e a superfície que receberá o material) de 250 mm sendo que esse processo não requer intervenção manual após a aplicação.

### 3.4.3 CÉLULA DE VEDAÇÃO INTERNA

A célula de calafetação interna é composta por três robôs Fanuc® S500® (capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 quilos e com braço longo para trabalhos no interior da carroceria), dois sobre um trilho longo e um sobre um trilho mais curto, conforme a Figura 40, de forma a terem acesso aos diferentes compartimentos da carroceria simultaneamente, um para o compartimento do motor (pela abertura da tampa dele), outro para o habitáculo (pela janela) e por fim um para o compartimento da mala (pela abertura da tampa dela).

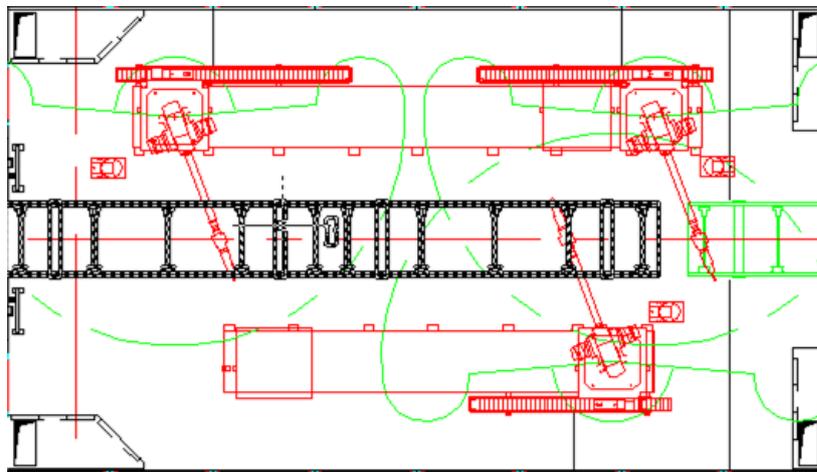


Figura 43 - Célula de Calafetação Interna (GM®, 2000)

Essa célula não possui sistema de abertura das tampas do compartimento do motor e da mala, sendo essa operação executada na última estação manual antes da célula de calafetação automática.

Devido às restrições de espaço para a movimentação desses robôs, eles possuem um sistema de detecção de esforço, que dispara um alarme de colisão ao ser acionado. Trata-se de um sensor mecânico da posição da pistola de aplicação. O menor deslocamento dela é capaz de acioná-lo, gerando uma falha que solicita a verificação do grupo de manutenção.

Para a selagem interna do habitáculo, os robôs são equipados com pistolas de filete sem ar assistido, similar ao recurso disponível na célula de calafetação de assoalho. Portanto, também para esse processo é necessário acabamento manual para garantir a vedação.

### 3.5 ANÁLISE DAS RESTRIÇÕES DAS CÉLULAS

Após a descrição da base instalada nas células automáticas de vedação de assoalho, proteção contra batida de pedra e de calafetação de interiores, é possível fazer um levantamento dos fatores que limitavam as células em termos de capacidade e ergonomia.

#### 3.5.1 RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE

Para determinar os fatores que restringiam a capacidade de produção das estações automáticas, foram levantados os tempos demandados por cada um dos sub-processos do sistema, desde a identificação da carroceria até a conclusão do processo de vedação.

O fluxo de operação de cada estação identifica a carroceria antes da célula, autoriza a entrada dela, trava-a na posição, aciona o sistema de visão para identificar a posição do plano composto pelos alvos da carroceria e determina a matriz de correção da trajetória dos robôs, a execução do processo, o retorno dos robôs à posição inicial, a abertura do centrador da carroceria e a liberação da saída da unidade. Vale salientar que a estação já trabalha em comboio, ou seja, se houver carroceria na entrada da célula quando a unidade no interior é liberada executa-se a transferência dessa para fora e da unidade que está para entrar simultaneamente.

A média desses tempos da estação de vedação de assoalho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de Ciclo Antigo Calafetação de Assoalho

Processo	Tempo (s)
Ciclo do Transportador (incluindo a identificação da carroceria)	12
Ciclo do Sistema de Visão	20
Ciclo de Processo	33

Com base nesses tempos de ciclo, a máxima velocidade bruta que se pode rodar nessas células é de 55 carrocerias por hora bruta considerando uma quantidade de 18 metros lineares de vedação de assoalho, conforme requerido pelo produto corrente. Já os tempos para a célula de aplicação de PVC são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de Ciclo Proteção contra Batida de Pedra

Processo	Tempo (s)
Ciclo do Transportador (incluindo a identificação da carroceria)	12
Ciclo do Sistema de Visão	20
Ciclo de Processo	31

Com base nesses tempos de ciclo, a máxima velocidade bruta que se pode rodar nessas células é de 57 carrocerias por hora bruta considerando uma quantidade de quatro metros quadrados de cobertura para proteção contra batida de pedra, conforme especificado pelo produto corrente. Já os tempos para a célula calafetação de interior são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Tempo de Ciclo Vedação Interna

Processo	Tempo (s)
Ciclo do Transportador (incluindo a identificação da carroceria)	12
Ciclo do Sistema de Visão	20
Ciclo de Processo	33

Com base nesses tempos de ciclo, a máxima velocidade bruta que se pode rodar nessas células é de 55 carrocerias por hora bruta considerando uma quantidade de 14 metros lineares de vedação de interior seguindo as necessidades do produto atual.

Vale aqui salientar que os dados históricos de tempo para reparo e demais intervenções dessas células é de 10 %, ou seja, considerando o produto corrente, a capacidade líquida máxima da célula de calafetação de assoalho é de 49,5 unidades por hora. Já na célula de proteção contra batida de pedra é de 51,3 e na de vedação de interior de 49,5 carrocerias por hora, conforme consolidado na Tabela 4.

Tabela 4 - Tempos de Ciclo

Processo	Célula 1	Célula 2	Célula 3
Transportador	12 s	12 s	12 s
Sistema de Visão	20 s	20 s	20 s
Processo	33 s	31 s	33 s
Total	65 s	63 s	65 s
Capacidade Bruta	55 carros/hora	57 carros/hora	55 carros/hora
Capacidade Líquida (-10 %)	49,5 carros/hora	51,3 carros/hora	49,5 carros/hora

A capacidade bruta das células não era suficiente para tirar o volume líquido requerido de 53 unidades por hora quando considerada a disponibilidade operacional de 90%. A compensação desse volume era feita rodando esse trecho do processo automatizado durante os intervalos de produção da fábrica.

### 3.5.2 LIMITAÇÕES DE FLEXIBILIDADE

Os controladores dos robôs das células originais são RJ2® com baixa capacidade de memória, restringindo a quantidade de processos que poderiam ser armazenados inviabilizando a utilização deles para um sistema destinado a aplicar em cinco modelos diferentes, por isso ao menos os robôs precisariam de atualização dos controladores.

### 3.5.3 LIMITAÇÕES ERGONÔMICAS

O método de aplicação de massa de vedação instalados nos robôs era o de filete sem assistência de ar, permitindo a extrusão do material com secção de meia elipse de diâmetro máximo de 10mm (após colisão do material com a junção a ser calafetada). Com esse tipo de padrão de aplicação, a área coberta é muito pequena para garantir a vedação.

Para complementar esse processo, é necessário espalhar o material sobre a junção, pressionando-o contra a carroceria garantindo a calafetação. Essa atividade é muito mais leve do que a aplicação de vedante manual, uma vez que o peso da ferramenta utilizada (pincel) é muito menor que o da pistola de aplicação manual somado à porção da mangueira que o operador precisa sustentar acima do nível do ombro e ainda requer o acabamento com pincéis.

Apesar de mais leve que a aplicação manual, o pincelamento também é uma atividade que requer que o operador fique com o braço elevado acima da altura do ombro, sendo o

comprimento total de filetes que necessitavam de acabamento manual por unidade de 10030 milímetros, que representavam 177 segundos de operação, conforme o gráfico da Figura 44.

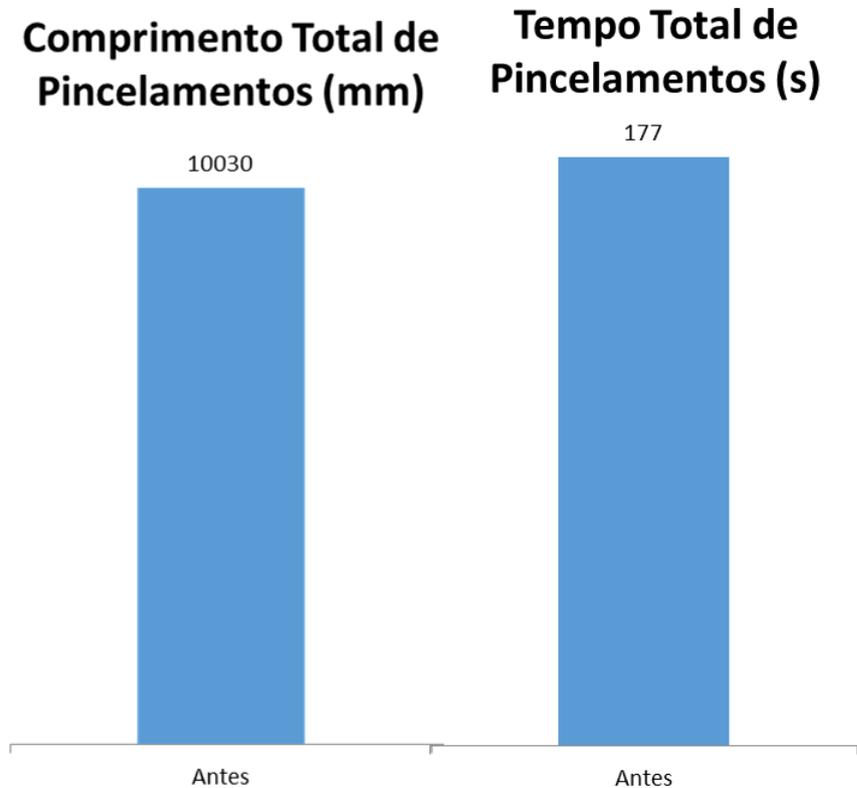


Figura 44 - Análise Ergonômica das Células

#### 3.5.4 DESEMPENHO DE CONSUMO DE MATERIAL

O método de aplicação de massa de vedação instalados nos robôs era o de filete sem assistência de ar, permitindo a extrusão do material com secção de meia elipse de diâmetro máximo de 10 mm (após colisão do material com a junção a ser calafetada), com consumo padrão de 0,04772 litros por metro linear e utilizando o mesmo sistema de bombeamento para as linhas de vedação manual e células automáticas.

## **4 RENOVAÇÃO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA**

O projeto almeja elevar a produção de 53 para 63 carrocerias por hora (aumento de 120 mil unidades por ano), flexibilizar as células para introduzir novos modelos, reduzir a necessidade de intervenção manual para acabamento e reduzir a utilização de material.

### **4.1 REQUISITOS DE PRODUTO**

O escopo do projeto contempla a introdução de dois novos modelos de uma plataforma global, cujo *design* busca atender às recomendações para permitir a vedação automatizada das carrocerias. Também segue a diretriz de efetuar a vedação da carroceria por fora das unidades, atribuindo dupla função aos filetes de calafetação: vedação e proteção contra corrosão de aresta nas junções de chapa.

Esses dois novos modelos possuem como especificação de produto 24 metros linear de calafetação de assoalho, três metros quadrados de aplicação de PVC contra batida de pedra e 18 metros lineares de calafetação interna.

Além desses dois novos produtos, é necessário também manter os processos relativos aos demais modelos, no total tratam-se de cinco programas. Em função desse acréscimo de modelos, a capacidade de produção da planta precisa ser aumentada para 63 carrocerias por hora líquidas; acrescentando-se 10 % para compensar as paradas de manutenção, tem-se como objetivo 70 unidades por hora brutas.

### **4.2 ADAPTAÇÃO DAS CÉLULAS**

Com base no escopo de projeto e nas limitações das células apresentadas no Capítulo 3.5, buscou-se soluções viáveis para modificar as células e atender os requisitos nas tecnologias disponíveis no mercado e aplicadas em sistemas de vedação, apresentadas nos Capítulos 2, 3.1, 3.2 e 3.3.

### **4.3 AUMENTO DE CAPACIDADE DAS CÉLULAS**

Além do aumento de velocidade para 63 carrocerias por hora, é necessário considerar a especificação de produto com maior conteúdo de calafetação e aplicação de PVC contra batida de pedra.

Com base nisso, analisando as limitações de cada etapa do ciclo da célula, o primeiro item a ser discutido é o tempo de transporte, partindo-se para o sistema de visão e concluindo com o tempo destinado ao processo propriamente dito.

#### **4.3.1 TRANSPORTADOR**

O tempo de transporte que já em comboio representa 12 segundos, considerando que o comprimento do gancho de transporte de 4,5 m e o espaçamento entre eles é de 0,5 m, esse tempo de ciclo representa uma velocidade de 25 metros por minuto.

Essa velocidade linear já é classificada como alta para os padrões de segurança conforme a norma global de transportadores interna da empresa onde foi realizado o estudo de caso (GCS-1-30327), dessa forma a velocidade linear de transporte das unidades não poderia ser aumentada. Além disso ela é a menor parcela de tempo de ciclo dentro dos sub-processos das células.

#### **4.3.2 SISTEMA DE VISÃO**

Partindo-se para o próximo item, tem-se o sistema de visão demandando 20 segundos para efetuar o reconhecimento das unidades e determinação da matriz de correção de trajetória. Vale salientar que somente depois dessa etapa que se tem início de fato o processo de trabalho dos robôs.

Os sistemas de visão 2D atuais apresentam tempo de ciclo inferior a 2 s. Esse critério foi incluído como requisito no memorial descritivo, sendo que tanto a opção integrada ao controlador de um dos robôs como a de gabinete específico atendem essa especificação.

#### **4.3.3 PROCESSO**

Tendo-se chegado a duas possíveis soluções que atendiam os requisitos de minimizar o tempo de ciclo desta etapa de processo, partiu-se para a análise do tempo para a aplicação dos materiais, com o aumento de velocidade para 63 carrocerias por hora e considerando uma

especificação de sobre-velocidade de 10 % para cobrir tempos de parada e eventuais aumentos futuros, tem-se como requisito uma velocidade bruta de 70 unidades por hora.

Nessa velocidade tem-se 51 segundos de tempo de ciclo para a célula, sendo 12 destinados ao transportador e dois destinados ao sistema de visão, restam 37 segundos para o processo de aplicação. Isso significa que as células precisam aplicar 24 metros lineares de calafetação de assoalho, três metros quadrados de aplicação de PVC contra batida de pedra e 18 metros lineares de calafetação interna dentro desse tempo.

Esses critérios de tempo de ciclo para o sistema de visão para o processo fizeram parte da especificação do memorial descritivo junto com uma análise do autor sobre quantidade de robôs, que será melhor discutida no Capítulo 4.7.

Também foi solicitada uma análise de processo aos fornecedores, entretanto não foi autorizada a sua publicação. Essa análise se assemelha à programação virtual da aplicação para verificar se os robôs propostos conseguem atingir os pontos de aplicação e efetuar-la dentro do tempo previsto, caso contrário é adicionado mais um robô ou proposto outro modelo, conforme resultado da análise de alcance, conforme ilustrado pela Figura 45.

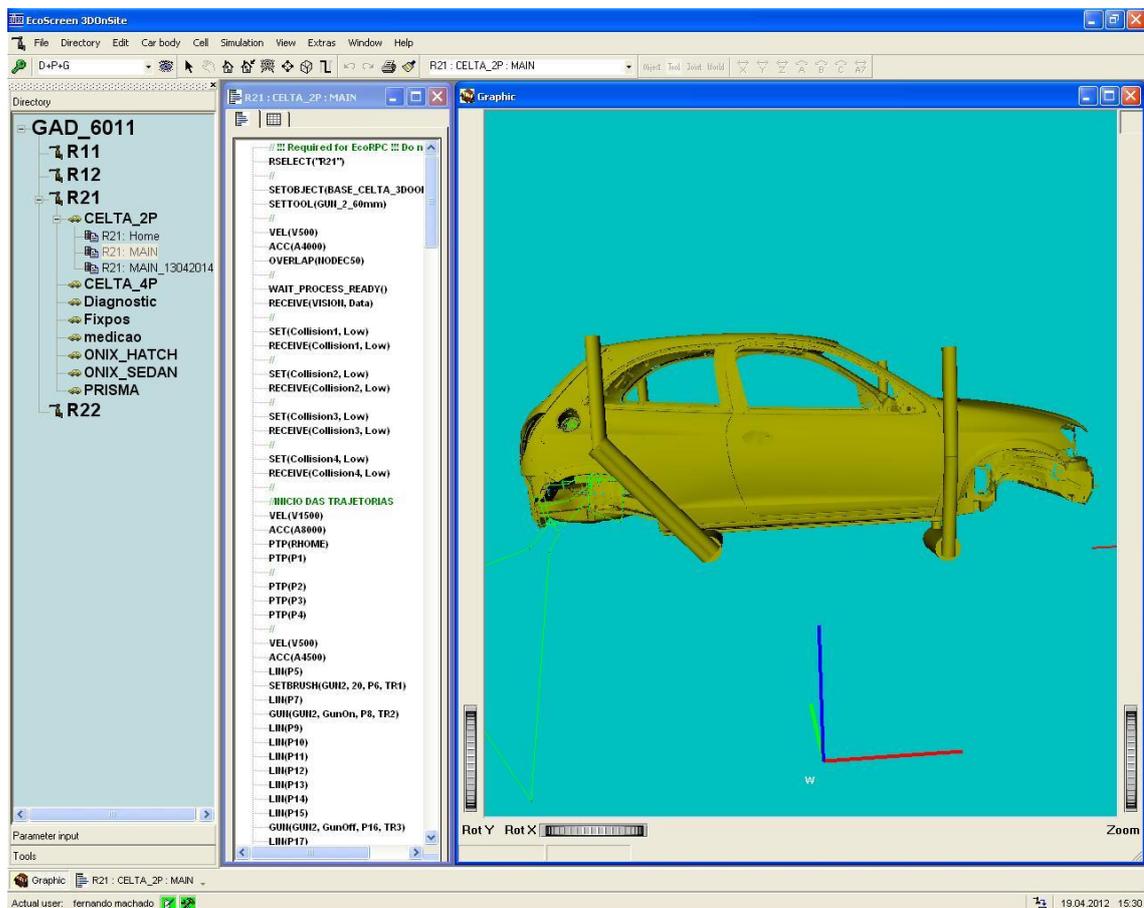


Figura 45 - Análise de Processo (DÜRR®, 2012)

Com base nos resultados dessa simulação (que não foi autorizada a divulgação por parte da planta de estudo de caso) confirmou-se a estimativa do autor de que seria necessário quatro robôs para a estação de vedação de assoalho sobre trilhos para permitir o alcance nos pontos de aplicação, quatro robôs para a célula de PVC em pedestal e seis robôs para a estação de calafetação interna.

Analisou-se a possibilidade de reuso dos robôs existentes com as respectivas modificações para atender o projeto, todavia o sistema antigo não era capaz de comunicar-se com os sistemas de visão rápidos, sendo mais caro atualizar os robôs existentes do que adquirir novos robôs.

Trabalhando-se com a opção de novos robôs, a opção mais viável economicamente para o sistema de visão foi a implementação da topologia separada do controlador do robô, sendo o ganhador da concorrência o fornecedor com marca ISRA.

Esse sistema, além de permitir a correção de trajetória, também possibilita a utilização de alvos diferentes para cada modelo de carroceria. Isso capacita a célula de fazer uma verificação se o código enviado para o controlador da estação pelo sistema de transporte bate com a localização dos alvos, conforme ilustrado pela Figura 46.



Figura 46 - Alvos de uma Carroceria (DÜRR®, 2012)

## 4.4 FLEXIBILIZAÇÃO

Considerou-se a especificação do sistema para controlar até cinco modelos diferentes com opcionais, portanto os controladores tiveram de ser dimensionados para o equivalente a dez processos diferentes.

## 4.5 REDUÇÃO DOS IMPACTOS ERGONÔMICOS

As células que apresentam impactos ergonômicos eram apenas a de calafetação de assoalho e interna devido à necessidade da intervenção manual para efetuar o acabamento da vedação.

Buscou-se então soluções para os métodos de aplicação de forma a permitir a execução do processo sem requerer posterior intervenção manual.

### 4.5.1 FILETE FINO

Partiu-se então para a escolha do melhor método de aplicação, de forma a cobrir a maior variabilidade de carroceria sem requerer intervenção manual. Conforme evidenciado na Figura 47 o método que cobre a maior faixa de aplicação é o de filete fino.

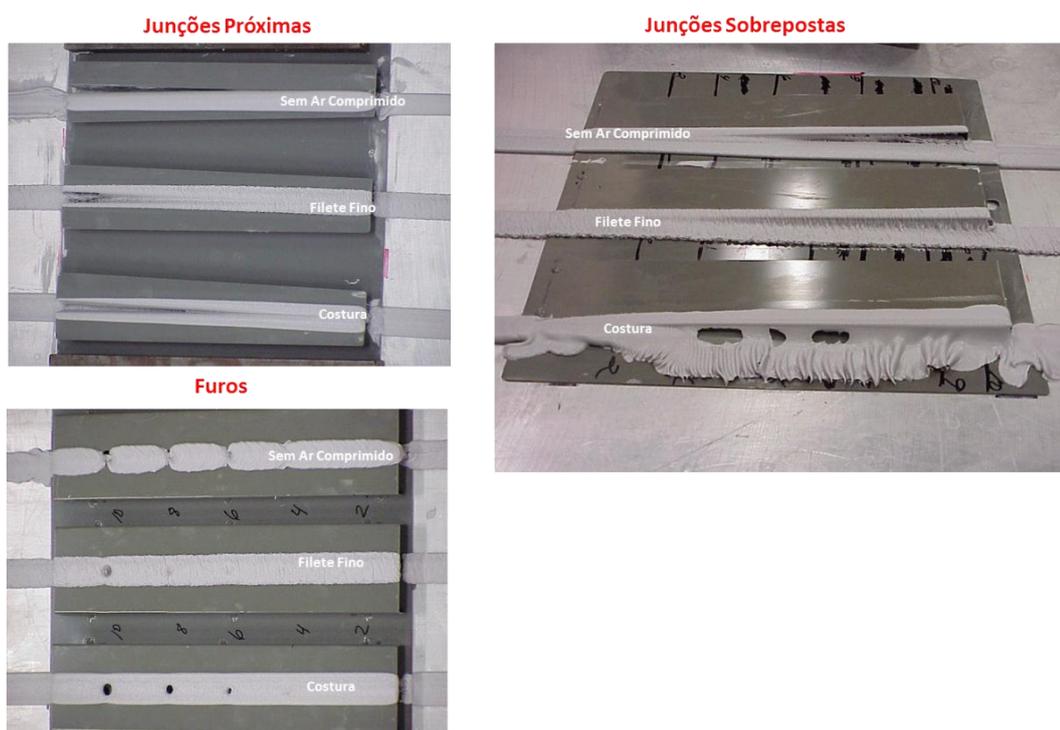


Figura 47 - Desempenhos dos Tipos de Filetes (FANUC®, 2010)

Com esse recurso foi possível obter a margem de tolerância, conforme mostrado na Figura 48.

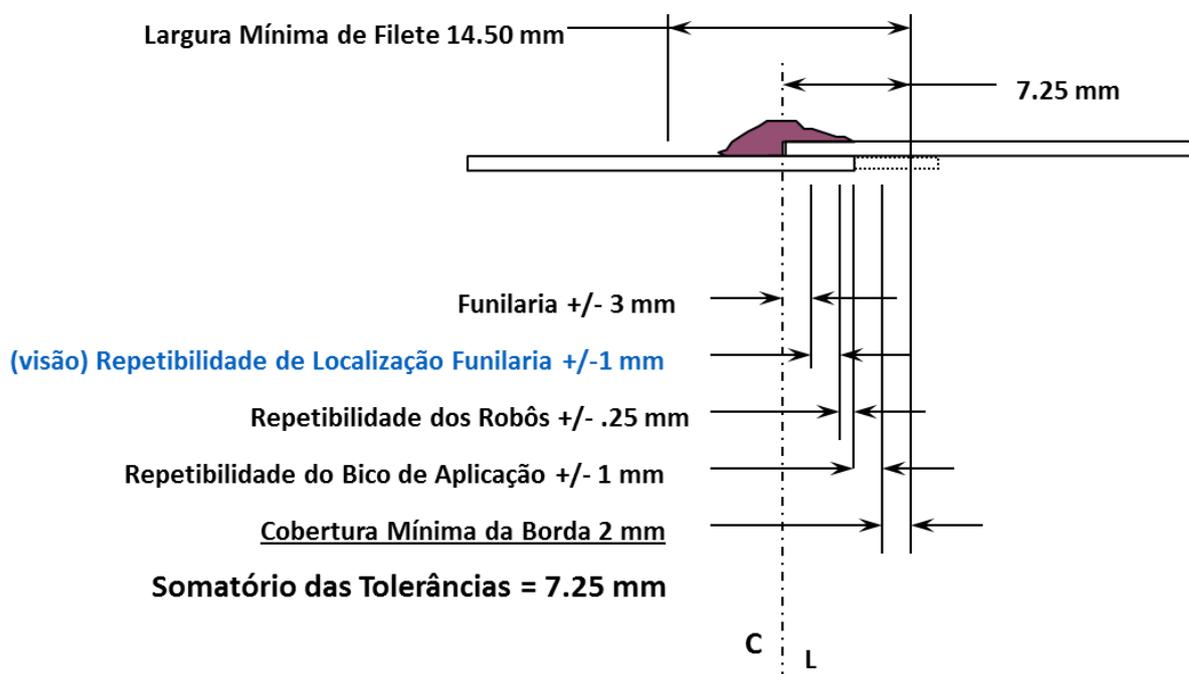


Figura 48 - Tolerâncias Dimensionais (FANUC®, 2010)

#### 4.5.2 APLICADOR MULTIFUNCIONAL E INTELIGENTE

Além do método de aplicação, devido às posições das junções do assoalho e do interior, foi necessária a utilização de aplicadores com mais de um bico ou pistola. Em termos de aplicação de proteção contra batida de pedra, a utilização de duas pistolas defasadas em 45 graus foi suficiente para minimizar e simplificar em muito a trajetória dos robôs.

Devido a essas necessidades, foi desenvolvido um aplicador com três bicos chamado de multifuncional, defasados em 45 graus entre eles, minimizando, dessa forma, as necessidades de movimentação dos robôs para o posicionamento adequado sobre as junções. É importante salientar que os bicos podem ser de diferentes tipos, ou seja, ter-se filete fino em determinada posição e filete convencional em outro, conforme o ilustrado na Figura 49.



Figura 49 - Aplicador Multifuncional (FANUC®, 2010)

Além disso, para dispensar a massa de calafetação, o bico de aplicação precisa estar muito próximo das junções que se pretende vedar e mesmo com o aplicador multifuncional tem-se limitações de posicionamento dos bicos sobre as junções, uma vez que funciona por extrusão, portanto o rasgo do bico precisa estar perpendicular à junção a ser vedada.

Existe um aplicador no mercado que torna isso mais fácil, o aplicador inteligente, que possui, além dos três bicos defasados de 45 graus, um eixo adicional, conforme a Figura 50. Com esse recurso é possível girar somente o punho do dispositivo independentemente do restante dos eixos do robô, tornando mais fácil manter a perpendicularidade do rasgo de extrusão dos bicos em relação às junções.

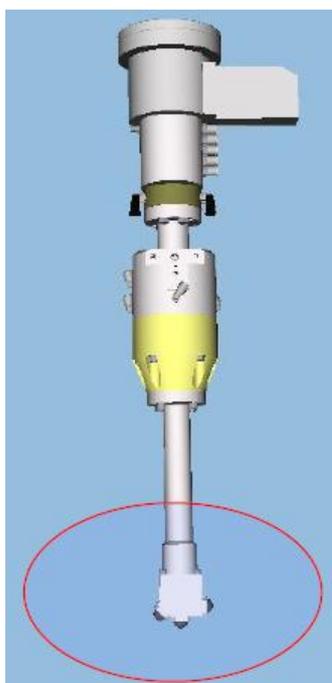


Figura 50 - Aplicador Inteligente (DÜRR®, 2012)

Devido às posições das junções do assoalho e do interior, foi necessária a utilização desse tipo de aplicador com mais um grau de liberdade, introduzindo mais um eixo na movimentação dos robôs.

## **4.6 REDUÇÃO DO CONSUMO DE MATERIAL**

### **4.6.1 FILETE FINO**

A escolha do método de aplicação foi baseada na comparação de robustez para cobrir furos e fendas, de forma a minimizar a necessidade de intervenção. O método de filete fino foi o que apresentou melhor desempenho e ainda assim possui uma tendência a minimizar o uso de material por permitir aumentar a largura do filete sem aumentar a espessura para cobrir junções.

### **4.6.2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO**

Para aprimorar o desempenho de consumo dos robôs, a primeira medida incluída nas especificações foi de instalar um sistema de bombeamento de material específico para os robôs.

Isso permitiu o ajuste da viscosidade de material em função apenas da condição de aplicação das estações automáticas, que requerem que o material tenha uma viscosidade em torno de 22 segundos enquanto para aplicação manual a viscosidade recomendada é de 20 segundos.

## **4.7 OPÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO**

Com a identificação das restrições de capacidade, flexibilidade, ergonomia e de consumo de material das células antigas, foi possível determinar as modificações necessárias, utilizando as tecnologias apresentadas nos Capítulos 2 e 3 para implementar os requisitos do projeto.

Conforme a análise das restrições da célula de vedação de assoalho, seria necessário trocar o sistema de visão, instalar mais dois robôs, pistolas inteligentes em todos os 4 robôs que

compõem a célula e fazer atualização dos controladores já instalados. O resultado da análise dessa célula é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Modificações Necessárias para Célula de Vedação de Assoalho

		<u>Existentes</u>	<u>Novos</u>		
<b>Robôs</b>	<b>Quantidade</b>	2	2		
	<b>Tipo</b>	M-16iL RJ2	M-20 R30iA		
<b>Trilhos</b>	<b>Quantidade</b>	2	1		
	<b>Tipo</b>	5 meter stroke	Dual Arm RTU, 5 m stroke		
<b>Aplicadores</b>	<b>Quantidade</b>	2	4	Substituir o sistema atual	
	<b>Tipo</b>	Single Gun	MFG		
<b>Suporte para Mangueiras</b>		2	2		
<b>Filtros</b>		2	2		
<b>Alimentação de Material</b>	<b>Pontos de Alimentação</b>	2			
	<b>Dimensão das Conexões</b>	3/4"			
<b>Gabaritos de Calibração</b>		2	2		
<b>Sistemas de Medição</b>	<b>Quantidade</b>	2	2		
	<b>Tipo</b>	ISD Shot Meter de Aço Dupla	ISD Shot Meter de Aço Dupla		
<b>Sistema de Controle de Temperatura</b>		(2) Single	(2) Single		
<b>Calibradores</b>		2	2		
<b>Filtros Pneumáticos / Reguladores /</b>		2	2		
<b>Controlador dos Robôs</b>		(2) RJ2	(2) R30iA		
<b>Leitor de Carrocerias</b>		1	0	Reúso do existente	
<b>Console de Controle do Sistema</b>		-	-	Considerar atualizar do PLC5/60 para PLC5/80	
<b>Console de Operação do Sistema</b>		1	-	Adicionar controles para o robô novo	
<b>Painel de Controle Manual</b>		-	-		
<b>Painel de Alimentação de Potência</b>		-	-	Adicionar alimentação para os robôs novos	
<b>Sistema de Visão</b>	<b>Câmeras</b>	4	6		
	<b>Lâmpadas</b>	4	6		
	<b>Enclausuramento do Sistema</b>	1	(1) V500-2DV	Substituir o sistema atual	
<b>Dispositivos de Segurança</b>	<b>Zonas de Intrusão</b>	1	-	Usar o existente	
	<b>Cortinas de Luz</b>	0	0	Transportador aéreo, dispensando o uso de cortinas de luz	
	<b>Desligamento Remoto dos Servos</b>		3	4	
			2	2	
	<b>Plugues de Portas</b>	2	-	Usar o existente	
<b>Cercas</b>	-	-			

Quanto à análise das restrições da célula de proteção contra batida de pedras, também seria necessário trocar o sistema de visão, instalar mais dois robôs, pistolas convencionais em todos os 4 robôs que compõem a célula e fazer atualização dos controladores já instalados. O resultado da análise dessa célula é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Modificações Necessárias na Célula de Proteção contra Batida de Pedras

Atividade / Item	PVC Proteção de Assoalho		Comentários	
	Existentes	Novos		
<b>Robôs</b>	<b>Quantidade</b>	3	1	1 robô novo
	<b>Tipo</b>	M-16i RJ2	M-20 R30iA	
<b>Trilhos</b>	<b>Quantidade</b>	0	0	
	<b>Tipo</b>	Robôs de Pedestal	Robôs de Pedestal	
<b>Aplicadores</b>	<b>Quantidade</b>	3	4	
	<b>Tipo</b>	Dual Gun	MFG	
<b>Suporte para Mangueiras</b>		3	1	
<b>Filtros</b>		3	1	
<b>Alimentação de Material</b>	<b>Pontos de Alimentação</b>	3	2	
	<b>Dimensão das Conexões</b>	3/4"	3/4"	
<b>Gabaritos de Calibração</b>		3	1	
<b>Sistemas de Medição</b>	<b>Quantidade</b>	3	1	
	<b>Tipo</b>	Regulador de Pressão	Regulador de Pressão	
<b>Sistema de Controle de Temperatura</b>		(1) Single (1) Dual	(1) Single	
<b>Calibradores</b>		3	1	
<b>Filtros Pneumáticos / Reguladores /</b>		3	1	
<b>Controlador dos Robôs</b>		(3) RJ2	(1) R30iA	
<b>Leitor de Carrocerias</b>		1	0	Reúso do existente
<b>Console de Controle do Sistema</b>		-	-	Considerar atualizar do PLC5/60 para PLC5/80
<b>Console de Operação do Sistema</b>		-	-	
<b>Painel de Controle Manual</b>		1	-	Adicionar controles para o robô novo
<b>Painel de Alimentação de Potência</b>		-	-	Adicionar alimentação para o robô novo
<b>Sistema de Visão</b>	<b>Câmeras</b>	4	6	Substituir o sistema atual
	<b>Lâmpadas</b>	4	6	
	<b>Enclausuramento do Sistema</b>	1	(1) V500-2DV	
<b>Dispositivos de Segurança</b>	<b>Zonas de Intrusão</b>	1	-	Usar o existente
	<b>Cortinas de Luz</b>	0	0	Transportador aéreo, dispensando o uso de cortinas de luz
	<b>Desligamento Remoto dos Servos</b>	3	1	
	<b>Plugues de Portas</b>	2	-	Usar o existente
	<b>Cercas</b>	-	-	

Por fim, com a análise das restrições da célula de vedação de interiores, seria necessário trocar o sistema de visão, instalar mais três robôs, pistolas inteligentes em todos os 6 robôs que compõem a célula e fazer atualização dos controladores já instalados. O resultado da análise dessa célula é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Modificações Necessárias na Célula de Vedação de Interiores

Atividade / Item		Vedação de Interiores		Comentários
		Existentes	Novos	
<b>Robôs</b>	<b>Quantidade</b>	3	3	
	<b>Tipo</b>	S-500 RJ2 Rails	M-710 R30iA	
<b>Trilhos</b>	<b>Quantidade</b>	2	2	
	<b>Tipo</b>	(1) Single Arm Rail (1) Dual Arm Rail	(1) Single Arm RTU (1) Dual Arm RTU	Manter a célula atual com 3 robôs e instalar nova célula com os 3 robôs adicionais
<b>Aplicadores</b>	<b>Quantidade</b>	3	6	Substituir o sistema atual
	<b>Tipo</b>	Single gun	MFG	
<b>Suporte para Mangueiras</b>		3	3	
<b>Filtros</b>		3	3	
<b>Alimentação de Material</b>	<b>Pontos de Alimentação</b>	3	3	
	<b>Dimensão das Conexões</b>	3/4"	3/4"	
<b>Gabaritos de Calibração</b>		3	3	
<b>Sistemas de Medição</b>	<b>Quantidade</b>	3	3	
	<b>Tipo</b>	ISD Shot Meter de Ação Dupla	ISD Shot Meter de Ação Dupla	
<b>Sistema de Controle de Temperatura</b>		(3) Single	(3) Single	
<b>Calibradores</b>		3	3	
<b>Filtros Pneumáticos / Reguladores /</b>		3	3	
<b>Controlador dos Robôs</b>		(3) RJ2	(3) R30iA	
<b>Leitor de Carrocerias</b>		1	0	Reúso do existente
<b>Console de Controle do Sistema</b>		-	1	Considerar atualizar do PLC5/60 para PLC5/80
<b>Console de Operação do Sistema</b>		1	-	Adicionar controles para o robô novo
<b>Painel de Controle Manual</b>		-	-	
<b>Painel de Alimentação de Potência</b>		-	1	Adicionar alimentação para os robôs novos
<b>Sistema de Visão</b>	<b>Câmeras</b>	4	6	
	<b>Lâmpadas</b>	4	6	
	<b>Enclausuramento do Sistema</b>	1	(1) V500-2DV	Substituir o sistema atual
<b>Dispositivos de Segurança</b>	<b>Zonas de Intrusão</b>	1	1	Usar o existente
	<b>Cortinas de Luz</b>	2	2	Sistema individual por célula
	<b>Desligamento Remoto dos Servos</b>	3	3	
	<b>Plugues de Portas</b>	2	2	
	<b>Cercas</b>	Existente	Conforme necessário para a célula nova	

A opção de reforma tem o escopo completo apresentado no Anexo C e somente poderia ser executada pelo fornecedor original das células. Para incluir outros fornecedores na concorrência, foi considerado no processo de compra a opção de células novas, para as quais mais fornecedores se habilitaram.

Essa foi a opção mais viável, sendo que o preço do concorrente ficou 3 por cento menor do que o do fornecedor original das células para troca das células antigas por novas. Por isso

foi a opção escolhida para a renovação das células de vedação e proteção contra batida de pedra da planta do estudo de caso.

Após a nomeação do fornecedor das novas células, foram enviados os desenhos em três dimensões dos cinco modelos, com o conteúdo de processo para programação virtual e também foram enviadas carrocerias físicas para posterior conferência e ajuste.

A programação foi realizada como referência a um sistema de coordenadas no site do fornecedor que depois durante a implementação foram ajustados para o sistema de coordenadas final na planta de estudo de caso.

#### 4.8 NOVA CÉLULA DE VEDAÇÃO DE ASSOALHO

O resultado da análise de processo ilustrada pela Figura 45 do Capítulo 4.3.3 confirmou a necessidade de 4 robôs, sendo que a nova estação utiliza robôs Joint-Linked Dürr® com capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 kg, EcoRS16-2® com detalhes e envelope de trabalho ilustrados no Anexo D, com braço padrão montados sobre trilhos e equipados com uma pistola inteligente de filete fino ilustrada no Anexo E, com aplicadores em três diferentes ângulos e mais um eixo adicional, conforme a Figura 51.

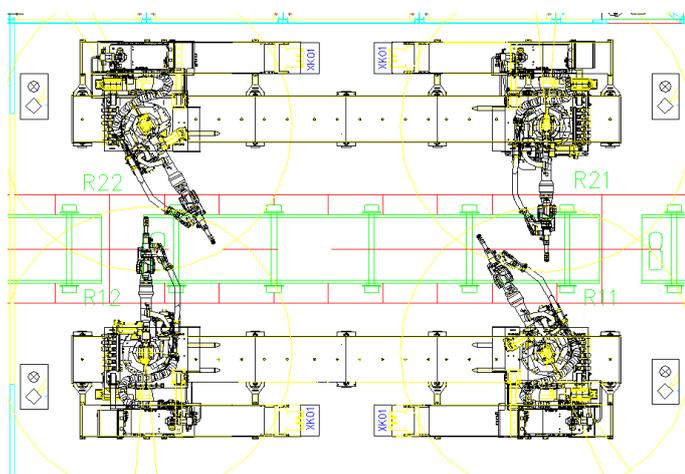


Figura 51 - Novas Células de Vedação de Assoalho (DÜRR®, 2012)

No Anexo F são apresentadas a visão de topo e a seção transversal da célula de calafetação de assoalhos.

#### 4.9 NOVA CÉLULA DE PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRA

O resultado da análise de processo ilustrada pela Figura 45 do Capítulo 4.3.3 confirmou a necessidade de 4 robôs, sendo que a nova estação utiliza robôs Joint-Linked Dürr® com capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 kg, EcoRS16-2® com detalhes e envelope de trabalho ilustrados no Anexo D, com braço padrão fixos em pedestais e equipados com uma pistola de borrifação sem assistência de ar comprimido ilustrada no Anexo G, apresentando uma abertura em torno de 200 mm de leque e com distância de aplicação (entre a ponta da pistola e a superfície que receberá o material) de 250 mm, Figura 52.

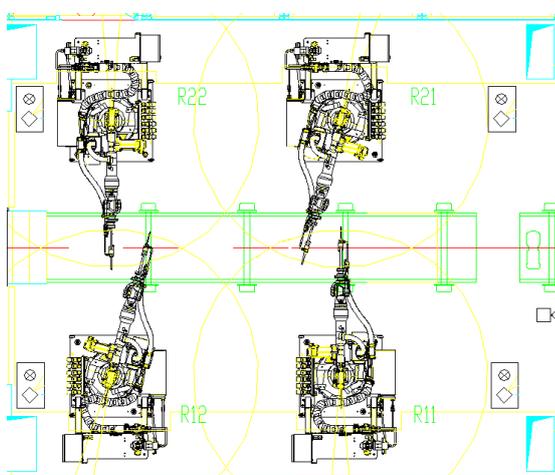


Figura 52 - Novas Células de Proteção contra Batida de Pedras (DÜRR®, 2012)

No Anexo H são apresentadas a visão de topo e a seção transversal da célula de proteção contra batida de pedras.

#### 4.10 NOVA CÉLULA DE VEDAÇÃO DE INTERIORES

O resultado da análise de processo ilustrada pela Figura 45 do Capítulo 4.3.3 confirmou a necessidade de 4 robôs, sendo que a nova estação utiliza robôs Joint-Linked Dürr® com capacidade de suportar uma ferramenta de até 16 kg, EcoRS30 L16-2® com detalhes e envelope de trabalho ilustrados no Anexo I, com braço alongado e equipados com uma pistola inteligente de filete fino ilustrada no Anexo E, conforme a Figura 53.

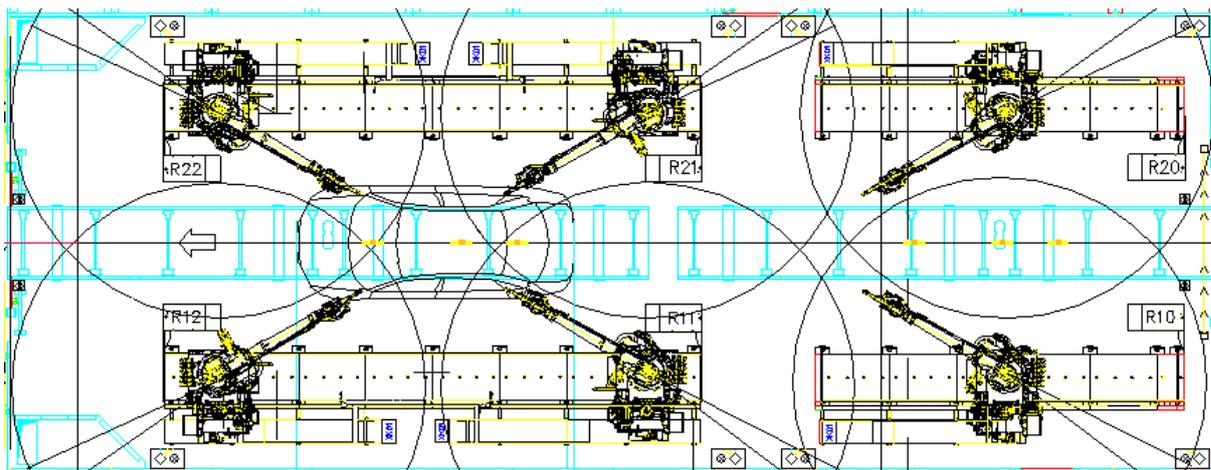


Figura 53 - Novas Células de Vedação de Interiores (DÜRR®, 2012)

No Anexo J são apresentadas a visão de topo e a seção transversal da célula de vedação de interiores.

Durante a implementação dessa célula, surgiu um problema não previsto devido às adaptações dos *skids* para os novos modelos. O plano de modificação desses ganchos foi realizado concomitante com a produção, sendo que os modelos novos eram sincronizados com os *skids* modificados. Entretanto, esses *skids* modificados alteraram a altura dos modelos já existentes na planta.

Por isso, até a conclusão das modificações dos ganchos de transporte, o sistema de visão foi responsável não somente por corrigir as oscilações normais de posicionamento das carrocerias, mas também por corrigir a diferença de altura em função dos dois tipos de *skids* que coexistiam na linha.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados obtidos com a implementação das modificações discutidas no Capítulo 4 podem ser apresentados divididos em capacidade e ergonomia.

A Tabela 8 mostra os volumes de produção que as células ficaram habilitadas em comparação com os valores originais.

Tabela 8 - Resultados de Capacidade

Célula	Valores Originais		Pós Implementação	
	Tempo (s)	Carros/h	Tempo (s)	Carros/h
#1 - Vedação de Assoalho	65	53	51	70
#2 - Proteção contra Batida de Pedra	63	57	44	81
#3 - Vedação Interna	65	55	48	75

Detalhando esses resultados, com a implementação das modificações nas células manteve-se o tempo de ciclo de transporte em 12 segundos, reduzindo o tempo requerido pelo sistema de visão para dois segundos, ganhando 18 segundos.

Já no tocante ao tempo para execução de processo, a célula de vedação de assoalho ficou com 37 segundos. Em relação à célula de proteção contra batida de pedra, o tempo de ciclo ficou em 30 segundos e por fim o tempo de ciclo na célula de calafetação interna ficou em 35 segundos. Vale mencionar que esses tempos foram medidos na prática e após ajustes de trajetória e sequência de execução durante a configuração em loco, nas estações.

Frente a esses resultados, o tempo total de ciclo para a célula de calafetação de assoalho ficou em 51 segundos representando 70 carrocerias por hora; para a aplicação de PVC ficou em 44 segundos podendo chegar a 81 carrocerias por hora; e a célula de vedação de interiores atingiu 48 segundos chegando a 75 carrocerias por hora. Dessa forma a capacidade do sistema ficou em 70 carrocerias por horas brutas.

Além desses resultados de capacidade, flexibilizou-se as células adicionando-se dois novos modelos. Assim as células ficaram habilitadas para produzirem até cinco tipos de veículos diferentes, três já existentes na planta e dois adicionais.

Partindo-se, então, para a análise dos resultados ergonômicos nas células de calafetação, no processo de vedação de assoalho, foi possível reduzir o conteúdo de operação manual em 70 % nas estações de acabamento de vedação, como se observa na Figura 54.

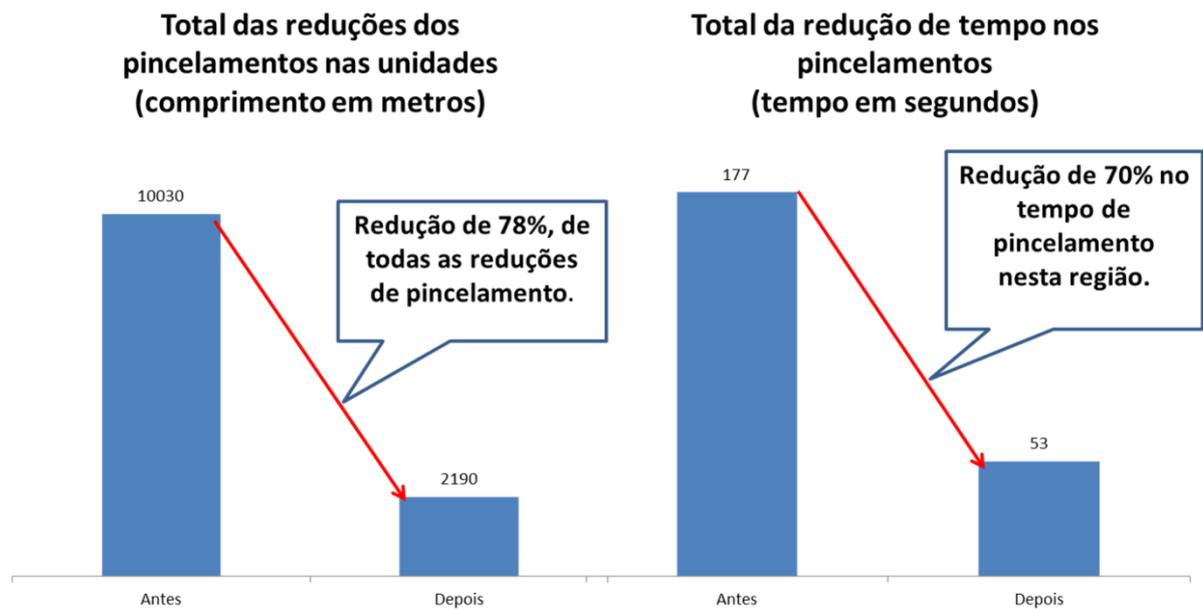


Figura 54 - Redução de Pincelamento

Como último objetivo específico, tinha-se a redução de consumo de material nas células de vedação, tendo-se empregado o método de aplicação de filete fino com sistema de bombeamento específico para as células automáticas, permitindo ajustar a viscosidade de acordo com o desempenho dos robôs sem impactos nas estações manuais. Com isso reduziu-se o consumo padrão em 8%, de 0,04772 litros por metro linear para 0,04390 litros por metro linear.

## 6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Um fator importante identificado nesse estudo de caso é quanto à concorrência como forma de obter preços menores, evidenciado pelo comparativo entre as opções de reforma e renovação total das células. Embora a reforma requeresse menor quantidade de robôs, custava em torno de três por cento mais cara do que a renovação total das células.

Outro ponto importante foi quanto à eficiência do sistema de visão, que para as células de vedação de interiores foi capaz de compensar a diferença de posicionamento entre os *skids* modificados e antigos para os três modelos que já estavam disponíveis na planta. Esse recurso não seria possível com outros métodos de posicionamento e unidades, como o *lift and locating*.

Quanto aos resultados discutidos no Capítulo 5, concluiu-se que em termos de aumento de capacidade os objetivos do projeto foram atingidos, além de implementar a flexibilização introduzindo mais dois modelos na planta.

Já no que se refere à ergonomia, foi possível reduzir consideravelmente a exposição dos operadores a condições que oferecem risco de LER, além de obter uma excelente redução de 8 % no consumo por metro linear das células de vedação de carrocerias.

### 6.1 PERSPECTIVAS

Considerando esses dois últimos objetivos, existe a possibilidade de melhorar ainda mais os resultados nas células de vedação, focando no controle do perfil do filete aplicado utilizando um sistema de controle de vazão direta, como os servos dispensadores integrados.

## REFERÊNCIAS

CRAIG, John J. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 3. Ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2005.

DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO DÜRR®, **P2101210**: Projeto para Planta de Gravataí, São Paulo – Brasil: DÜRR®, 2012.

DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO GM®, **AI5-L1-044/97**: Projeto *Blue Macaw* para Planta de Gravataí, São Paulo – Brasil: GM®, 2000.

ERGONOMIA - MOVIMENTAÇÃO MANUAL - PARTE 3, **ABNT/CEE-136**: Manipulação de Cargas Leve sem Alta Frequência de Repetição, Brasil, 2013.

ESTUDO DE PROCESSO FANUC®, **RFQ 27050**: Projeto para Planta de Gravataí, Michigan –Estados Unidos: FANUC®, 2010.

FRANÇA, Fernando A. **Instrumentação e Medidas**: Grandezas Mecânicas. 1. ed. Campinas: UNICAMP, 2007.

GOLDSCHMIDT, Artur. *BASF Handbook on Basics of Coating Technology*. 2. Ed. Alemanha: BASF®, 2007.

GROOVER, Michael P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. 4. ed. Estados Unidos: Wiley, 2010.

GUEDES, Manuel Vaz. **Motor de Indução Trifásico**. Portugal, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.

LIMA, Hudson Legnar. “**Sensores Indutivos**”. Departamento de Engenharia Elétrica, UFRN, Rio Grande do Norte, Brasil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 200129500, 28 novembro 2008.

MIAZAKI, Alison Akio Paulo. **CLP - Controladores Lógico Programáveis**. São Paulo, Brasil, USP, PCS2038, 2010.

NORMA GLOBAL DE TRANSPORTADORES GM®, **GCS-1-30327**: Transportadores de “Skids”, Detroit – Estados Unidos: GM®, 2012.

QUINTELLA, Heitor M. Automação da Produção e Mudança Organizacional: Modelos de Análise e o Caso Brasil. **ENGEP**, Brasil, ART469, 1998.

REQUISITO TÉCNICO GLOBAL GM®, **GTR 34885-H**: Robôs para Aplicação de Massa de Vedação e Líquido para Abatimento de Ruído - Equipamentos Elétricos e Programas – Sistema de Visão, Detroit – Estados Unidos: GM®, 2011.

ROSA, R. B.; SOUSA, J. S. S; KENCHIAN, G. **Renovação de Células Automatizadas Aplicadas à Vedação e Proteção Contra Batida de Pedras na Lataria de Veículos**. Revista Sinergia, v16n1, IFSP. São Paulo – Brasil, 2015 (submetido em 18 de agosto 2014).

SCHNEDECER, Paulo Smith. **Medição de Velocidade e Vazão de Fluídos**. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

STEPHAN, Richard M. **Guia de Aplicação de Servo Acionamentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

WERNECK, Marcelo M. **Transdutores e interfaces**. Editora “Livros Técnicos e Científicos”. Rio de Janeiro. 1996.





## ANEXO C - TABELA DE ATUALIZAÇÃO PARA OPÇÃO DE REFORMA

Atividade / Item	Vedação de Assosilho		Comentários	PVC Proteção de Assosilho		Comentários	Vedação de Interiores		Comentários
	Existentes	Novos		Existentes	Novos		Existentes	Novos	
Robôs	Quantidade	2		3	1		3		
	Tipo	M-161 RJ2	M-20 R30IA	M-161 RJ2	M-20 R30IA	1 robô novo	S-500 RJ2 Rails	M-710 R30IA	
Trilhos	Quantidade	2		0	0		2		
	Tipo	5 meter stroke	Dual Arm RTU, 5 m stroke	Robôs de Pedestal	Robôs de Pedestal		(1) Single Arm Rail	(1) Single Arm RTU (1) Dual Arm RTU	Manter a célula atual com 3 robôs e instalar nova célula com os 3 robôs adicionais
Aplicadores	Quantidade	2	4	3	4		3	6	Substituir o sistema atual
	Tipo	Single Gun	MFG	Dual Gun	MFG		Single gun	MFG	
Suporte para Mangueiras	Quantidade	2	2	3	1		3	3	
	Tipo	Filtros							
Alimentação de Material	Pontos de Alimentação	2		3	2		3	3	
	Dimensão das Conexões	3/4"		3/4"	3/4"		3/4"	3/4"	
Sistemas de Medição	Quantidade	2	2	3	1		3	3	
	Tipo	ISD Shot Meter de Ação Dupla	ISD Shot Meter de Ação Dupla	Regulador de Pressão (1) Single (1) Dual	Regulador de Pressão		ISD Shot Meter de Ação Dupla	ISD Shot Meter de Ação Dupla	
Sistema de Controle de Temperatura	Quantidade	2	2	3	1		3	3	
	Tipo	Calibradores							
Filtros Pneumáticos / Reguladores / Controlador dos Robôs / Leitor de Cartões	Quantidade	2	2	3	1		3	3	
	Tipo	(2) RJ2	(2) R30IA	(3) RJ2	(1) R30IA		(3) RJ2	(3) R30IA	
Console de Controle do Sistema	Quantidade	1	0	1	0		1	0	Reuso do existente
	Tipo								Considerar atualizar do PLC5/60 para PLC5/80
Console de Operação do Sistema	Quantidade	1	-	-	-		1	-	Adicionar controles para o robô novo
	Tipo								Adicionar controles para o robô novo
Painel de Controle Manual	Quantidade	-	-	1	-		-	-	
	Tipo								Adicionar alimentação para os robôs novos
Painel de Alimentação de Potência	Quantidade	-	-	-	-		-	-	
	Tipo								Adicionar alimentação para os robôs novos
Sistema de Visão	Câmeras	4	6	4	6		4	6	
	Lâmpadas	4	6	4	6		4	6	
Enclausuramento do Sistema	Quantidade	1	(1) V500-2DV	1	(1) V500-2DV		1	(1) V500-2DV	Substituir o sistema atual
	Tipo	Zonas de Intrusão							Usar o existente
Dispositivos de Segurança	Quantidade	0	0	0	0		2	2	Transportador aéreo, dispensando o uso de cortinas de luz
	Tipo	Cortinas de Luz							Sistema individual por célula
Deslaminamento Remoto dos Servos	Quantidade	3	4	3	1		3	3	
	Tipo	Plugues de Pontas							
Cercas	Quantidade	2	-	2	-		2	2	Usar o existente
	Tipo								Conforme necessário para a célula nova





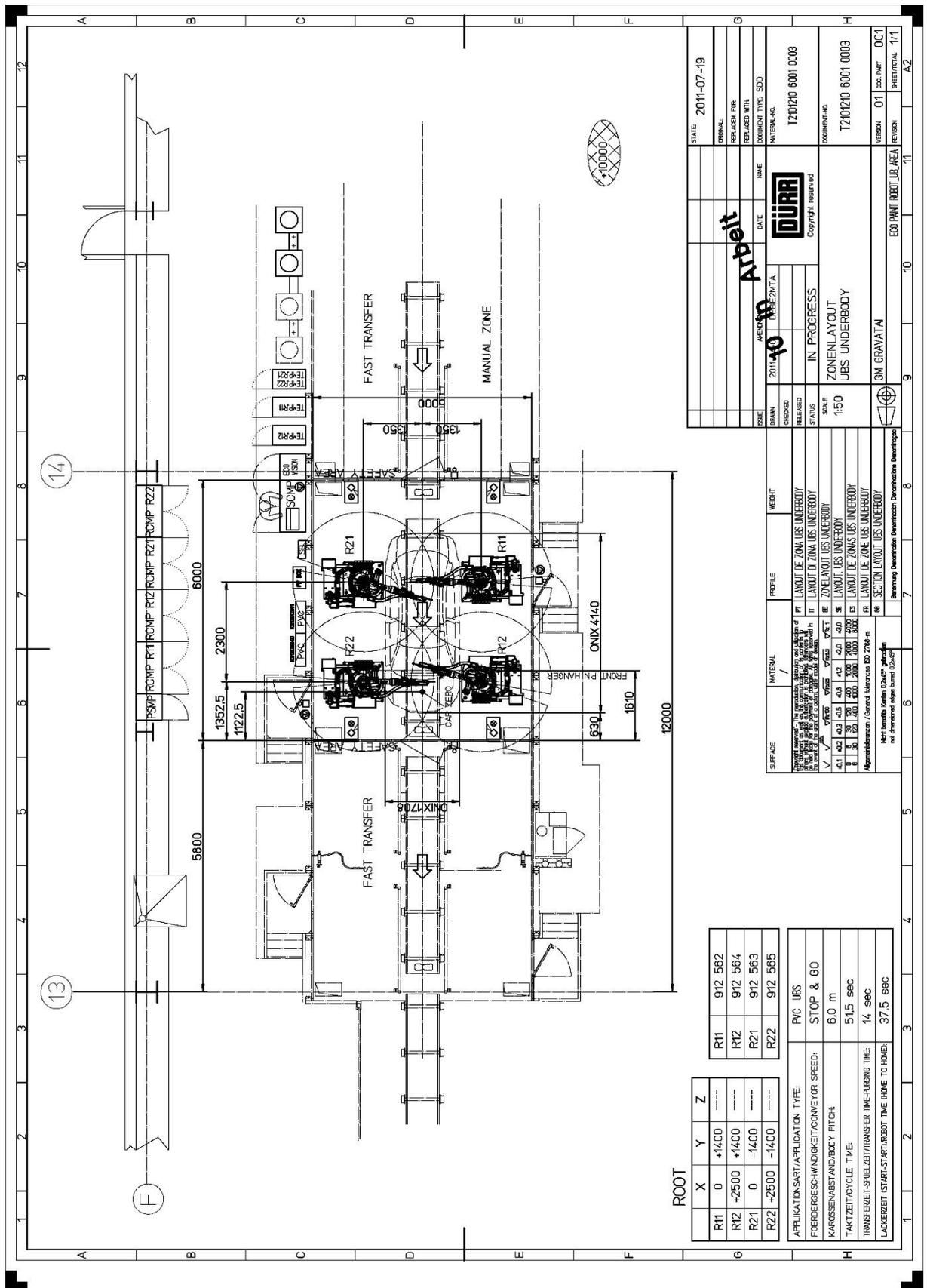








ANEXO H - DETALHES CÉLULA DE PROTEÇÃO CONTRA BATIDA DE PEDRAS

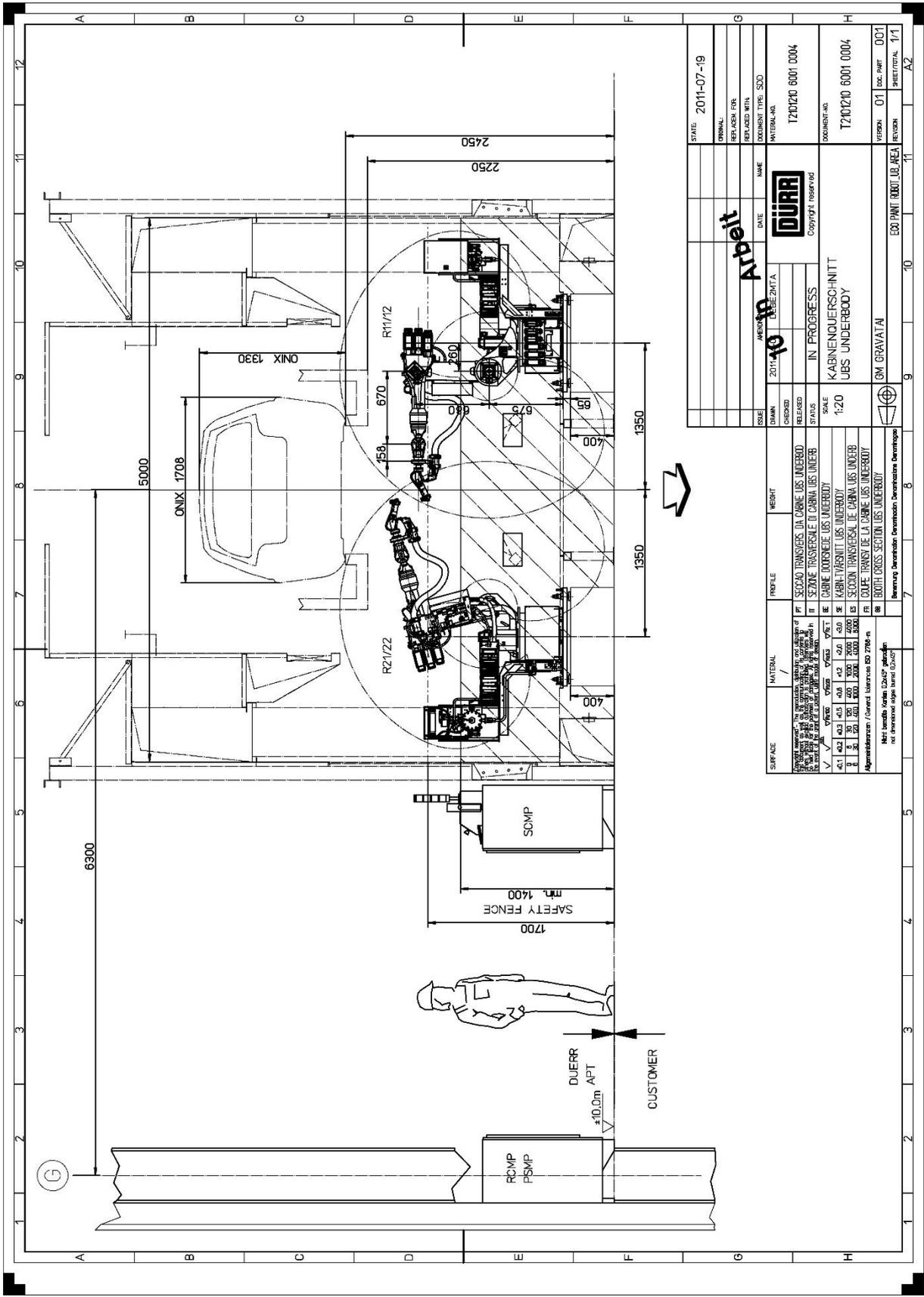


STATE	2011-07-19
REVISION	
REPLASER FRS	
REPLASER MTA	
DOCUMENT TYPE: SDD	
MATERIAL NR	T20210 6001 0003
DATE	2014-10-10
DESEIGNATA	Arbelt
MADE	DURA
Copyright	Copyright reserved
ISSUE	2014-10-10
DESIGNED	IN PROGRESS
RELEASED	ZONEN LAYOUT
STATUS	UBS UNDERBODY
SCALE	1:50
PROJ. NO.	0M GRAVATA M
DESIGNER	ECO PAINT 0001_UB_AEA
REVISION	01
DOC. PKMT	001
SHEET/TOTAL	1/1

SURFACE	MATERIAL	PROFILE	HEIGHT
4-11	4-11	4-11	4-11
4-12	4-12	4-12	4-12
4-13	4-13	4-13	4-13
4-14	4-14	4-14	4-14
4-15	4-15	4-15	4-15
4-16	4-16	4-16	4-16
4-17	4-17	4-17	4-17
4-18	4-18	4-18	4-18
4-19	4-19	4-19	4-19
4-20	4-20	4-20	4-20
4-21	4-21	4-21	4-21
4-22	4-22	4-22	4-22
4-23	4-23	4-23	4-23
4-24	4-24	4-24	4-24
4-25	4-25	4-25	4-25
4-26	4-26	4-26	4-26
4-27	4-27	4-27	4-27
4-28	4-28	4-28	4-28
4-29	4-29	4-29	4-29
4-30	4-30	4-30	4-30
4-31	4-31	4-31	4-31
4-32	4-32	4-32	4-32
4-33	4-33	4-33	4-33
4-34	4-34	4-34	4-34
4-35	4-35	4-35	4-35
4-36	4-36	4-36	4-36
4-37	4-37	4-37	4-37
4-38	4-38	4-38	4-38
4-39	4-39	4-39	4-39
4-40	4-40	4-40	4-40
4-41	4-41	4-41	4-41
4-42	4-42	4-42	4-42
4-43	4-43	4-43	4-43
4-44	4-44	4-44	4-44
4-45	4-45	4-45	4-45
4-46	4-46	4-46	4-46
4-47	4-47	4-47	4-47
4-48	4-48	4-48	4-48
4-49	4-49	4-49	4-49
4-50	4-50	4-50	4-50
4-51	4-51	4-51	4-51
4-52	4-52	4-52	4-52
4-53	4-53	4-53	4-53
4-54	4-54	4-54	4-54
4-55	4-55	4-55	4-55
4-56	4-56	4-56	4-56
4-57	4-57	4-57	4-57
4-58	4-58	4-58	4-58
4-59	4-59	4-59	4-59
4-60	4-60	4-60	4-60
4-61	4-61	4-61	4-61
4-62	4-62	4-62	4-62
4-63	4-63	4-63	4-63
4-64	4-64	4-64	4-64
4-65	4-65	4-65	4-65
4-66	4-66	4-66	4-66
4-67	4-67	4-67	4-67
4-68	4-68	4-68	4-68
4-69	4-69	4-69	4-69
4-70	4-70	4-70	4-70
4-71	4-71	4-71	4-71
4-72	4-72	4-72	4-72
4-73	4-73	4-73	4-73
4-74	4-74	4-74	4-74
4-75	4-75	4-75	4-75
4-76	4-76	4-76	4-76
4-77	4-77	4-77	4-77
4-78	4-78	4-78	4-78
4-79	4-79	4-79	4-79
4-80	4-80	4-80	4-80
4-81	4-81	4-81	4-81
4-82	4-82	4-82	4-82
4-83	4-83	4-83	4-83
4-84	4-84	4-84	4-84
4-85	4-85	4-85	4-85
4-86	4-86	4-86	4-86
4-87	4-87	4-87	4-87
4-88	4-88	4-88	4-88
4-89	4-89	4-89	4-89
4-90	4-90	4-90	4-90
4-91	4-91	4-91	4-91
4-92	4-92	4-92	4-92
4-93	4-93	4-93	4-93
4-94	4-94	4-94	4-94
4-95	4-95	4-95	4-95
4-96	4-96	4-96	4-96
4-97	4-97	4-97	4-97
4-98	4-98	4-98	4-98
4-99	4-99	4-99	4-99
4-100	4-100	4-100	4-100

APLIKATIONSART/APPLICATION TYPE:	PVC UBS
FOERDERGESCHWINDIGKEIT/CONVEYOR SPEED:	STOP & GO
KAROSSENABSTAND/BODY PITCH:	6,0 m
TRAKTIERZYCLE TIME:	51,5 s/c
TRANSFERZEIT/SPELZEIT/TRANSFER TIME-PARKING TIME:	14 s/c
LADEZEIT/START-START/ARBEIT TIME (HOME TO HOME):	37,5 s/c

ROOT			
X	Y	Z	
R11	0	+1400	912 562
R12	+2500	+1400	912 564
R21	0	-1400	912 563
R22	+2500	-1400	912 565



STATE:	2011-07-19
ORIGINAL:	
REPLACES:	
REPLACES WITH:	
DOCUMENT TYPE:	SDD
INTERNAL NO.:	T210210 6001 0004
DOCUMENT NO.:	T210210 6001 0004
VERSION:	01
DOC. PART:	001
SHEET TOTAL:	1/1

DATE:	2011-10-10	DESIGNER:	DUERR
NAME:		STATUS:	IN PROGRESS
SCALE:	1:20	TITLE:	KABINENAUFSCHNITT UBS UNDERBODY
PROJECT:	GM GRAVATAI	REVISION:	ECO PART (NOI)_UB_AEA

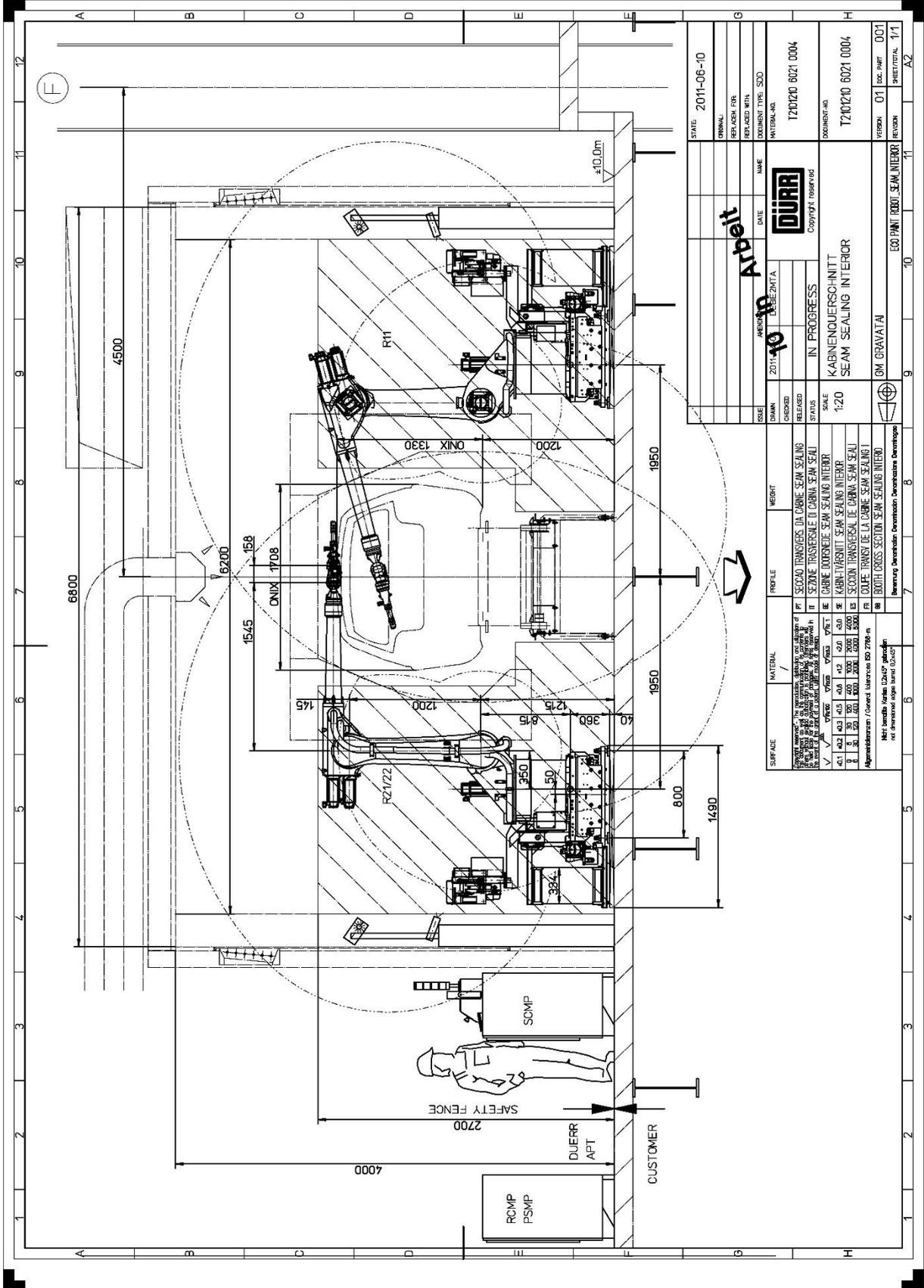
SURFACE	MATERIAL	PROFILE	HEIGHT
PT	SECCAO TRANSVERSAL DO CABINE US UNDERBOD		
IT	SECCAO TRANSVERSAL DO CABINA US UNDERBOD		
SE	CABINE DOOR/ENCLOSURE US UNDERBODY		
ST	KABINENAUFSCHNITT US UNDERBODY		
ES	SECCAO TRANSVERSAL DE CABINA US UNDERBOD		
FI	COUPE TRANSV DE LA CABINE US UNDERBODY		
88	BOTH CROSS SECTION US UNDERBODY		

Not to scale. Refer to drawing for dimensions.  
All dimensions are in millimeters (mm).









STATE:	2011-06-10
ORIGINAL:	
REPLACES:	
REPLACES WITH:	
DOCUMENT TYPE:	SDD
INTERNAL NO.:	T210210 6021 0004
DATE:	2011-10-10
NAME:	DEBEZMFA
ISSUE:	1
DESIGNED:	
RELEASED:	
STATUS:	IN PROGRESS
SCALE:	1:20
PROJECT:	KABINQUERSCHNITT SEAM SEALING INTERIOR
VERSION:	01
DOC. PART:	001
REVISION:	
SHEET TOTAL:	1/1

SURFACE	MATERIAL	PROFILE	HEIGHT
1	ALUMINIUM	SEALING	1000
2	ALUMINIUM	SEALING	1000
3	ALUMINIUM	SEALING	1000
4	ALUMINIUM	SEALING	1000
5	ALUMINIUM	SEALING	1000
6	ALUMINIUM	SEALING	1000
7	ALUMINIUM	SEALING	1000
8	ALUMINIUM	SEALING	1000
9	ALUMINIUM	SEALING	1000
10	ALUMINIUM	SEALING	1000
11	ALUMINIUM	SEALING	1000
12	ALUMINIUM	SEALING	1000

1	4-1	402	403	405	406	412	501	530
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1