

LUCIANO DE LIMA LOPES

**MODELAGEM DA AUTOMACAO DE UMA
CORTINA DE AR PARA LIMPEZA DE VEÍCULOS
NA ÁREA DE PINTURA UTILIZANDO GRAFCET**

**TAUBATÉ - SP
2004**

LUCIANO DE LIMA LOPES

**MODELAGEM DA AUTOMACAO DE UMA
CORTINA DE AR PARA LIMPEZA DE VEÍCULOS
NA ÁREA DE PINTURA UTILIZANDO GRAFCET**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso Automação e
Controle Industrial do Departamento de
Engenharia da Universidade de Taubaté,

Área de Concentração: Automação e
Controle de Processos

Orientador: Prof. Francisco José
Grandinetti

**TAUBATÉ – SP
2004**

LUCIANO DE LIMA LOPES

MODELAGEM DA AUTOMACÃO DE UMA CORTINA DE AR PARA LIMPEZA
DE VEÍCULOS NA ÁREA DE PINTURA UTILIZANDO GRAFCET

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ, TAUBATÉ, SP

Data:

Resultado:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Francisco José Grandinetti UNITAU

Assinatura:

Prof. Álvaro Manoel de Souza Soares UNITAU

Assinatura:

Prof. Victor Gamarra Rosado UNESP/FEG

Assinatura:

Dedico este trabalho a minha esposa Claudia e ao meu filho Rodrigo, pelo companheirismo durante estes dois anos de estudo e pesquisa.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a oportunidade e sabedoria para desenvolver este trabalho.

Ao Prof Dr. Francisco José Grandinetti, pela dedicação que dispensou durante este período.

A Peugeot-Citroen pela bolsa de estudo, pelos cursos e pelo acesso as instalações, que fizeram com que este trabalho se tornasse realidade.

Ao corpo docente do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica e ao nosso Coordenador Geral Prof. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia.

A todos aqueles que na Universidade ou na Empresa me ajudaram de maneira direta ou indireta.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	07
LISTA DE SÍMBOLOS	09
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE GRÁFICOS	11
RESUMO	12
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
3 SISTEMA DE FILTRAGEM	18
3.1 Histórico.....	18
3.2 Método de medição utilizado.....	19
3.3 Filtragem do ar	20
3.4 Resultados das Contagens de Partículas	21
3.5 Balanceamento da pressão de ar na cabine	25
3.6 Eficiência da limpeza manual	26
4 SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LIMPEZA DOS VEÍCULOS PROPOSTO	28
4.1 Comunicação do sistema.....	30
4.2 Funcionamento lógico.....	31
4.3 Sistema de codificação.....	32
4.4 Modo de funcionamento	34
4.5 Arquitetura do Sistema (Comunicação do motor com o CLP)	35
4.6 Sistema pneumático para acionamento dos sopradores de ar	35
5 O GRAFCET.....	37
5.1 Diagrama Funcional Seqüencial	39
5.2 Etapas	39
5.3 Etapa Ativa e Etapa Inativa	40
5.4 Etapa Inicial.....	40

5.5	Indicação do Estado de uma Etapa.....	41
5.6	Ações Associadas às Etapas.....	41
5.7	Representação gráfica do funcionamento da cortina em Grafcet.....	42
6	GERAÇÃO COMPUTACIONAL DO PERFIL DO AUTOMÓVEL TRAJETÓRIA)	46
6.1	Programação do veículo A.....	46
6.2	Cálculo do coeficiente angular.....	47
6.3	Programação do veículo B	48
6.4	Programa do CLP para o funcionamento da cortina em Linguagem Ladder.....	49
6.5	Sistema de segurança para evitar colisão entre a máquina e o veículo.....	51
6.6	Funcionamento do sensor óptico do tipo barreira	51
6.7	Diagrama de Blocos	52
7	RESULTADOS.....	53
7.1	Resultado das medições de partículas no trajeto da carroceria.....	53
7.2	Ensaio realizados	54
7.3	Método de medição, utilizado pelo laboratório da qualidade	55
7.4	Descrição das partículas encontradas nas placas protótipo e enviadas ao laboratório	56
7.5	Análise dos resultados encontrados	57
7.6	Diagrama geral da cortina implantada	58
7.7	Instalação da cortina.....	59
8	CONCLUSÃO	61
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS	65
	Anexo 1 – Desenho da cortina em Auto-Cad.....	65
	Autorização de Reprodução	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Limpeza manual na cabine	16
Figura 3.1 – Medição de partículas na cabine.....	19
Figura 3.2 – Casa de ar das cabines	20
Figura 3.3 – Casa de ar da ventilação das pequenas cabines (Lixamento primer, vedação aérea e revisão cataforese)	21
Figura 3.4 – Regiões da cabine do primer.....	23
Figura 3.5 – Regiões da estufa do primer	24
Figura 3.6 – Medição do balanceamento do ar	25
Figura 4.1 – Parte exterior da Cabine Base.....	28
Figura 4.2 – Cortina de ar proposta.....	29
Figura 4.3 – Cortina de ar proposta vista lateral	30
Figura 4.4 – Comunicação do sistema	30
Figura 4.5 – Sistema de codificação	31
Figura 4.6 – Sensor óptico para leitura do código do transportador	32
Figura 4.7 – Sistema de Identificação da Carroceria (pente).....	33
Figura 4.8 – Decodificador de Sinal Sick	33
Figura 4.9 – Diagrama Funcional.....	34
Figura 4.10 – Comunicação do motor com o CLP	35
Figura 4.11 – Circuito do ar comprimido	36
Figura 5.1 – Aplicação Grafcet	38
Figura 5.2 – Etapa	40
Figura 5.3 – Referência de uma Etapa	40
Figura 5.4 – Etapa Inicial	41
Figura 5.5 – Identificação da etapa ativa	41
Figura 5.6 – Ação associada à etapa	42
Figura 5.7 – Modelo Grafcet para a identificação do veículo (tela do programa PL7PRO da Schneider).....	43
Figura 5.8 – GRAFCET do sistema de funcionamento da cortina em manual e automático (tela do programa PL7PRO da Schneider).....	44

Figura 5.9 – Modelo final funcionamento da cortina em GRAFCET (tela do programa PL7PRO da Schneider)	45
Figura 6.1 – Diagrama do funcionamento da cortina.....	50
Figura 6.2 – Programação da movimentação da cortina em ladder.....	51
Figura 6.3 – Funcionamento do sensor óptico por barreira	52
Figura 6.4 – Diagrama de blocos do sensor óptico por barreira	52
Figura 7.1 – Saída do Lixamento do Primer	53
Figura 7.2 – Placa protótipo	55
Figura 7.3 – Montagem da placa na carroceria	55
Figura 7.4 – Partículas pretas contidas na placa 2	56
Figura 7.5 – Impurezas na forma de circulo encontrada na placa 2.....	57
Figura 7.6 – Fiaços aparecem na amostra 2.....	57
Figura 7.7 – Diagrama geral da cortina de ar.....	58
Figura 7.8 – Cortina de ar em fase de ensaios.....	59
Figura 7.9 – Cortina de ar montada na entrada da cabine.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

- μm – Mícron metro para especificação do tamanho das partículas
- cfm – cubic feet per minute
- CLP – Controlador Lógico Programável
- Θ – Posição encoder em ângulo
- Y – Coordenada da cortina de ar
- M – Coeficiente angular da reta
- X – Posição do veículo
- BCD – Binary Code Digital
- IEC – International Electrotechnical Commission
- SFC – Sequential Function Chart
- AFCET – Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – sujidade x índice de defeitos ano 2002 x 2003.....	14
Tabela 3.1 – Resultado da Contagem de Partículas da Casa de Ar da Cabine de Base.....	21
Tabela 3.2 – Resultado da Contagem de Partículas da Casa de Ar da Cabine de Verniz....	22
Tabela 3.3 – Resultado da Contagem de Partículas da Casa de Ar da Cabine de Primer....	22
Tabela 3.4 – Resultado da Contagem de Partículas da Cabine de Primer	23
Tabela 3.5 – Resultado da Contagem de Partículas da Estufa do Primer	24
Tabela 3.6 – Referencial do Balanceamento da Cabine de Base.....	26
Tabela 6.1 – Coordenadas do veículo x cortina de ar veículo A.....	47
Tabela 6.2 – Coordenadas do veículo x cortina de ar veículo B.....	48
Tabela 7.1 – Resultado da contagem de partículas nas placas de ensaio.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 – Porcentagem de sujeira com relação ao índice de retoques	15
Gráfico 1.2 – Quantidade de sujeira com relação ao volume de produção.....	15
Gráfico 6.1 – Trajetória veículo A	47
Gráfico 6.2 – Trajetória veículo B	48
Gráfico 7.1 – Resultado da contagem de partículas do prédio da Pintura	54

LOPES, Luciano de Lima. **Modelagem da Automação de uma cortina de ar para limpeza de veículos na área de pintura utilizando GRAFCET**. 2004 Dissertação de Mestrado – Departamento de Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RESUMO

Na área de pintura em geral, o maior problema encontrado no processo de aplicação é a quantidade de impurezas sobre a superfície de trabalho. As empresas fazem muitos investimentos para eliminar este problema que, em muitas vezes, é invisível ao olho humano. Inicialmente, procurou-se mapear e identificar as áreas com maior sujidade na planta estudada. Encontraram-se cabines com boas condições para aplicação, porém, a parte exterior da cabine possuía outras fontes contamináveis, como o próprio ar (devido ao sistema de filtragem) e as poeiras, geradas pelo processo. Este trabalho apresenta um sistema de filtragem de ar na área de pintura, o sistema de limpeza das carrocerias e a proposta de implementação de uma cortina de ar automatizada para limpeza das carrocerias na área de pintura. Nesta cortina, desenvolveu-se um sistema de automação em que é possível gerar a trajetória para cada tipo de veículo, levando em consideração a sua silhueta. O programa para o funcionamento da cortina foi implementado em linguagem “Ladder”, o programa para o cálculo da trajetória foi implementado em linguagem “C” e a descrição do funcionamento foi realizado, utilizando o diagrama de blocos Grafcet, que permitiu a verificação de cada etapa do funcionamento da cortina. Sensores ópticos são utilizados para garantir a segurança do sistema, quando este estiver em funcionamento. Ensaios, realizados com simulação de limpeza em placas, comprovaram a eficiência do sistema.

Palavras chaves: cortina de ar, limpeza, automatizada, Ladder e Grafcet.

LOPES, Luciano de Lima. **Modeling of the Automation of a air curtain for cleanness of vehicles in the painting area using GRAFCET**. 2004. Department of Mechanics, University of Taubaté, Taubaté.

ABSTRACT

In the painting area in general, the problem found in the application process is the tired impurities on the work surface. The companies make many investments to eliminate this problem that, in many times, is invisible to the human eye. Initially, it was looked to map and to identify the areas with bigger dirtiness in the studied plant. Good cabins with condition for application had met, the external part of the cabin possesses other pollutants sources, as the own air (had to the filtering system) and the dusts generated for the process. This work presents a system of air filtering in the painting area, the system of cleanness of the trucks and the proposal of implementation of a air curtain automated for cleanness of the trucks in the painting area. In this curtain, was developed a system of automation where possible to generate the trajectory for each type of vehicle, taking in consideration its silhouette. The program for the functioning of the curtain was implemented in language to Ladder, the program for calculate of the trajectory was implemented in language "C" and the description of the functioning was carried through, using the diagram of Grafcet blocks, that it allowed verification of each stage of the functioning of the curtain. Through the use optical sensors to guarantee system security, when this will be in functioning. Assays, carried through with simulation of cleanness in plates, they had proven the efficiency of the system.

Key words: curtain of air, cleanness, automated, Ladder and Grafcet.

1 INTRODUÇÃO

Nas oficinas, e, em especial, nas cabines de pintura, a limpeza constitui uma prioridade e a impureza do ar um gerador de defeitos, visto que pode comprometer seriamente a qualidade do resultado. Numerosas precauções são tomadas para eliminar este risco. Os operadores que trabalham nas cabines usam acessórios que não soltam resíduos: macacões, luvas, toucas e protetores para sapatos são fornecidos por empresas homologadas. Além disso, o veículo deve ser limpo antes de começar o processo de pintura.

Na área de pintura a grande parte dos retoques de pintura são gerados pela sujidade depositada nas carrocerias. Essas sujeiras são provenientes de diversas fontes:

- filtros mal dimensionados;
- limpeza deficiente das carrocerias;
- aspectos comportamentais dos pintores;
- balanceamento das cabines etc.

A Tabela 1.1, o Gráfico 1.1 e o Gráfico 2.1 ilustram a evolução do índice de sujidade em relação à quantidade de defeitos, gerados no processo de pintura.

VOLUME DE PROD.	5389	6143	2868	1786	4348	4174	3541	4988	4350	2197	3384	3101
Nº DEFEITOS	1645	2344	1877	355	1107	1317	1148	2290	1671	1099	877	960
Nº SUJEIRAS	609	831	590	161	463	588	371	870	495	311	256	233
% SUJEIRAS	37	35	31	45	42	45	32	38	30	28	29	24
ÍNDICE DE DEFEITOS	0,31	0,38	0,65	0,20	0,25	0,32	0,32	0,46	0,38	0,39	0,26	0,31
% CARROC. ENVIADAS AO RETOQUE	13	13	16	8	11	12	12	16	15	17	8	8
MÊS	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO

Tabela 1.1 – sujidade x índice de defeitos ano 2002 x 2003

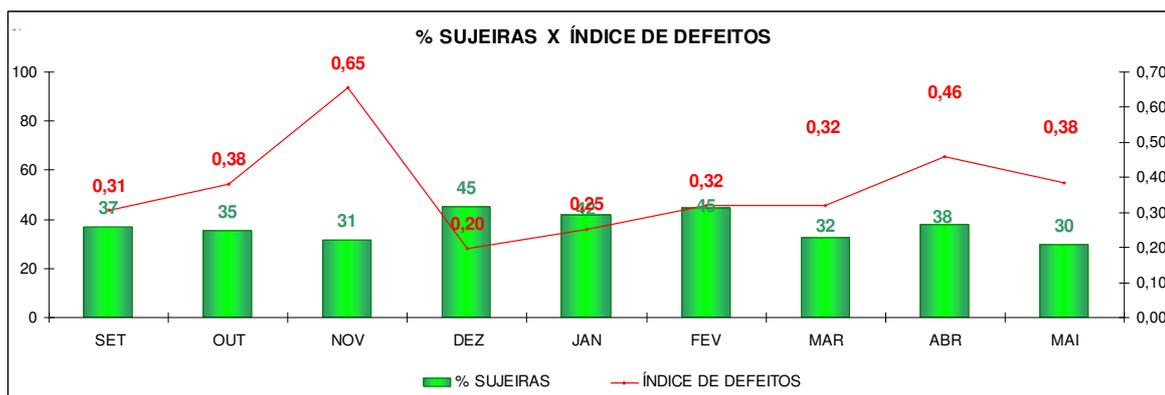


Gráfico 1.1 – Porcentagem de sujeira em relação ao índice de retoques

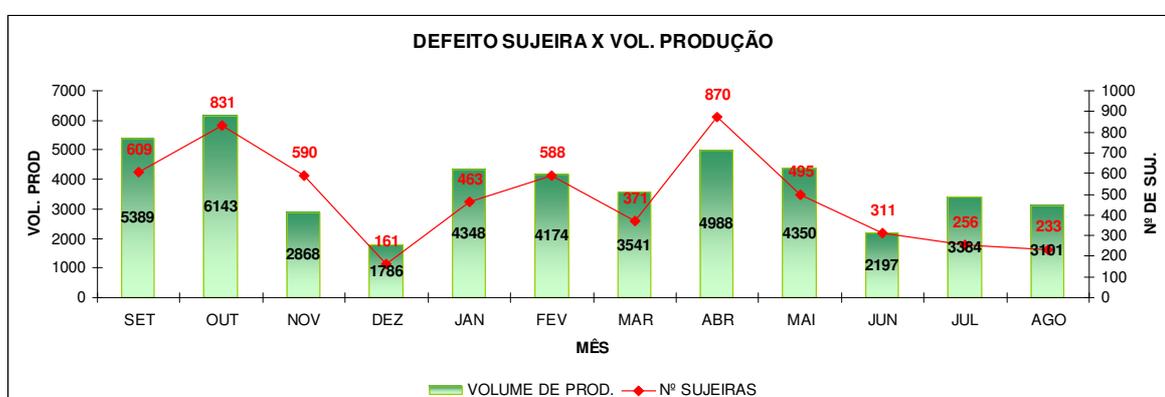


Gráfico 1.2 – Quantidade de sujeira em relação ao volume de produção.

Segundo manual *Freudenberg* (p. 63), uma partícula de 10um, depositada em uma carroceria, irá aumentar o seu tamanho de três a cinco vezes, após a pintura, ocasionando um retoque na pintura da área afetada.

Para eliminar a sujidade depositada nas carrocerias, algumas empresas utilizam a limpeza manual das carrocerias, através da limpeza com pano ou com ar comprimido. Estes dois tipos de limpeza não são eficientes devido à grande área que deverá ser limpa pelo operador e pelos resíduos deixados pelo pano de limpeza.

A Figura 1.1 ilustra a limpeza sendo realizada dentro da cabine de pintura.



Figura 1.1 – Limpeza manual na cabine

Os primeiros ensaios realizados foram feitos com a contagem de partículas na área interior e exterior da cabine de pintura. Para estas medições, utilizou-se um contador de partículas a laser. Através destas medições, encontraram-se grandes quantidades de partículas na parte exterior da cabine, com dimensões superiores às encontradas na parte interior da cabine.

É objetivo deste trabalho salientar a importância de uma carroceria bem limpa para o processo de pintura e eliminar o trabalho de limpeza manual das carrocerias, através de uma cortina de ar automatizada, que abrangerá toda a área externa do veículo. A cortina de ar será composta por uma estrutura principal fixa, um conjunto de sopradores de ar, um sistema de filtragem do ar e um conjunto para movimentação da parte superior da cortina, composto por:

- motor de acionamento;
- guias lineares de posicionamento;
- transdutor de posição óptico do tipo “*encoder*”;
- painel elétrico de comando;
- sensores ópticos para segurança.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este trabalho enfoca a aplicação de diversos dispositivos tecnológicos, a modelagem do processo por meio da ferramenta GRAFCET, a implementação da modelagem em linguagem *Ladder*. Pesquisas que envolvem temas sobre automação, utilizando a ferramenta GRAFCET têm sido desenvolvidas devido à grande aplicabilidade deste modelo para descrever o funcionamento dos sistemas automatizados.

Neste capítulo, apresentam-se alguns trabalhos pesquisados e que serviram de base para o desenvolvimento desta dissertação.

Ferreira (1994) apresentou o GRAFCET numa linguagem de programação em seu trabalho sobre Virtualização de Autômatos Programáveis. O modelo GRAFCET apresentado, não substituiu as outras linguagens de programação, mas é apresentado como uma ferramenta de estruturação de programas.

Rillo (1995) utiliza grafos de comando, etapa transição em um sistema de controle de uma célula de montagem robotizada, composta por dois robôs de cinco graus de liberdade. A aplicação do Grafcet foi destacada por ser suficiente para comandar as operações dos robôs.

Sarquis (1998) desenvolveu o modelo em GRAFCET para modelagem do Controlador Lógico Programável, para um sistema de marcação de peças e para a representação de especificação para um sistema de tanques. A aplicação do GRAFCET nesta aplicação foi destacada pela facilidade de entendimento e pela simplicidade que o modelo possui para a transmissão de informações entre usuários, projetistas e equipes de manutenção de equipamentos.

Romano (2001) apresentou o projeto de um alimentador pneumático para automação de chapas em prensas. Nesse trabalho, a aplicação do GRAFCET como representação gráfica do comando seqüencial foi apresentada como a melhor solução em comparação com o diagrama, trajetória passo para o trabalho em estudo.

Vieira (2003) utilizou o GRAFCET para a implementação de uma seqüência operacional, dentro de uma metodologia para a implementação do controle de sistemas e eventos discretos em controlador lógico programável (CLP).

3 SISTEMA DE FILTRAGEM

3.1 Histórico

Na planta de pintura estudada, é realizada uma vigilância bimensal de todo o sistema de filtragem. Estas medições são realizadas fora dos horários de produção, nas seguintes áreas:

- casa de ar e cabine de aplicação da primeira camada niveladora (primer);

A casa de ar é o local onde o ar é filtrado e condicionado (temperatura e umidade), antes de ser enviado para a cabine de pintura. Existem dois estágios de filtragem nesta casa de ar e um terceiro estágio de filtragem na cabine.

- casa de ar e cabine de base;

Este sistema possui o mesmo número de estágios de filtragem e a mesma especificação do sistema de filtragem da camada niveladora.

- casa de ar e cabine de verniz;

Sistema do processo de aplicação da última camada de tinta. Possui o mesmo número de estágio de filtragem do que os sistemas anteriores.

- casa de ar da ventilação do prédio;

A casa de ar da ventilação do prédio possui dois estágios de filtragem de ar. Este é o ar de ventilação interior do prédio da pintura. Neste processo não existe o terceiro estágio de filtragem exigido nas cabines.

- casa de ar das pequenas cabines;

Ar de ventilação das cabines de retoque. Possui o mesmo número de estágios de filtragem que a ventilação do prédio.

- estufa de cura da camada niveladora;

Processo de cozimento da camada de tinta niveladora. Possui um estágio de filtragem do ar.

- estufa da base/verniz;

Processo de cozimento das camadas de tinta da base e do verniz. Possui um estágio de filtragem do ar.

- estufa da cataforese (camada de tratamento superficial da chapa).

Processo de cozimento da primeira camada de tinta do veículo. Possui um estágio de filtragem do ar.

3.2 Método de medição utilizado

Para testes de classificação da área de pintura, utiliza-se o método de contagem de partículas. O aparelho utilizado para este tipo de controle foi um contador a laser de partículas da marca CLIMET, modelo CI500, com uma taxa de vazão de amostragem de 1,0 *cfm* (*cubic feet per minute*) e com discriminação de tamanho de partículas de 0.3; 0.5; 1.0; 5.0; 10.0 e 25.0 micron.

A Figura 3.1 demonstra a contagem de partículas, sendo realizada na cabine de pintura da base.



Figura 3.1 – Medição de partículas na cabine

3.3 Filtragem do ar

O ar do ambiente externo à cabine de pintura é utilizado para alimentar as cabines de aplicação. Como as propriedades deste ar variam, em função das características meteorológicas e do ambiente, ele vai ser condicionado para garantir as características de pureza, de umidade e de temperatura necessárias para uma boa aplicação na área de pintura. A captação do ar para ventilação é feita na parte exterior ao prédio, passado em uma casa de ar composta por dois estágios de filtros. Posteriormente, o ar passa por mais um estágio final de filtragem, eliminando todas as partículas maiores que 5 μm .

O ar filtrado do prédio da pintura é gerado através da captação exterior e interior. O filtro especificado para a filtragem do ar do prédio não elimina partículas abaixo de 10 μm , o que torna o ar do prédio diferente do ar das cabines. As estufas também são ventiladas com ar filtrado com a mesma especificação das cabines.

A Figura 3.2 descreve o modelo da casa de ar das cabines de aplicação, indicando os estágios de filtragem. A numeração de 1 a 9 indica o número e local das medições realizadas.

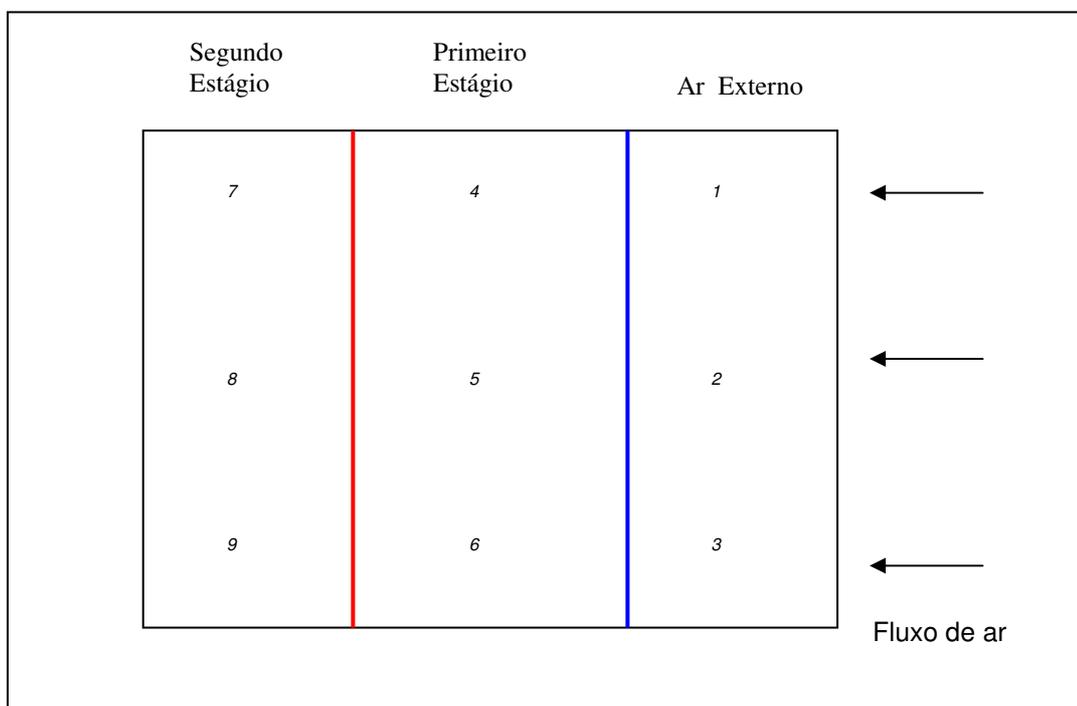


Figura 3.2 – Casa de ar das cabines

A Figura 3.3 indica os estágios da casa de ar da ventilação das pequenas cabines e os pontos onde foram realizadas as medições.

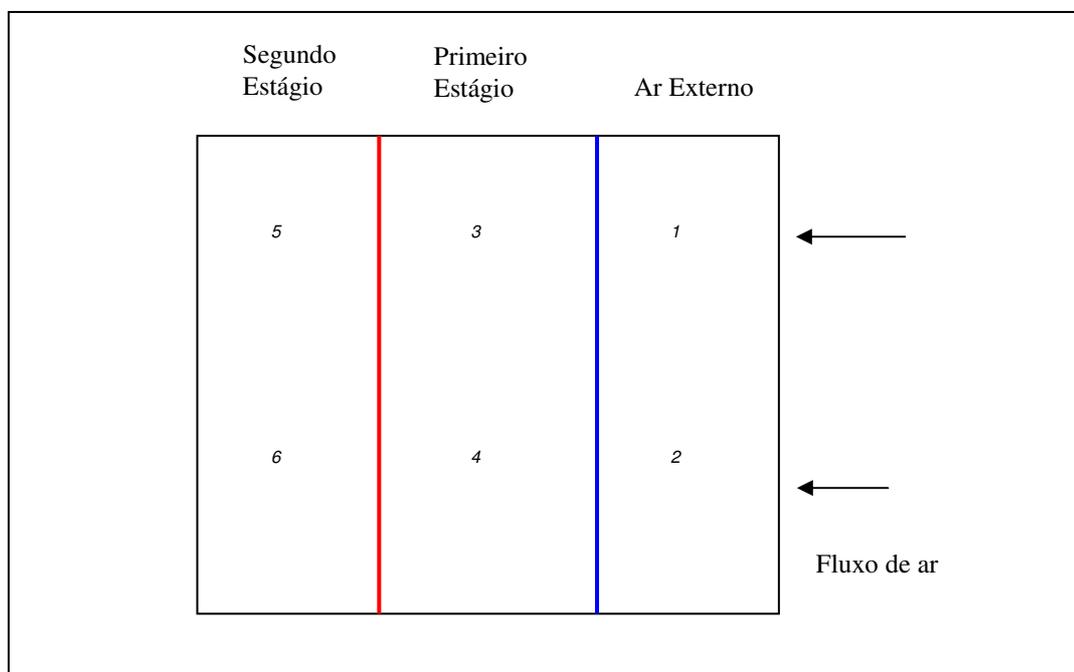


Figura 3.3 – Casa de ar da ventilação das pequenas cabines (Lixamento do primer), vedo aérea e reviso cataforese)

3.4 Resultados das contagens de partículas

Na Tabela 3.1, encontram-se os resultados das medições realizadas na cabine de base e verifica-se a quantidade de partículas em cada ponto medido, em relação aos tamanhos que podem ser: 0, 3, 1, 5 e 10 mcron. No segundo estágio: (pontos 7,8 e 9), o sistema de filtragem  eficiente para partículas acima de 10 mcron.

CASA DE AR DA CABINA DE BASE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
>0,3 μ	1974831	1982922	1975630	1916339	1907560	1905794	1709754	1689759	1647585
>1 μ	28748	30937	29781	19296	18471	18748	4727	4364	3929
>5 μ	1095	1208	1118	672	596	603	193	182	135
>10 μ	48	46	56	10	6	12	0	2	1

Tabela 3.1 – Resultado da contagem de partículas da casa de ar da cabine de base

Na Tabela 3.2, encontra-se o resultado das medições da casa de ar da cabine de verniz. Como esse resultado é próximo das medições obtidas na casa de ar da base, pode-se concluir que o sistema de filtragem é eficiente para as duas casas de ar.

CASA DE AR DA CABINA DE VERNIZ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
>0,3 μ	1906955	1910909	1909333	1562162	1540510	1573903	1240958	1243012	1277413
>1 μ	24347	24414	23854	17296	15308	17825	3111	2991	3791
>5 μ	1008	987	973	549	448	518	114	95	136
>10 μ	61	64	56	13	15	10	1	1	1

Tabela 3.2 – Resultado da contagem de partículas da casa de ar da cabine de verniz

Na Tabela 3.3, encontram-se os resultados das medições realizadas na casa de ar da cabine da camada niveladora.

CASA DE AR DA CABINA DE PRIMER									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
>0,3 μ	1317473	1330148	1332753	1262392	1286846	1297253	78562 6	82821 3	79147 1
>1 μ	14136	14352	16396	9796	9694	9687	1532	2030	1466
>5 μ	602	617	824	267	287	275	58	52	60
>10 μ	73	94	105	6	10	8	0	1	1

Tabela 3.3 – Resultado da contagem de partículas da casa de ar da cabine de primer

A Figura 3.4 mostra a planta da cabine de pintura do *primer*, dividida pelas seguintes áreas: preparação, aplicação manual, aplicação automática, zona de reparo e área de transferência da carroceria da cabine para a estufa. Os números indicados de 1 a 10 são os pontos onde foram realizadas as medições na cabine.

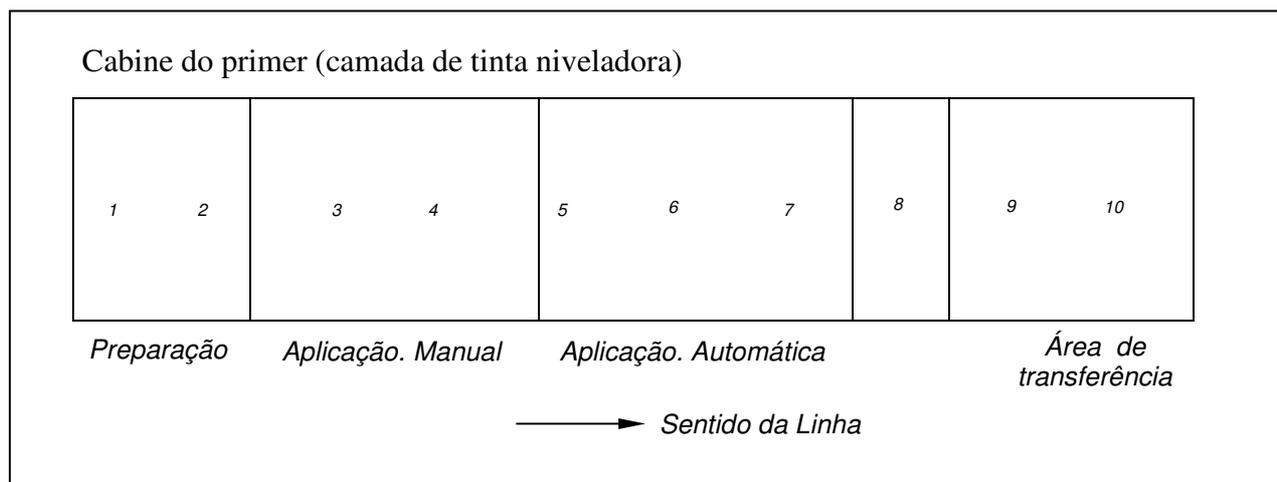


Figura 3.4 – Regiões da cabine do primer

Na Tabela 3.4, verifica-se o resultado das medições de contaminação da cabine de primer pois, segundo o especificado para o processo de cabine, não pode haver nenhuma partícula acima de 5 microns na área de aplicação. Com base nos resultados encontrados, verifica-se que a cabine de primer está despoluída.

CABINE DE PRIMER										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
>0,3 μ	48457	47748	51210	48589	48173	46874	47291	51712	246569	314672
>1 μ	6	4	3	3	4	2	2	2	363	379
>5 μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>10 μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 3.4 – Resultado da contagem de partículas da cabine de primer

A Figura 3.5 mostra a planta da estufa de primer, com suas regiões e os pontos onde foram realizadas as medições.

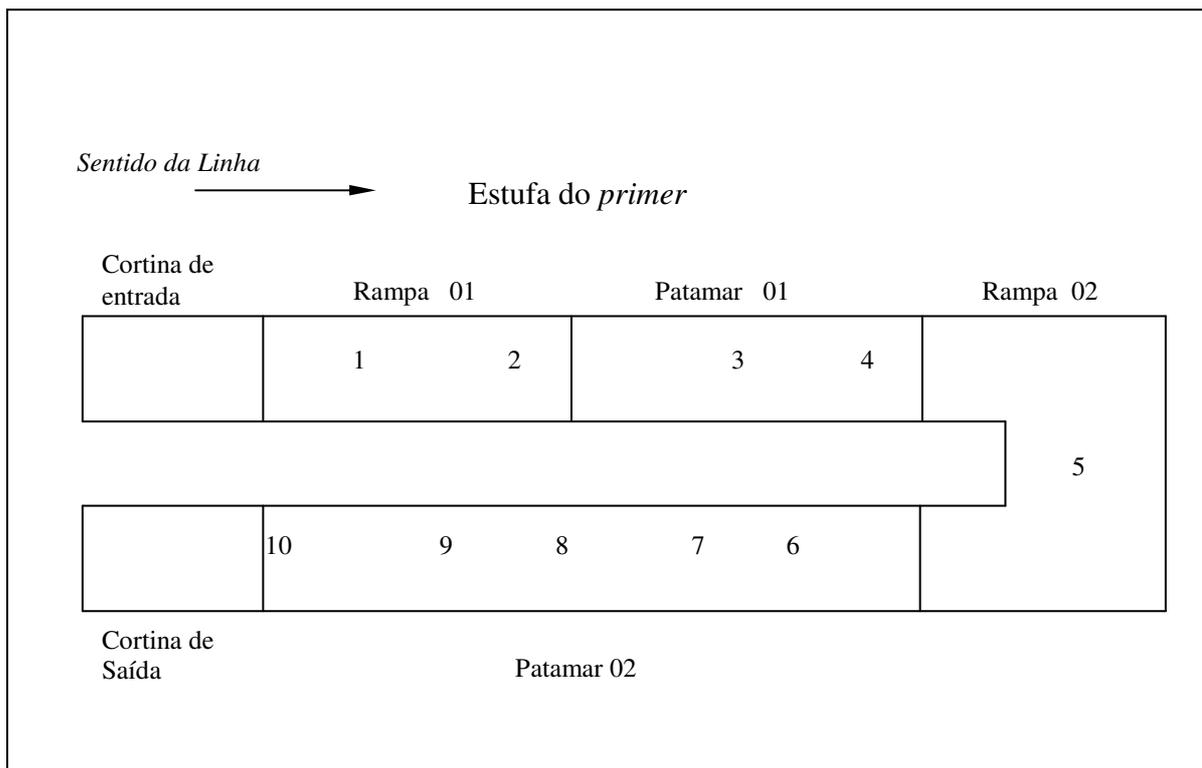


Figura 3.5 – Regiões da estufa do primer

Rampa – Região de subida de temperatura

Patamar – Região de manutenção da temperatura

Através dos resultados obtidos na Tabela 3.5, conclui-se que a estufa está na mesma condição de pureza do ar verificado nas cabines, ou seja, não se encontra nenhuma partícula acima de 5mícrons.

	ESTUFA DO PRIMER									
	Rampa 01		Patamar 01		Rampa 02		Patamar 02			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
>0,3 μ	78806	77953	69914	60867	49807	45395	50444	50311	54571	62231
> 1 μ	34	43	28	20	27	30	26	47	35	32
> 5 μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>10 μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 3.5 – Resultado da contagem de partículas da estufa do primer

3.5 Balanceamento da pressão do ar na cabine

Um dos fatores mais importantes no referencial de uma cabine de pintura é o balanceamento do ar. Através de um bom balanceamento entre as zonas da cabine, pode-se evitar a contaminação entre as áreas e manter a cabine sob pressão, o que irá evitar que o ar exterior entre na zona de aplicação, garantindo assim um sistema de filtragem eficiente e uma cabine limpa.

O balanceamento de ar das cabines é realizado com um fio de linha, posicionado no sentido vertical a uma altura de 2m do piso (Figura 3.6), de acordo com o deslocamento do fio, pode-se verificar o balanceamento da cabine, segundo referencial estabelecido.



Figura 3.6 – Medição do balanceamento do ar

A Tabela 3.6 apresenta o referencial do balanceamento para a planta estudada.

Como as cabines estudadas apresentam um bom sistema de filtragem que garantem um ar próprio para a aplicação, deve-se desenvolver um sistema de limpeza que fique fora da cabine para evitar a contaminação deste ar filtrado.

4 SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LIMPEZA DOS VEÍCULOS PROPOSTO

Projeto e montagem de uma cortina de ar na parte exterior da cabine (Figura 4.1). Esta cortina deverá ser fixada na entrada da cabine, com os sopradores de ar direcionados no sentido contrário ao fluxo do veículo. Desta maneira, todo o ar soprado no veículo, junto com a sujeira retirada, será direcionado para a parte externa da cabine, evitando assim a sua contaminação.



Figura 4.1 – Parte exterior da cabine base

O projeto da cortina está representado na Figura 4.2. A cortina proposta, apresenta a forma ideal para a limpeza da carroceria:

- estrutura principal em aço tubular
- conjunto de sopradores inferiores, direcionados para a parte inferior do veículo;
- sopradores superiores, levemente inclinados em aproximadamente 10 graus

para segmento do perfil da parte superior do veículo;

- parte móvel da cortina, que irá ser móvel para fazer a limpeza da parte horizontal do veículo.

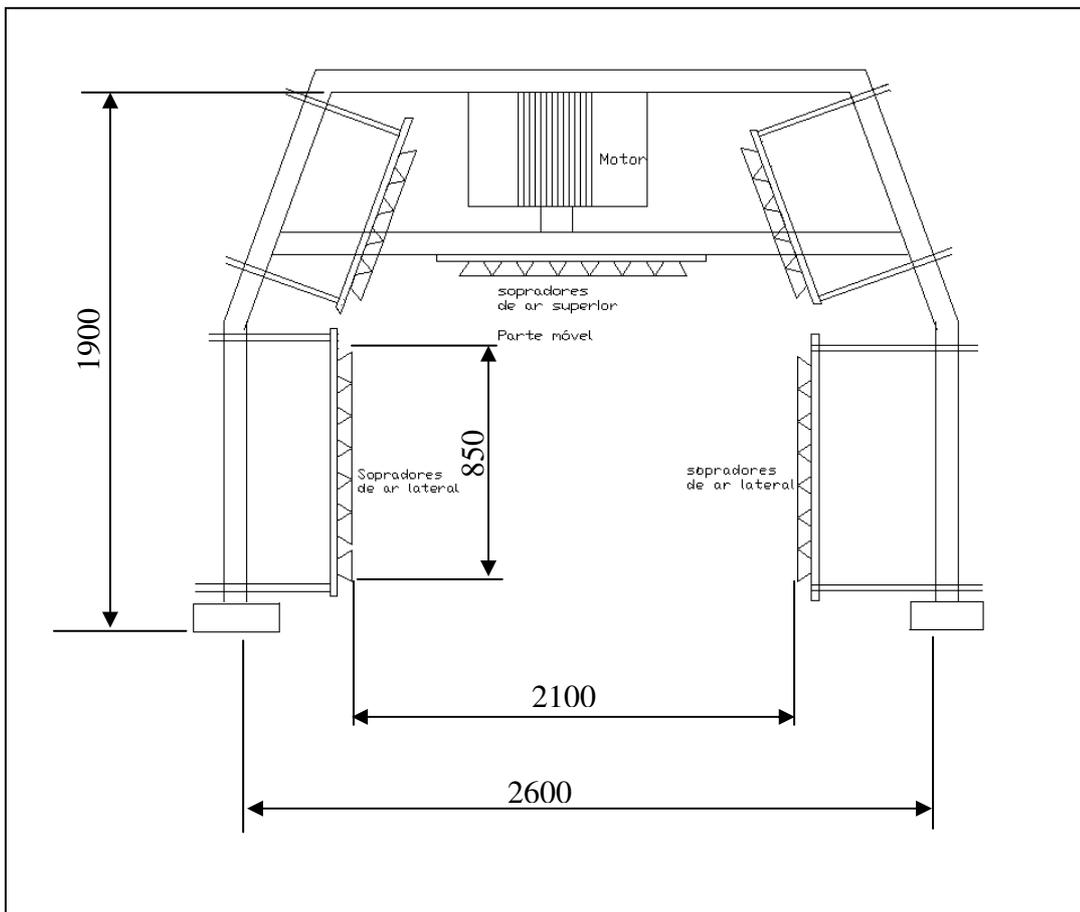


Figura 4.2 – Cortina de ar proposta

Na Figura 4.3, verifica-se o carro posicionado na cortina de ar. O veículo passará pela cortina na mesma velocidade da linha da cabine e o sopro de ar em sua superfície será feito durante todo o seu trajeto pela cortina, considerando o início do veículo, a ponta do transportador e o final da tampa traseira. Devido ao desenho proposto desta cortina, futuramente, diversos tipos de veículos, poderão passar por esta estação.

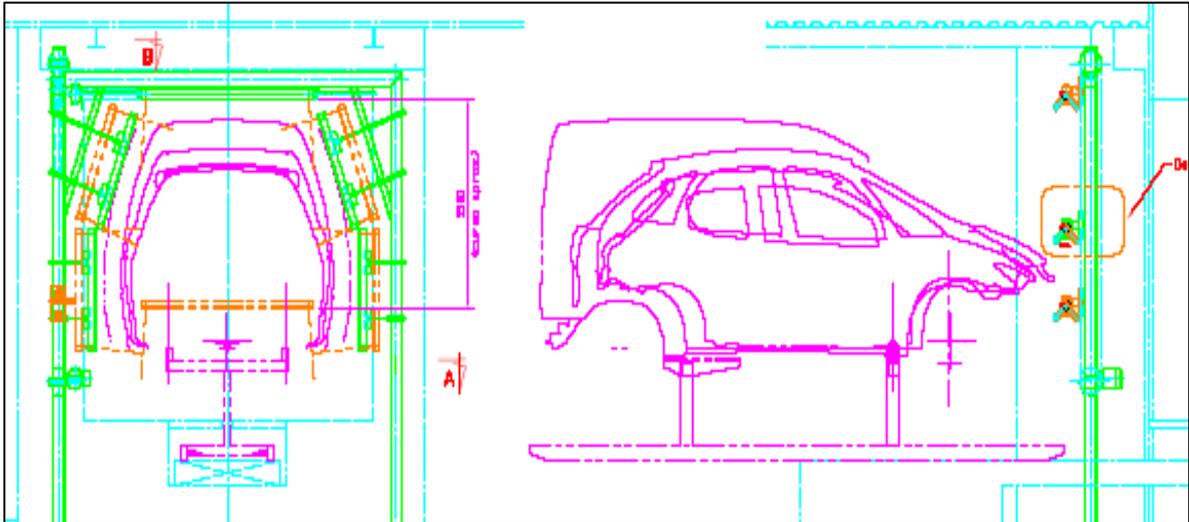


Figura 4.3 – Cortina de ar proposta vista lateral

4.1 Comunicação do sistema

Após a identificação do veículo, o programa de funcionamento da cortina, estará comandando as duas ações de funcionamento do sistema, o acionamento do ar no sistema e o funcionamento da trajetória do veículo.

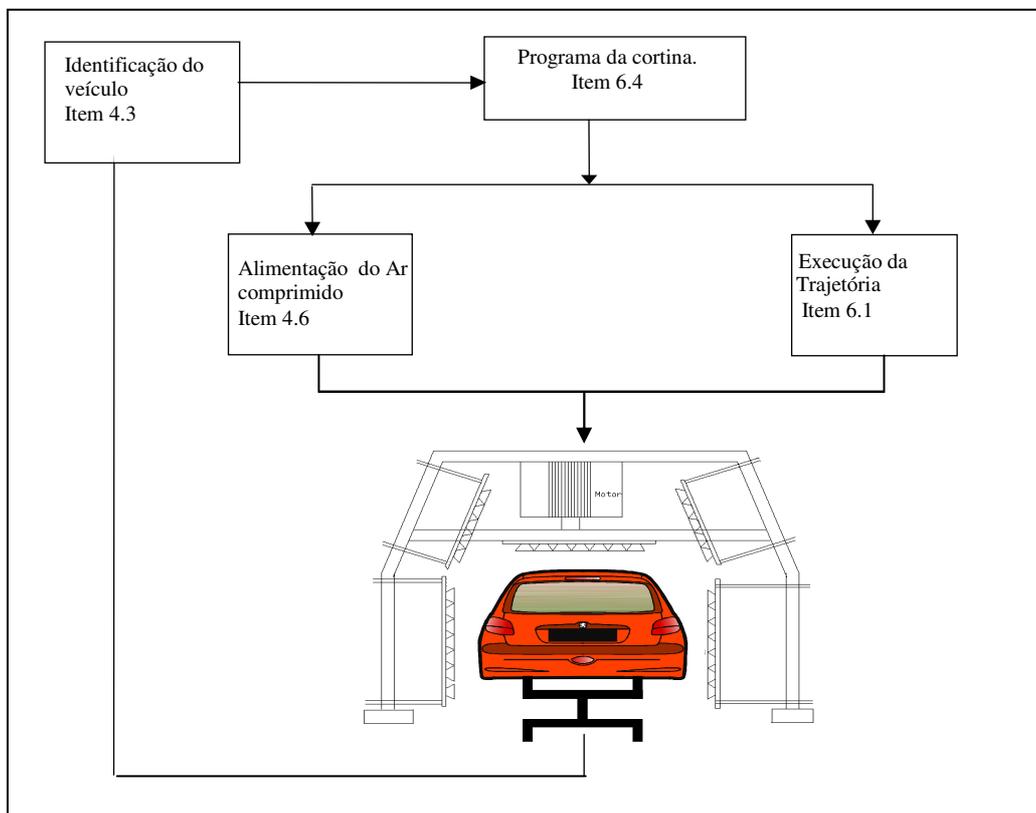


Figura 4.4 – Comunicação do sistema

4.2 Funcionamento lógico

O automóvel, ao ser inserido na linha de pintura, passa por uma identificação da carroceria que é realizada através da leitura de 2 (dois) sensores ópticos do tipo refletivo, localizados na entrada da cabine. Estes sensores fazem a leitura do sistema de identificação (pente), que está codificado em BCD (*Binary Code Digital*) e envia um sinal elétrico para um decodificador. Este decodificador compõe o código em valor numérico decimal e envia ao CLP. Após a identificação, o programa de funcionamento da cortina seleciona o programa de trajetória do veículo identificado e tal programa comanda o movimento da parte superior da cortina, de acordo com a silhueta do veículo.

O programa da trajetória será previamente criado para cada tipo de veículo e funcionará em sincronismo com a movimentação do veículo na estação. A trajetória comandará o movimento de subida e descida da parte móvel da cortina, que é realizada por um motor instalado na parte superior da cortina. A fixação da parte móvel em guias lineares e a instalação de um transdutor de posição do tipo “*encoder*” óptico permite o posicionamento preciso de cada posição pedida pelo programa.

Após a identificação, o programa de funcionamento da cortina aciona os conjunto de sopradores laterais e superiores. O acionamento acontece através de um sinal elétrico do CLP para uma eletro-válvula que abre e fecha o comando do ar.

Após a passagem do veículo, a parte móvel da cortina vai para a coordenada inicial para aguardar a nova codificação. O modelo do sistema de codificação é apresentado na Figura 4.5.

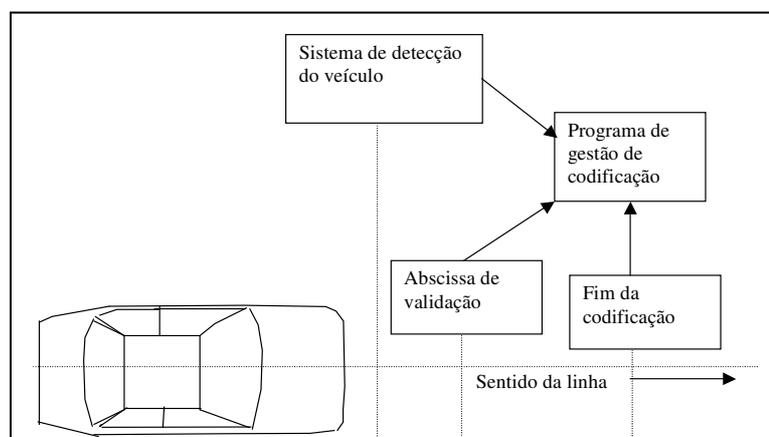


Figura 4.5 – Sistema de codificação

4.3 Sistema de codificação

Cada veículo vem posicionado sobre um transportador e cada transportador está codificado (através de um pente de identificação) com as seguintes informações:

- tipo de veículo;
- modelo;
- cor;
- quantidade de portas.

A leitura do código do pente funciona como um sistema de leitura de código de barras, que ira identificar os itens descritos acima e posteriormente passar esta informação ao Controlador Lógico Programável, para que as ações seguintes do processo sejam realizadas. Na Figura 4.6, verificam-se os dois sensores utilizados para a leitura do código de cada veículo, Estes sensores são do tipo refletivos.



Figura 4.6 – Sensor óptico para leitura do código do transportador

Na Figura 4.7, observa-se o sistema de codificação do veículo. Um dispositivo no formato de pente é utilizado para a codificação do veículo.



Figura 4.7 – Sistema de Identificação da Carroceria (pente)

A Figura 4.8 apresenta o decodificador utilizado, para a identificação do código do veículo..



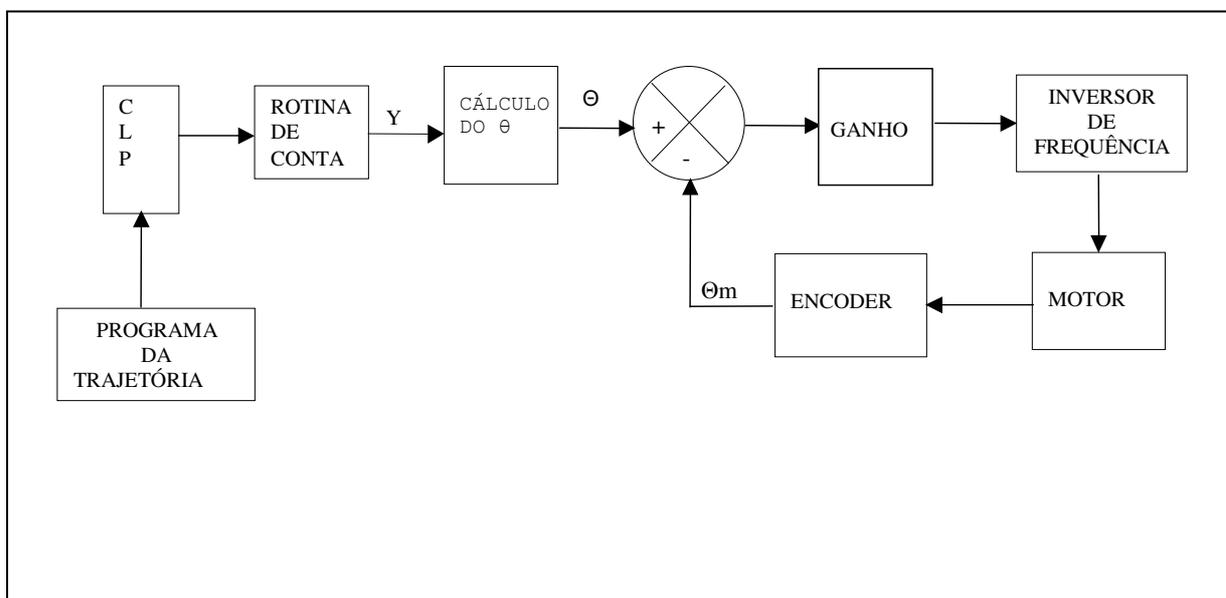
Figura 4.8– Decodificador de Sinal Sick

4.4 Modo de funcionamento

Uma vez o veículo identificado e validado, o *software* recebe as características do veículo no registro de codificação manual ou automática. No momento em que este registro é informado, o contador do mesmo é incrementado. Em função do avanço da esteira, todas as ações seguintes (sopro, movimentação da cortina etc.) serão realizadas.

Cada automóvel possui um perfil diferente e a automação desta cortina visa à limpeza uniforme, em função da sua silhueta. A movimentação da cortina será de acordo com a velocidade de avanço do automóvel. Quando o programa da trajetória começar a ser executado, uma rotina de cálculo irá transformar cada coordenada de posição em ângulo e o cartão analógico do CLP irá fornecer os sinais de saída de 0 a 10 volts, ajustados entre a máxima e a mínima posição da cortina. Um encoder, instalado junto com o motor, irá permitir que o sistema trabalhe em malha fechada, fornecendo a posição real da cortina em cada coordenada.

O diagrama de blocos, descrevendo o funcionamento deste sistema, é apresentado na Figura 4.9.



Θ – posição encoder em ângulo
 Y – coordenada da cortina de ar

Figura 4.9 – Diagrama Funcional

4.5 Arquitetura do sistema (comunicação do motor com o CLP)

O sistema de comunicação do motor com o CLP, é composto por um Controlador Lógico Programável, um inversor de frequência e um *encoder*. Todas as coordenadas de posição previamente configuradas nas tabelas da trajetória (item 6.1), serão transformadas em sinal elétrico e posteriormente em frequência pelo inversor.

A Figura 4.10 ilustra o sistema de comunicação deste processo, formado por:

Sinais de saída: sinal de saída do CLP, que corresponde à posição de movimentação da cortina desejada. Tem-se um valor para cada posição do programa.

Sinais de retorno: sinal real de retorno da posição de cada ponto da trajetória informado pelo encoder ao CLP.

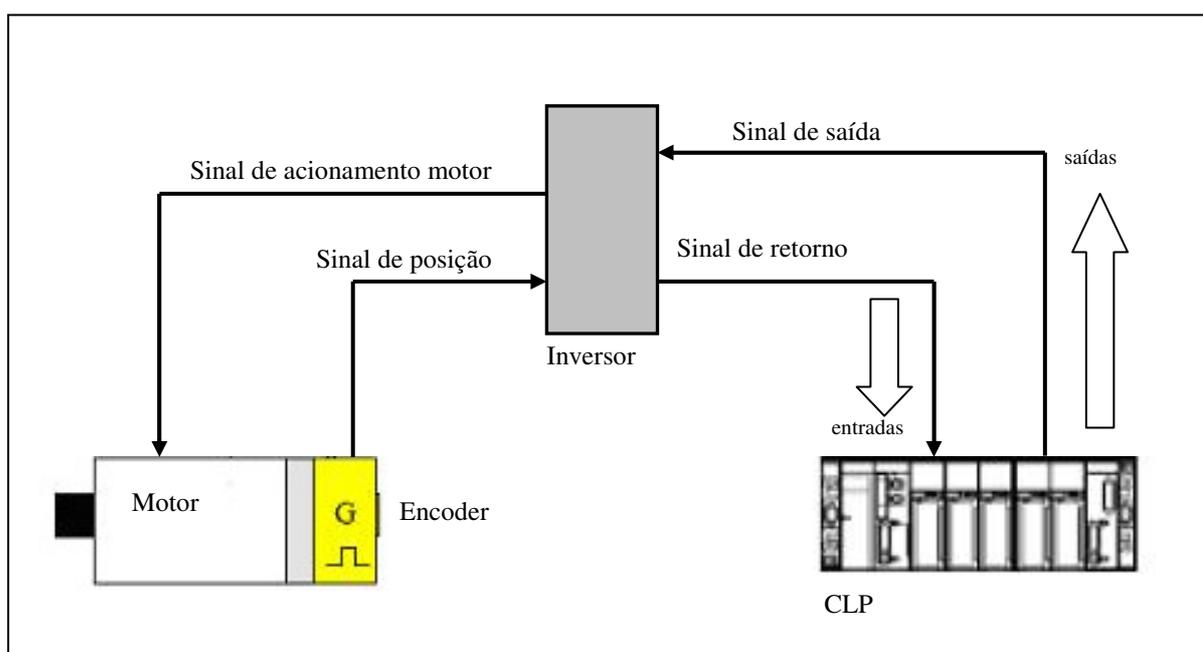


Figura 4.10 – Comunicação do motor com o CLP

4.6 Sistema pneumático para acionamento dos sopradores de ar

Na cortina proposta, a limpeza manual, com pano, é substituída por uma limpeza automatizada, com ar comprimido. Devido à abundância deste fluido na indústria e pela

sua grande eficiência em sistemas de limpeza.

O ar de alimentação da cortina deve ser filtrado e isento de partículas acima de 5 μm (preconizado para a cabine), a pressão de trabalho será entre 3 e 6 bar.

A captação do ar será feita na linha geral, que possui uma pressão de 7bar. O ar será, primeiramente, filtrado. Em seguida, um regulador de ar irá ajustar a pressão de trabalho. O comando de abertura e fechamento do ar será acionado por uma eletro-válvula, que estará funcionando de acordo com o sinal enviado pelo CLP.

A Figura 4.11 ilustra o circuito de alimentação do ar para a cortina.

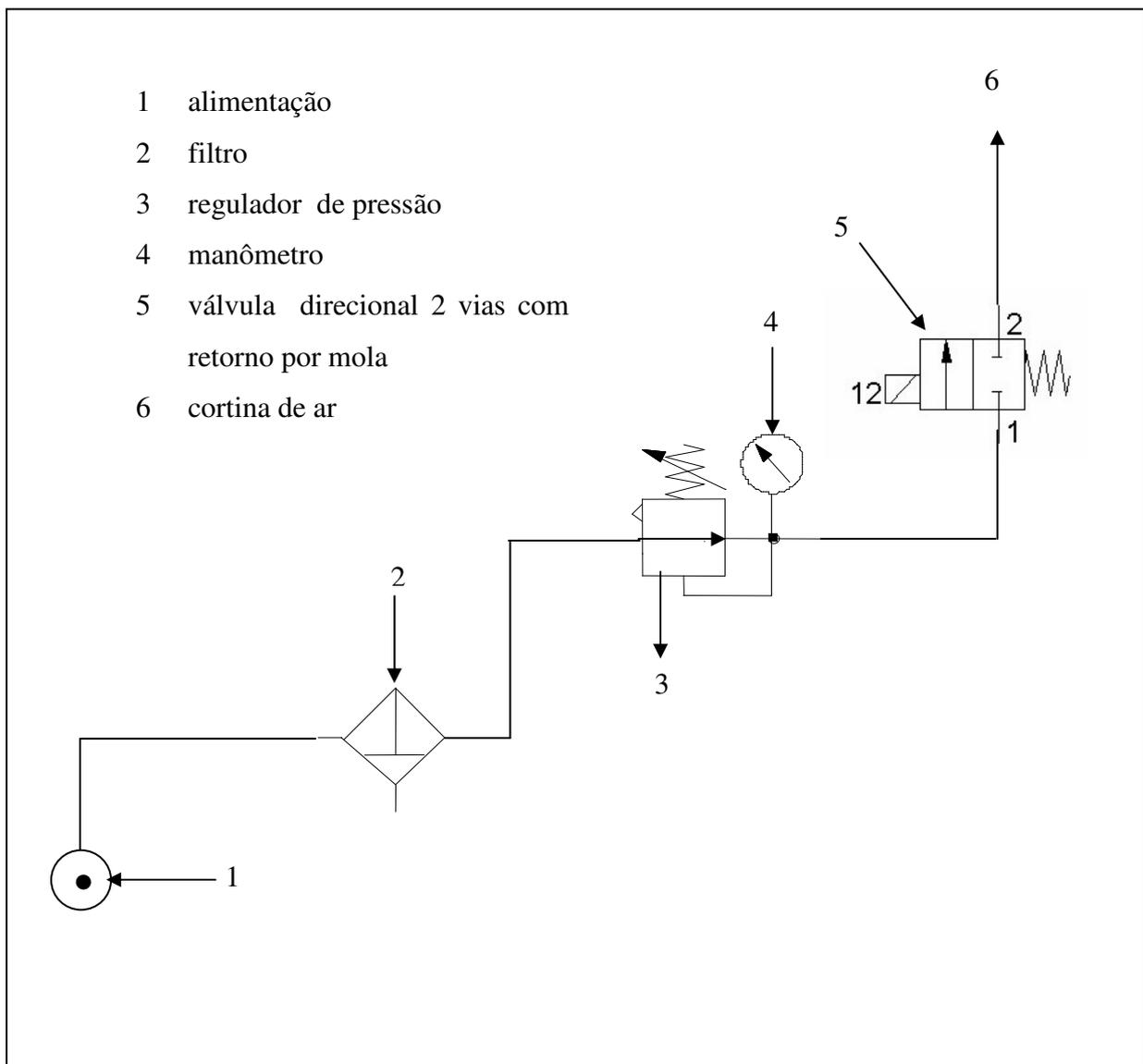


Figura 4.11 – Circuito do ar comprimido

5 O GRAFCET

Em 1975, pesquisadores e gerentes industriais franceses, envolvidos em complexos sistemas de controle discreto, reuniram-se para comparar e avaliar os modelos e métodos para construção de sistemas de controle seqüencial. Coletaram suas experiências próprias, nas quais usavam dezessete técnicas diferentes: alguns utilizavam questionários empíricos, outros utilizavam modelos tecnológicos e outros ainda utilizavam modelos teóricos puros, derivados de “Máquinas de Estado” ou “Redes de Petri”. Decidiram, então, construir um modelo customizado, mais fácil que os que, até então, eram utilizados e mais adequado aos sistemas complexos e, particularmente, aos sistemas de manufatura.

Após dois anos de vários encontros de estudo e trabalhos, propuseram um modelo chamado GRAFCET. O nome derivou-se de “Graph” – pois o modelo tinha um fundamento gráfico e AFCET (*Association Française Pour La Cybernétique Économique et Technique*) associação científica que suportou todo o trabalho.

Os conceitos básicos desse sistema de controle discreto eram extremamente claros e simples: a “etapa”, a “ação associada à etapa”, a “transição” e a condição associada à “transição”. A etapa representa um estado parcial do sistema, ao qual uma ação é realizada. Em determinado instante, uma etapa pode estar “ativa” ou “inativa”. Para que exista uma transição de uma etapa para outra é necessário que a etapa anterior esteja ativa e a condição de transição entre as duas etapas seja verdadeira, (FERREIRA, 1994).

A transição, que “conecta” a etapa precedente (uma ou varias etapas) à etapa seguinte (uma ou varias etapas), representa uma decisão para mudança de estado do sistema (a ação da etapa precedente é seguida pela ação da etapa seguinte). Para que uma transição seja efetuada, são necessárias duas condições. (SARQUIS, 1988):

- todos os passos, cuja saída está ligada á entrada da transição, estiverem ativados;
- a condição associada à transição for satisfeita.

Ao ser efetuada a transição, a etapa precedente (uma ou varias etapas) torna-se inativa e a etapa seguinte (uma ou varias etapas) torna-se ativa. Conseqüentemente, a ação associada à etapa precedente deixa de ser realizada, e a associada à etapa seguinte passa a ser realizada.

A Figura 5.1 apresenta um exemplo de GRAFCET para o acionamento de um motor.

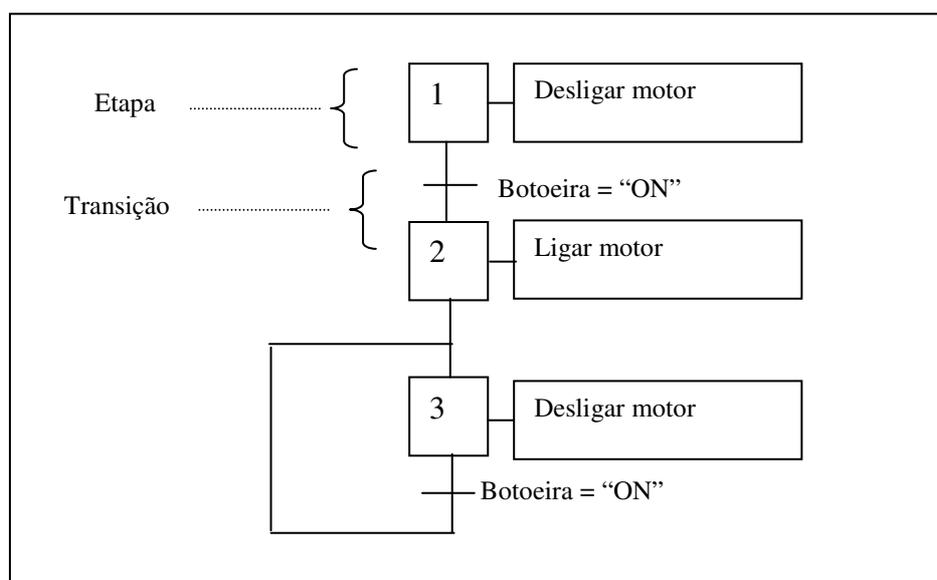


Figura 5.1 – Aplicação Grafcet

Em 1988, a IEC (*International Electrotechnical Commission*) adotou o Grafcet como Norma Internacional sob o nome inglês “*Sequential Function Chart*” – SFC (Diagrama Funcional Seqüencial), com o título “*Preparation of Function Charts for Control Systems*” (Preparação de Diagramas Funcionais para Sistemas de Controle) e referência “IEC 848”. Com a alteração nas referências das Normas IEC, ocorrida recentemente, passou a IEC 60848.

Embora tenha sido preparada visando a aplicações eletrotécnicas, a aplicação Grafcet pode ser aplicada também a sistemas não elétricos (hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos, por exemplo.), pois descreve as funções de controle relativas a determinado sistema, independente do campo de aplicação. O método de representação proposto serve como ‘ferramenta de comunicação’ entre as diferentes áreas (disciplinas tecnológicas) envolvidas no desenvolvimento e utilização de Sistemas Automatizados.

A Linguagem GRAFCET permite a fácil comunicação entre os profissionais de várias áreas envolvida com o processo de automação, (ROMANO, 2001).

Os fabricantes de CLP adotam o GRAFCET como linguagem de programação. O GRAFCET não substitui o *Ladder* na programação, mas serve para facilitar o programa, uma vez que permite uma visualização lógica de todas as etapas de funcionamento da automação.

5.1 Diagrama funcional seqüencial

Nas literaturas em português o GRAFCET é conhecido pelo nome de Diagrama Funcional Seqüencial. A seguir, são apresentados os elementos e as regras definidas na Norma IEC 60848.

SFC (*Sequential Function Chart*)

Os elementos do Diagrama Funcional Seqüencial são:

- **etapas** – associadas às **ações**.
- **transições** – associadas às **condições**.
- **ligações orientadas** – conectam as etapas às **transições**

A combinação destes elementos proporciona uma representação "estática" do sistema automatizado. Aplicadas às regras de evolução, obtém-se uma visão "dinâmica" do sistema.

5.2 Etapas

Uma etapa é um estado no qual o comportamento do circuito de comando não se altera frente às entradas e saídas. A eficiência e a precisão de um Diagrama Funcional Seqüencial estão diretamente relacionadas à quantidade de etapas utilizadas para descrever determinado sistema. Portanto, quanto maior o número de etapas em que se puder dividi-lo, maior a eficiência da descrição de cada etapa e maior a precisão do Diagrama Funcional como um todo. A simbologia utilizada para representar uma etapa é mostrada na Figura 5.2.

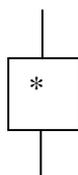


Figura 5.2 – Etapa

Não é definida uma relação de tamanho entre os lados do retângulo, sendo recomendada a igualdade (quadrado). As etapas são referenciadas por meio de caracteres alfanuméricos (em substituição ao asterisco, conforme apresentado na Figura 5.3) de forma arbitrária, ou seja, não há necessidade de utilização sequencial dos caracteres, e nem de respeito à ordem numérica (crescente ou decrescente).

No entanto, não é permitido que etapas distintas tenham a mesma referência.

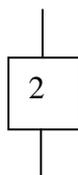


Figura 5.3 – Referência de uma etapa

5.3 Etapa ativa e etapa inativa

Em determinado instante, uma etapa pode estar ativa ou inativa, uma etapa é ativa até que a sua receptividade seguinte seja verdadeira, sendo que a situação de um sistema é determinada pelo conjunto de etapas ativas naquele momento. (BITTAR, 1993)

5.4 Etapa inicial

A etapa inicial é a etapa que se torna ativa logo após o início do funcionamento do GRAFCET. Podem existir tantas etapas iniciais quantas se fizerem necessárias, sendo que todas serão ativadas, simultaneamente, no início do controle do sistema.

A simbologia, utilizada para representar uma etapa inicial, é exibida na Figura 5.4.

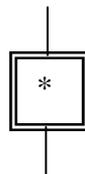


Figura 5.4 – Etapa inicial

5.5 Indicação do estado de uma etapa

As etapas são indicadas nos sistema, quando estão ativas ou inativas.

A representação do estado de uma etapa pode ser feita pelos valores lógicos « 0 » (inativa) ou “1” (ativa) de uma variável binária “X”. Por exemplo, X2 – 0 (etapa 2 inativa).

Para indicação das etapas ativas em determinado momento, no Diagrama Funcional, utiliza-se um ponto (●), localizado na parte inferior interna aos símbolos correspondentes, como apresentado na Figura 5.5. Este ponto não pertence à simbologia da etapa, sendo utilizado apenas para análise e/ou apresentação do Diagrama Funcional Seqüencial.

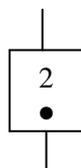


Figura 5.5 – Identificação da etapa ativa

5.6 Ações associadas às etapas

As ações são executadas somente se a etapa à qual estão associadas estiver ativa; caso contrário, são ignoradas. Enquanto a etapa estiver ativa, as ações podem ser iniciadas, continuadas ou finalizadas. Quando a etapa for desativada, as ações podem ser continuadas ou finalizadas, conforme a definição utilizada.

A ação, associada à etapa, é definida por declaração textual ou simbólica, inserida em um retângulo, de qualquer tamanho (geralmente, utiliza-se a mesma altura

do retângulo da etapa), conectado ao lado direito da etapa correspondente, conforme indica a Figura 5.6.

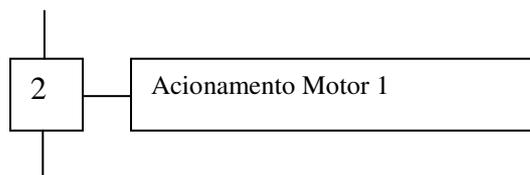


Figura 5.6 – Ação associada à etapa

5.7 Representação gráfica do funcionamento da cortina em Grafcet

Através da descrição do funcionamento da cortina em Grafcet, verificam-se, de uma maneira geral, todas as suas etapas e transições a serem executadas durante a entrada do veículo na estação de limpeza e a saída, após a sua limpeza, a ser realizada. Observa-se também o seu funcionamento, tanto no modo manual como no automático.

A descrição funcional do equipamento, além de mostrar com clareza, quais os controles a serem implementados, permite ainda, eu seja desenvolvido todo o conceito de funcionamento do equipamento. (ROMANO, 2001)

A Figura 5.7, as etapas de 0 a 4, apresentam o modelo GRAFCET para a descrição da identificação do veículo no sistema. Os modelos em GRAFCET, apresentados a seguir foram desenvolvidos utilizando o software PL7 PRO da Schneider., que contem os comando para elaboração do diagrama abaixo.

Descrição das etapas:

etapa 0 - estação parada a espera do veículo;

etapa 1 - leitura do veículo na entrada da estação;

etapa 2 - leitura realizada não corresponde a um veículo;

etapa 3 - leitura realizada corresponde a um veículo;

etapa 4 – aguarda validação da leitura do veículo.

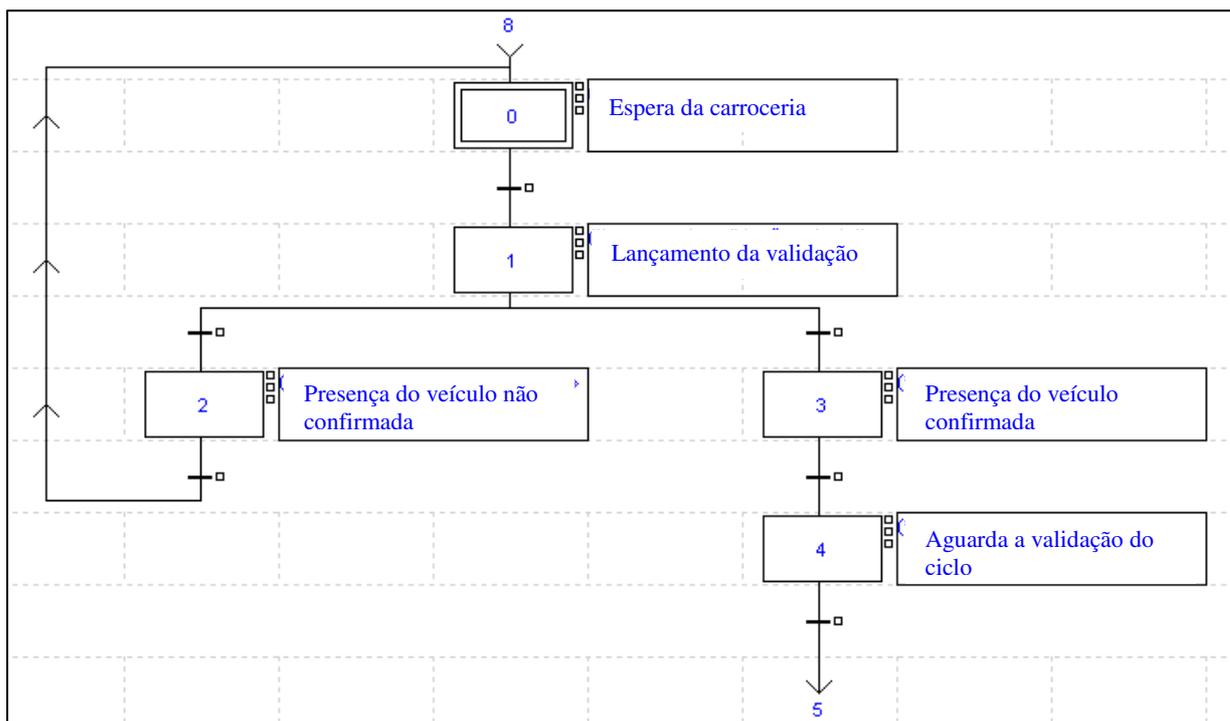


Figura 5.7 – Modelo Grafcet para a identificação do veículo (tela do programa PL7 PRO da Schneider)

Na Figura 5.8, tem-se a descrição do GRAFCET para o funcionamento da trajetória do veículo em manual e em automático, nas etapas de 5 a 9:

etapa 5: escolha do modo de trabalho, manual ou automático;

etapa 6: seleção do trabalho em automático;

etapa 7: seleção do trabalho em manual;

etapa 8: execução da trajetória do veículo na estação;

etapa 9: aguarda final do ciclo de limpeza do veículo

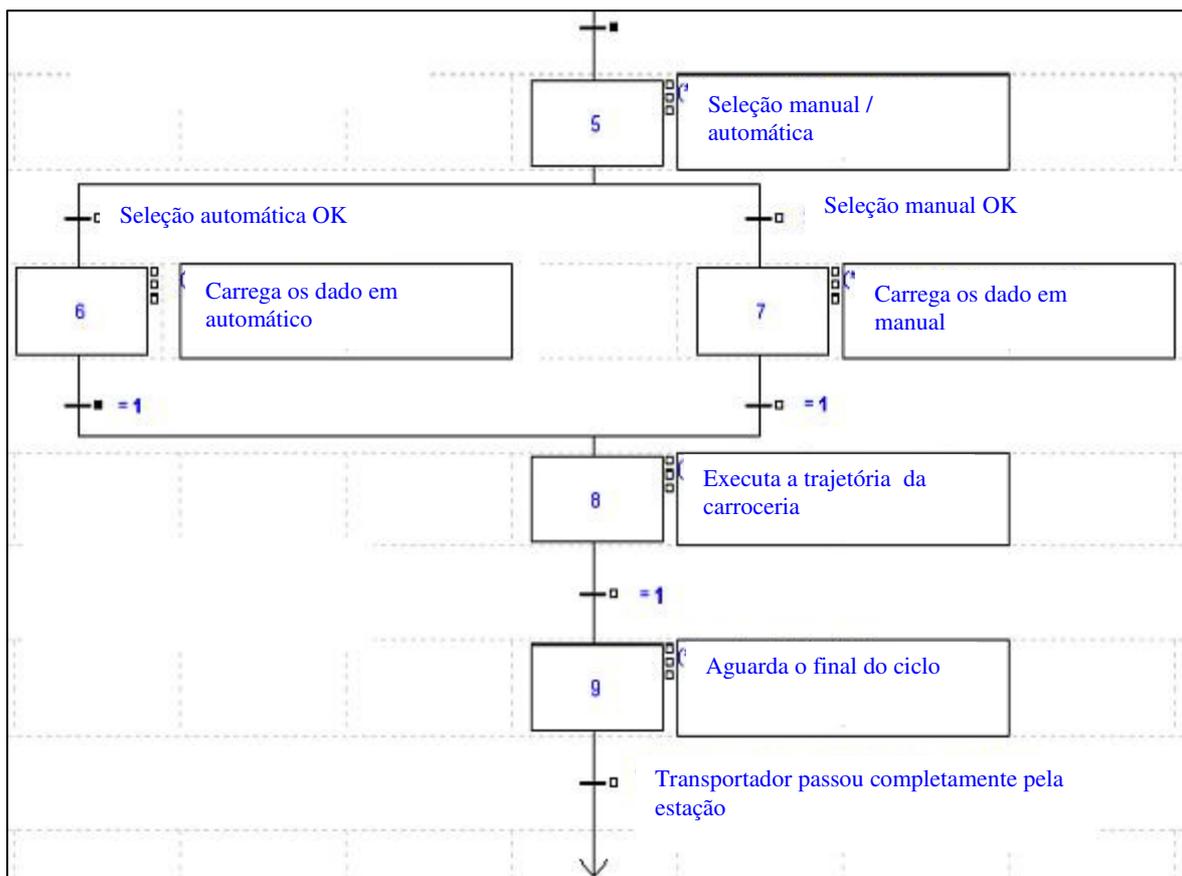


Figura 5.8 – “Grafcet” do sistema de funcionamento da cortina em manual e automático (tela do programa PL7 PRO da Schineider)

O modelo de funcionamento completo em GRAFCET é representado na Figura 5.9. As etapas de 0 a 9, completam o ciclo deste sistema. Após a execução da etapa 9, o sistema irá retornar a etapa inicial 0, para aguardar a chegada de um novo veículo para a limpeza.

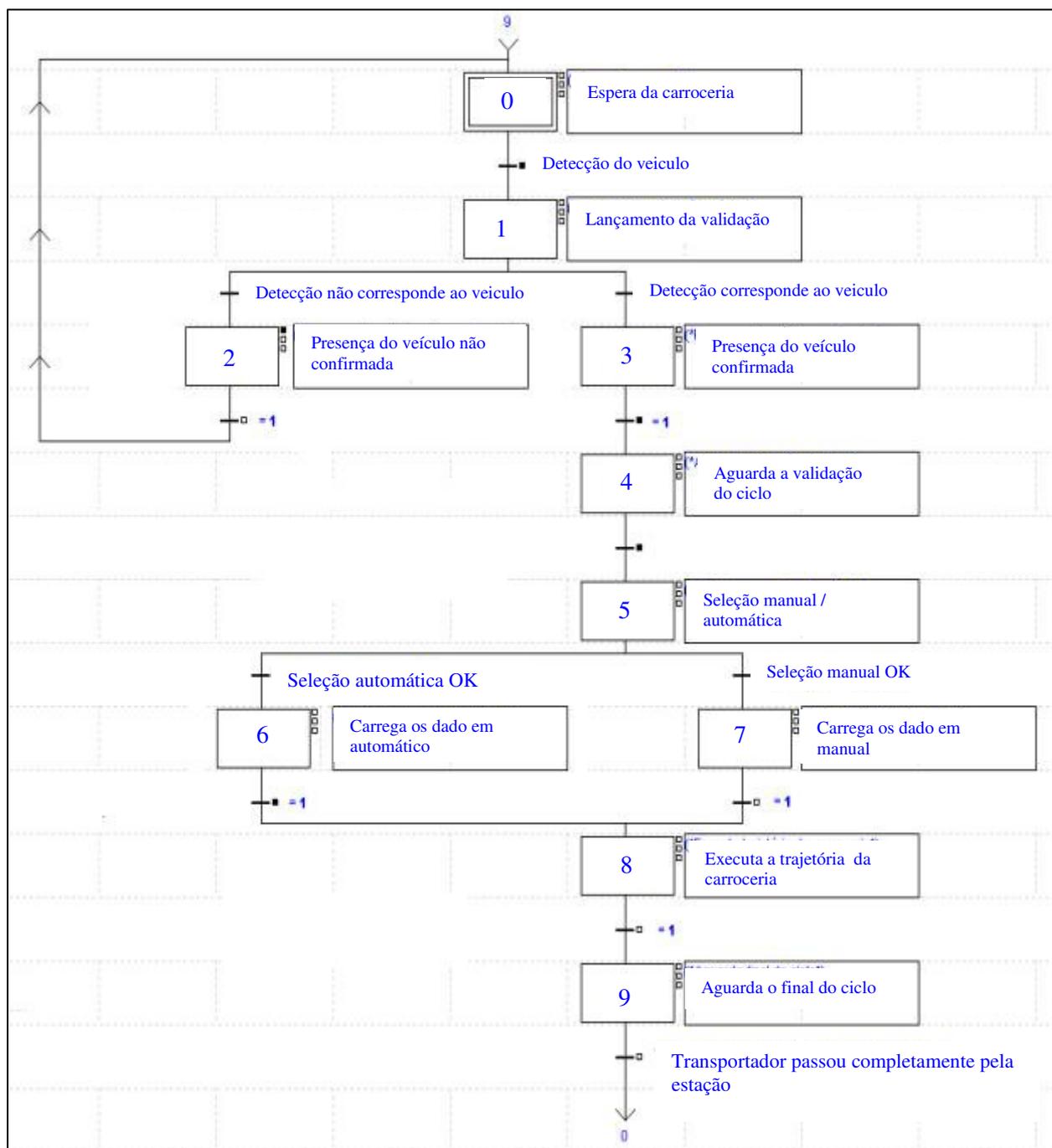


Figura 5.9 – Modelo final funcionamento da cortina em GRAFCET (tela do programa PL7 PRO da Schneider)

6 GERAÇÃO COMPUTACIONAL DO PERFIL DO AUTOMÓVEL (TRAJETÓRIA)

Na linha da cabine de pintura o veículo se movimenta a uma velocidade constante de 3,10 metros por minuto. O movimento de subida e descida da cortina será em sincronismo com o avanço da esteira.

O programa de trajetória da cortina foi criado para cada veículo da seguinte maneira:

- determinação das abscissas para cada veículo;
- determinação da ordenada de cada veículo;
- criação da tabela abscissa x ordenada;
- elaboração do gráfico de cada veículo;
- criação do programa em linguagem “C”.

6.1 Programação do veículo A

Para a criação da trajetória do veículo A, determinam-se algumas coordenadas chave deste veículo, estas coordenadas serão importantes porque definirão o perfil a ser seguido pela cortina durante o processo de limpeza da carroceria.

1. início do veículo;
2. início do capô;
3. meio capô;
4. final do capô;
5. início do teto;
6. meio do teto;
7. final do teto;
8. final da tampa traseira;
9. final do veículo.

Uma vez determinados estes pontos, determina-se a coordenada Z da máquina, correspondente a cada coordenada X do veículo, e cria-se uma tabela (Tabela 6.1 para formar o perfil desejado para cada veículo, com demonstra o Gráfico 6.1 .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	pontos
-200	1	90	700	1650	2370	3400	4000	4200	x veículo
1000	1000	1150	1390	1830	1920	1820	1400	800	z cortina de ar

Tabela 6.1 – Coordenadas do veículo x cortina de ar veículo A

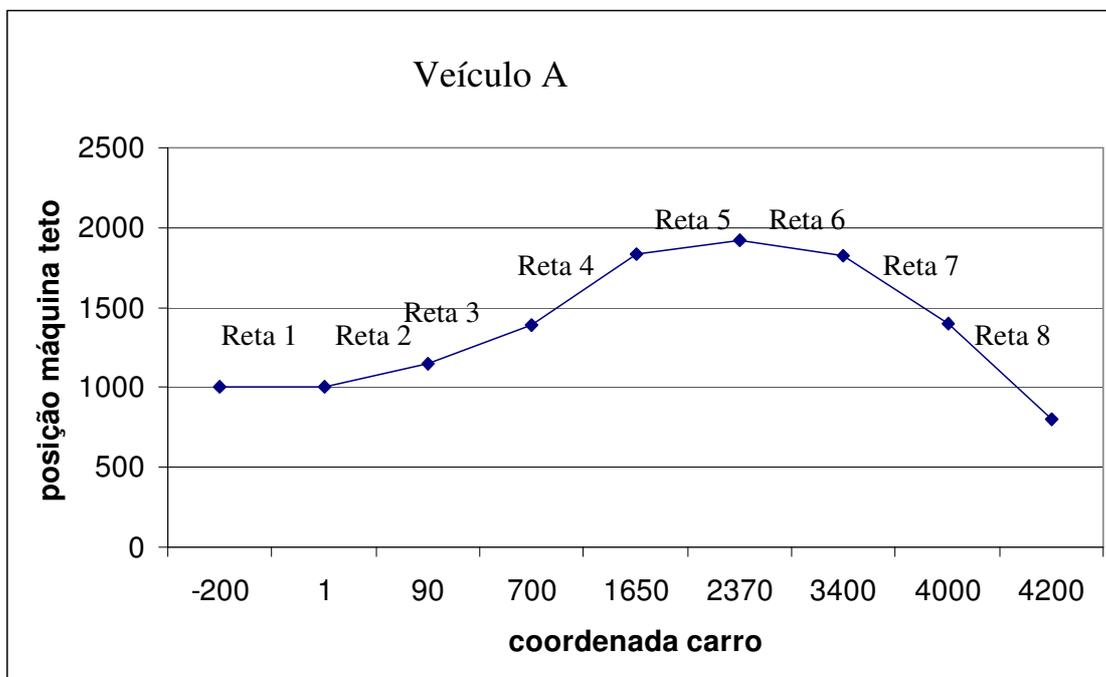


Gráfico 6.1 – Trajetória veículo A

Portanto, a variação da coordenada (cortina de ar) é proporcional à variação da abscissa (coordenada do carro), e a constante de proporcionalidade é a declividade da reta formada pela intersecção de cada ponto determinado para a geração da trajetória.

6.2 Cálculo do coeficiente angular

Determina-se o coeficiente angular de cada reta gerada pelos eixos X e Z. A cada momento em que o veículo atingir a coordenada X da tabela, a cortina estará se movimentando para a sua coordenada Z, mantendo o perfil do veículo e à distância entre os sopradores e a região a ser soprada constantemente. A velocidade de movimentação da cortina para cada coordenada, será em função do tempo de avanço do veículo para cada coordenada pré-determinada, assim o a parte móvel da cortina chegará a posição desejada no mesmo tempo de avanço do veículo na estação.

6.3 Programação do veículo B

Determinam-se também, para este veículo, algumas coordenadas chave, para a determinação da trajetória a ser seguida pela cortina de ar. Devido ao comprimento do veículo B ser menor que o veículo A, somente oito coordenadas são necessárias para esta trajetória:

- 1- início do veículo;
- 2- início do capô;
- 3- final do capô;
- 4- início do teto;
- 5- meio do teto;
- 6- final do teto;
- 7- final da tampa traseira;
- 8- final do veículo.

Uma vez determinados estes pontos, determina-se a coordenada Z da máquina, correspondente a cada coordenada X do veículo (Tabela 6.2). O perfil desejado para este veículo está demonstrado no Gráfico 6.2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	ponto
X	-200	0	1000	1800	2400	3200	3700	3800	eixo x
Y	1200	1200	1400	1700	1720	1650	1200	900	eixo y

Tabela 6.2 – Coordenadas do veículo x cortina de ar veículo B

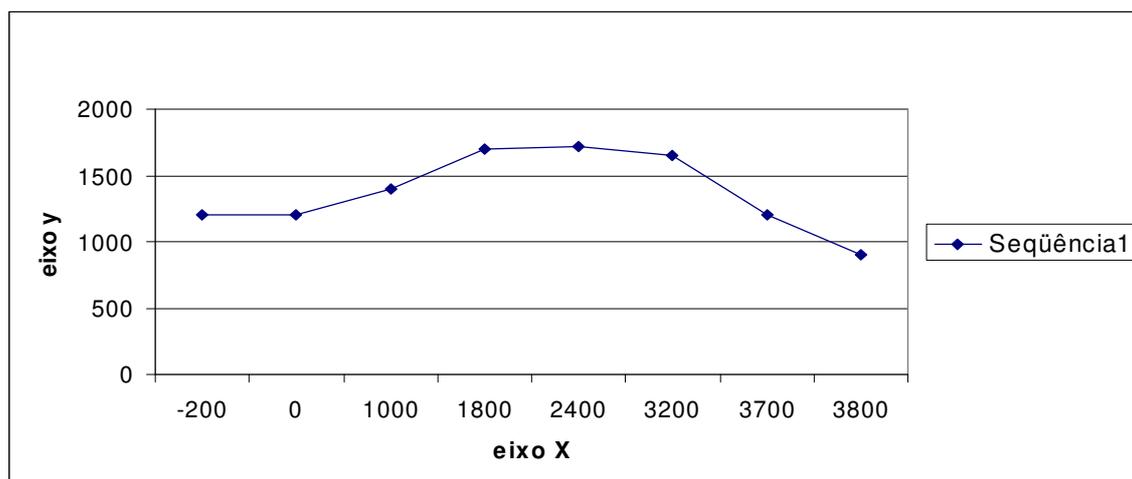


Gráfico 6.2 – Trajetória do veículo B

6.4 Programa do CLP para o funcionamento da cortina em linguagem *ladder*

O programa para o funcionamento da cortina foi criado para o CLP, em linguagem *ladder*, após a modelagem da automação via *Grafcet* .

Após a identificação do veículo, o programa irá checar todos os dados necessários para garantir o funcionamento da cortina:

- pressão de ar;
- inversor;
- isenção de alarmes;
- transportador em funcionamento;
- veículo codificado.

Após a verificação destes itens, o programa irá selecionar a trajetória correspondente e acionar os sopradores. Após a passagem total do veículo, os sopradores serão desligados até a codificação de novo veículo, visando assim à economia do ar comprimido. Se algum dos itens analisados não estiver validado o sistema continuará em repouso.

O fluxograma de funcionamento deste sistema é representado na Figura 6.1.

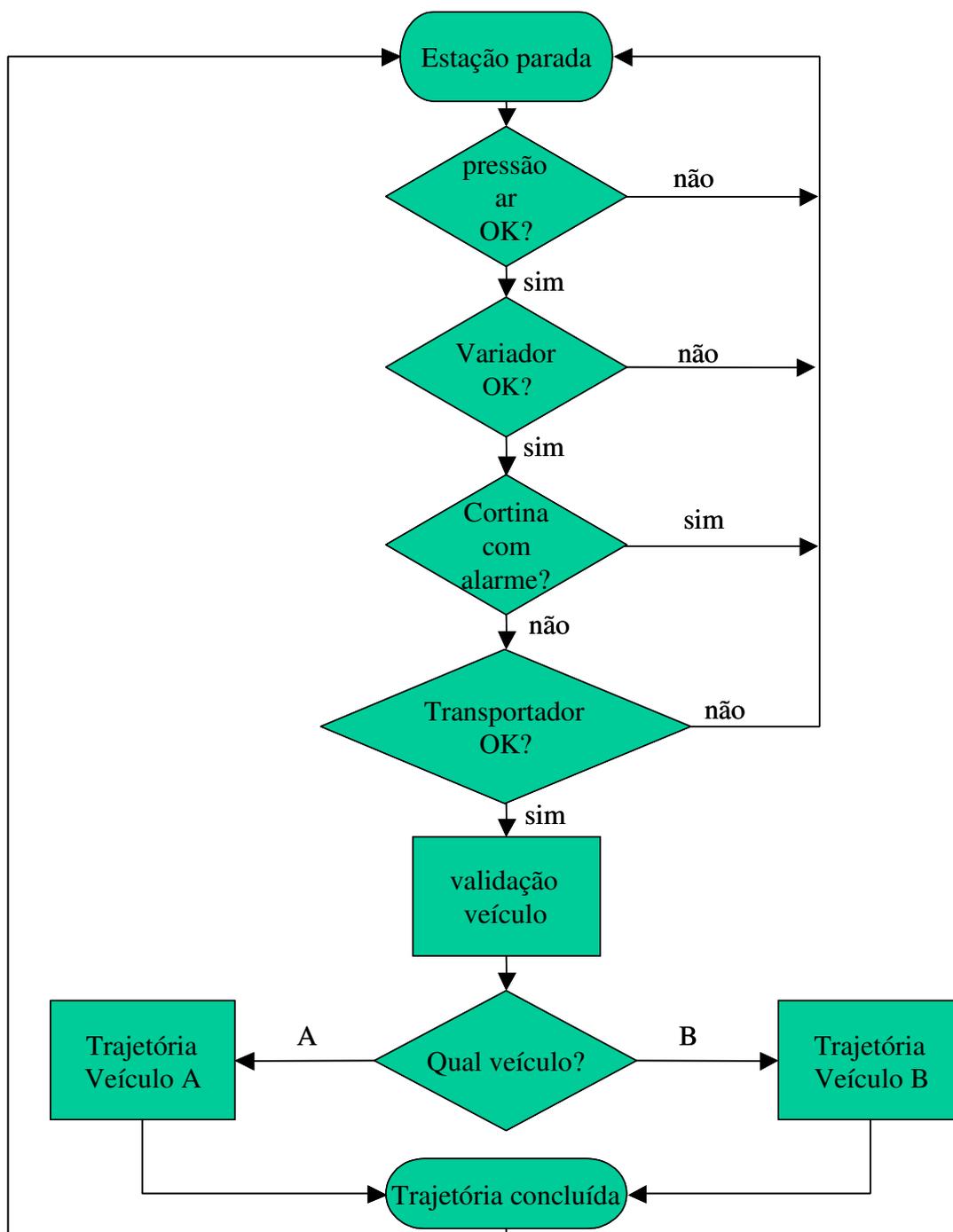


Figura 6.1 – Diagrama do funcionamento da cortina

A programação da trajetória da cortina foi realizada em linguagem *ladder* com o software PL7 PRO da Schneider, como ilustra a Figura 6.2.

O tipo 20 corresponde ao veículo A e o tipo 21 corresponde ao veículo B.

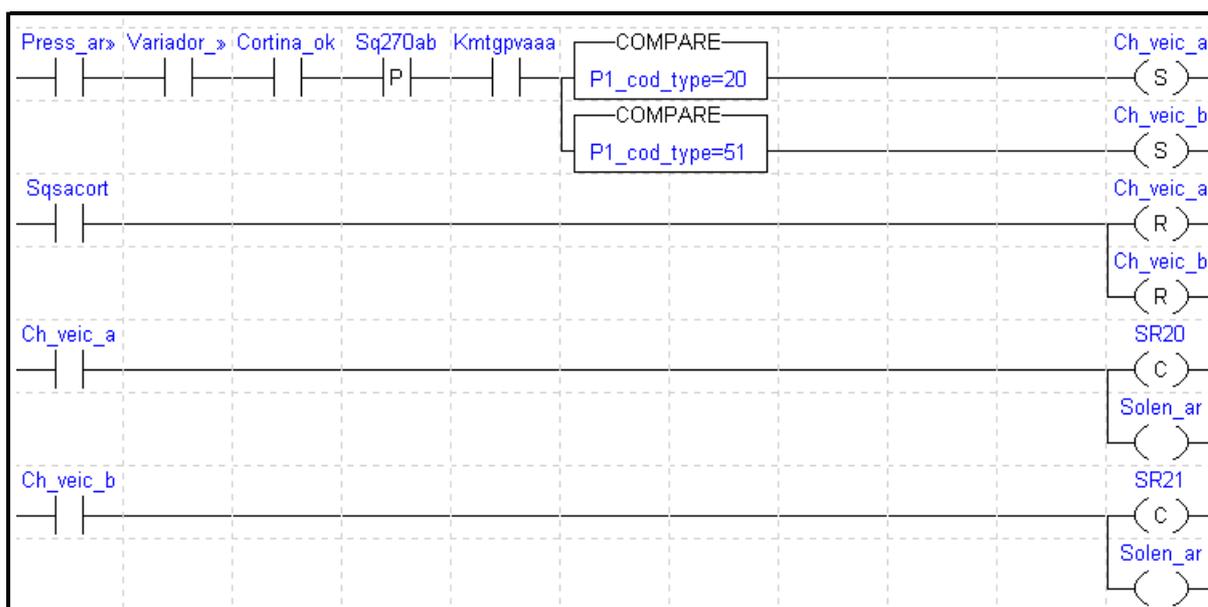


Figura 6.2 – Programação da movimentação da cortina em *ladder*

6.5 Sistema de segurança para evitar colisão entre a máquina e o veículo

Para garantir a segurança do equipamento e evitar que ocorra choque entre a carroceria e a máquina, será instalado um conjunto de sensor óptico do tipo barreira.

Se, por algum motivo, uma parte móvel do veículo for deixada aberta durante o seu processo, a cortina deverá ter um sistema capaz de detectar esta anomalia e parar o seu movimento durante a movimentação automática para evitar a colisão entre o veículo e a máquina.

Para este tipo de segurança, está sendo proposta a aplicação de um sensor óptico por barreira, direcionado estrategicamente nos raios de movimento destas peças.

6.6 Funcionamento do sensor óptico do tipo barreira

Baseia-se na interrupção ou incidência de um feixe luminoso sobre um foto receptor (Figura 6.3). A emissão de luz é invisível, proveniente da emissão de raios ultravioletas.

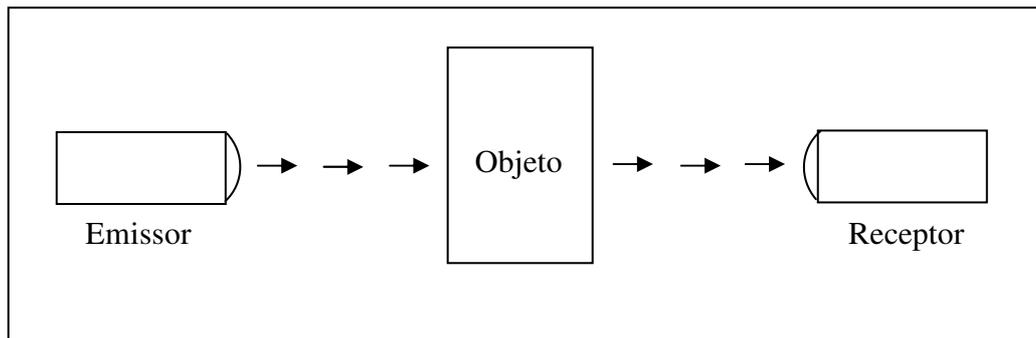


Figura 6.3 – Funcionamento do sensor óptico por barreira

6.7 Diagrama de blocos

O diagrama de blocos do sensor proposto é o representado na Figura 6.4.

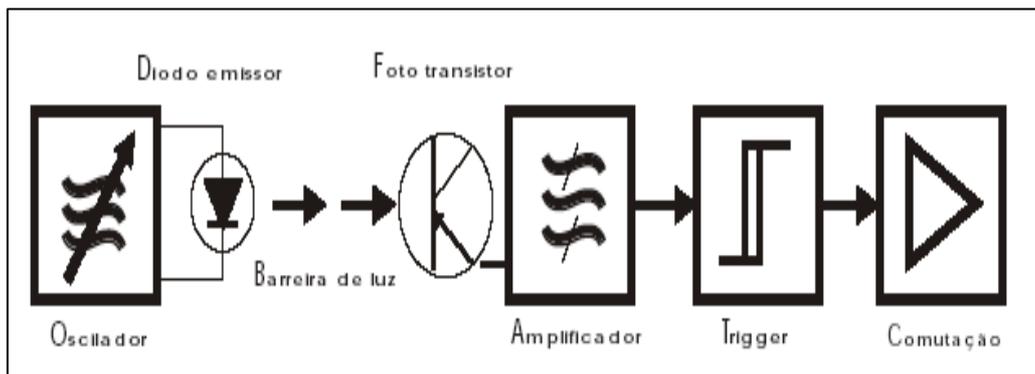


Figura 6.4 – Diagrama de blocos do sensor óptico por barreira

7 RESULTADOS

7.1 Resultado das medições de partículas no trajeto da carroceria

Na parte exterior da cabine, tem-se uma grande quantidade de partículas acima do especificado. Estas partículas provêm do próprio sistema de filtragem do prédio, que não possui a mesma eficiência do sistema das cabines e também dos resíduos, gerados durante o processo de fabricação.

As medições a seguir foram realizadas no mesmo trajeto realizado pela carroceria, demonstrado na Figura 7.1.

Através de contagem de partículas nestas regiões, observaram-se as seguintes quantidades.

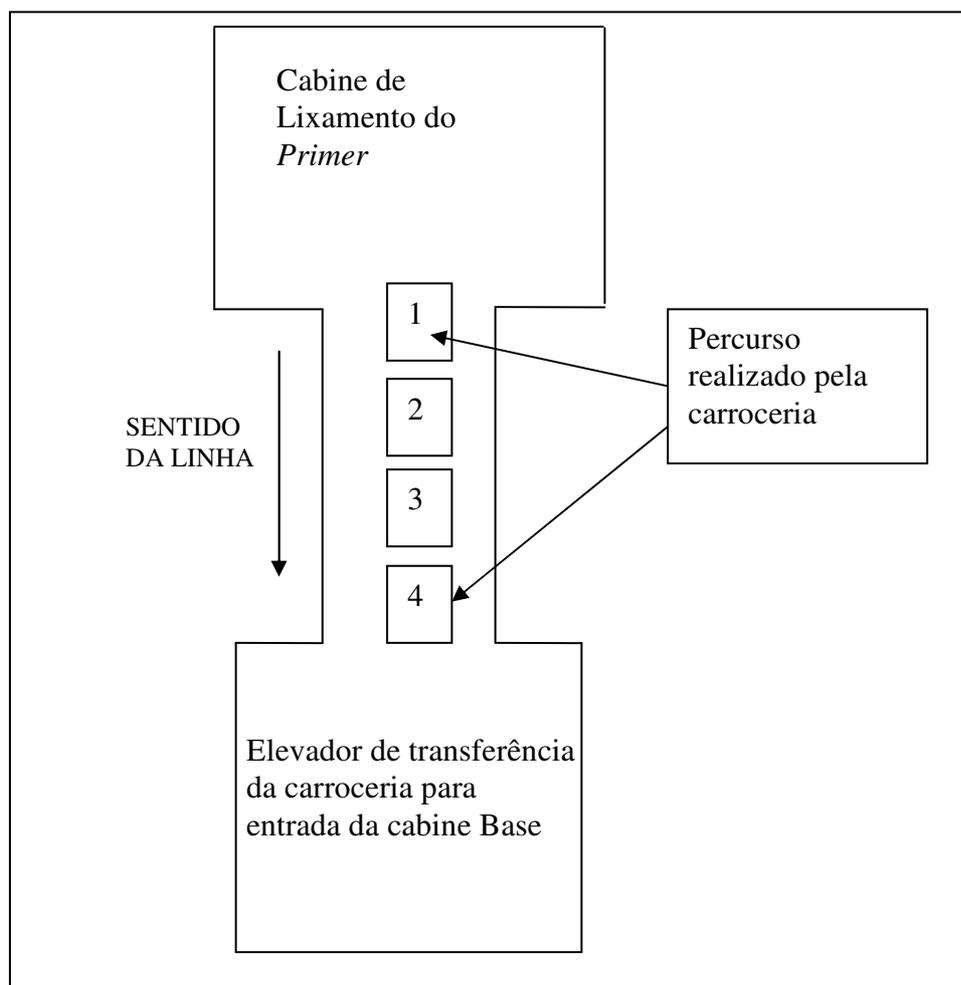


Figura 7.1 – Saída do lixamento do *Primer*

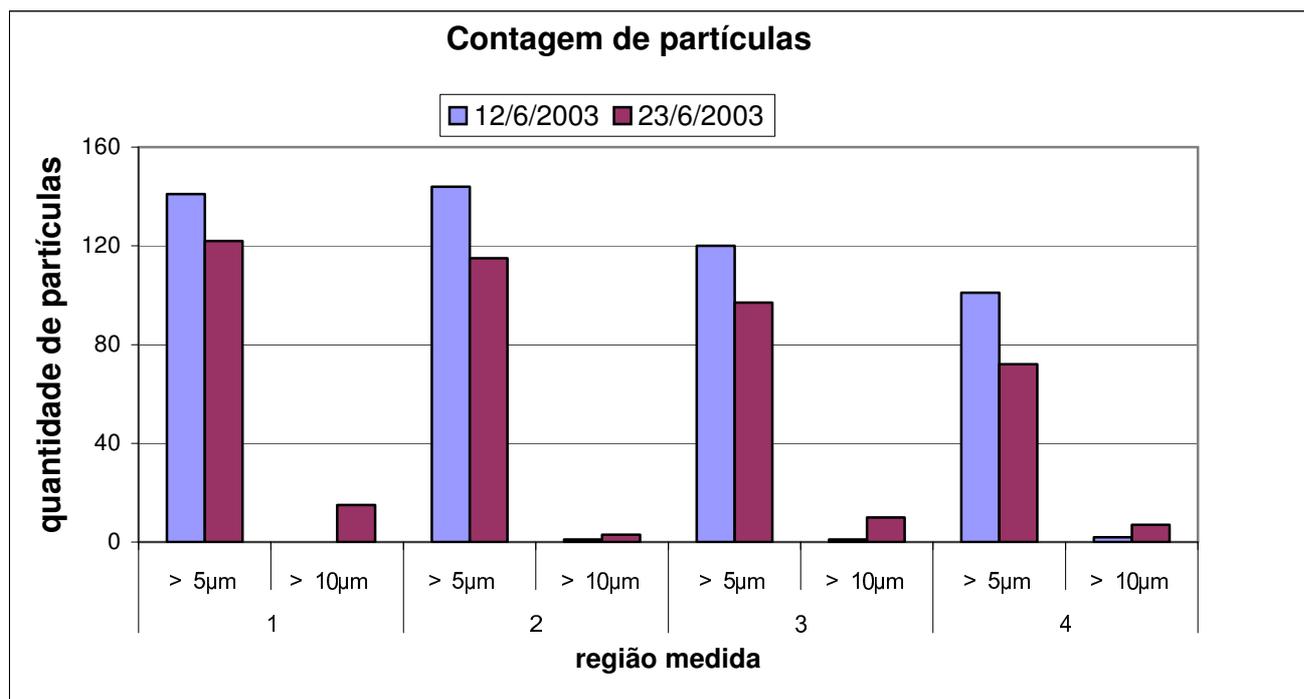


Gráfico 7.1 – Resultado da contagem de partículas do prédio da pintura

Como podemos observar no gráfico 7.1, encontra-se grande quantidade de partículas no prédio da pintura estudada, acima do especificado para o ar da cabine.

7.2 Ensaios realizados

Com a montagem de placas protótipo (Figura 7.2) observou-se que é possível diminuir em 36% a sujidade de uma superfície, através de uma limpeza bem realizada. As placas foram montadas na lateral do veículo, para análise da influência do ar exterior na sujidade das carrocerias. Estas placas-protótipos foram limpas e pintadas em base e verniz. Foi escolhida a cor preta, por se tratar da cor que apresenta maior sujidade.

As placas foram montadas na carroceria, como mostra a Figura 7.3, na área de saída do lixamento do primer. As placas seguiram o mesmo percurso que o veículo (Figura 7.1) dentro do prédio da pintura até a entrada da cabine. Dentro da cabine, a placa, localizada no lado esquerdo da carroceria, foi limpa (placa nº1) e a localizada no lado direito não foi limpa (placa nº2). Após ser pintada em base de verniz e seca na estufa, as placas foram enviadas para o laboratório para ser realizado o ensaio metalográfico.



Figura 7.2 – Placa protótipo



Figura 7.3 - Montagem da placa na carroceria

7.3 Método de medição, utilizado pelo laboratório da qualidade

Neste exame metalográfico, utilizaram-se, para medição e identificação das impurezas, os respectivos equipamentos:

- microscópio ótico Olympus BX 60;
- ampliação de 100X.

7.4 Descrição das partículas encontradas nas placas protótipo e enviadas ao laboratório

Placas pintadas em base de verniz

As placas analisadas apresentaram impurezas com dimensões e formas variadas, tais como:

- ponto preto;
- partícula sólida;
- fiapo;
- partícula sólida em forma de círculo.

Medição das impurezas em μm .

Foram consideradas somente as partículas acima de $5,0 \mu\text{m}$

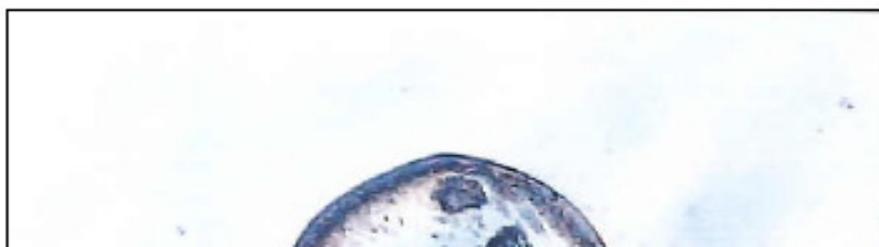
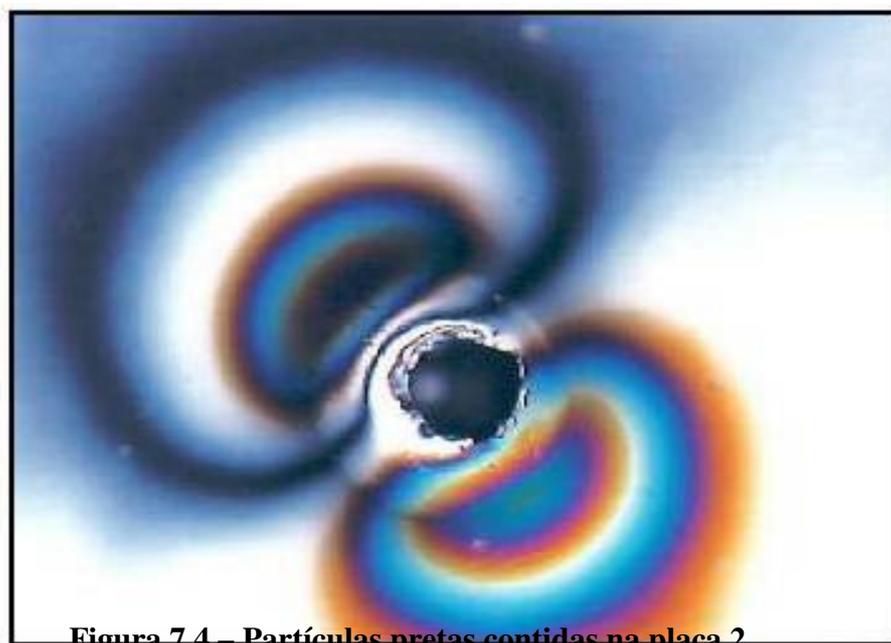


Figura 7.5 - Impurezas na forma de círculo, encontradas na placa 2

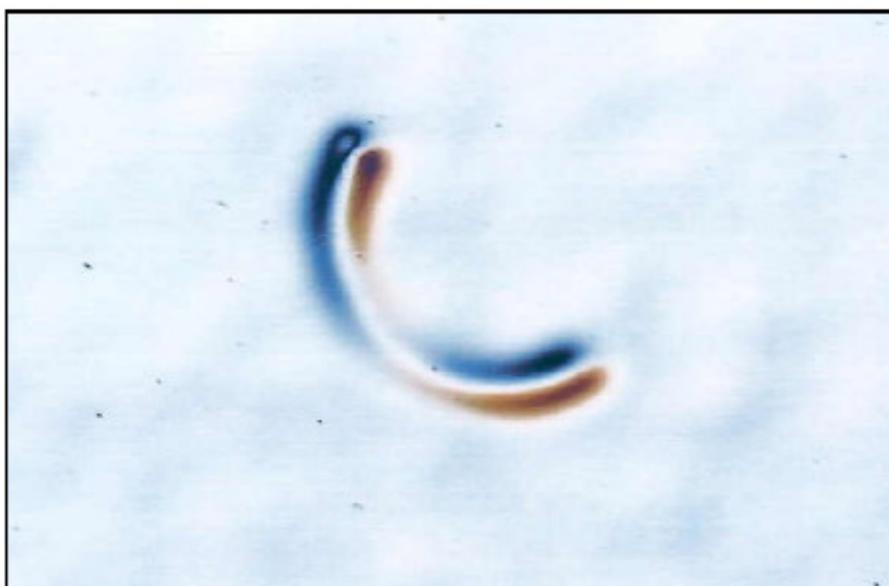


Figura 7.6 - Fiapos aparecem na amostra 2

7.5 Análise dos resultados encontrados

Com uma limpeza eficiente, como demonstrado no ensaio com as placas, poderemos ter um ganho real com relação à sujidade da superfície limpa.

Na Tabela 7.1, apresenta-se os resultados das contagens de partículas nos 5 ensaios realizados.

	Placa não Limpa	Placa Limpa	Eficiência (%)
1	27	16	40,74
2	8	4	50,00

3	9	6	33,33
4	7	6	14,29
5	12	7	41,67
			Média das Eficiências (%)
			36,01

Tabela 7.1 – Resultado da contagem de partículas nas placas de ensaio

Com base nos resultados obtidos, projeta-se um ganho na eficiência da limpeza do sistema proposto de 36,01%.

7.6 Diagrama geral da cortina implantada

A Figura 7.7 apresenta o sistema geral de funcionamento da cortina, com todos os equipamentos instalados: sistema de transmissão, circuito pneumático e CLP com interface de edição de programas. O comando geral do sistema será feito pelo CLP, que estará comandando todos os equipamentos e as ações de funcionamento.

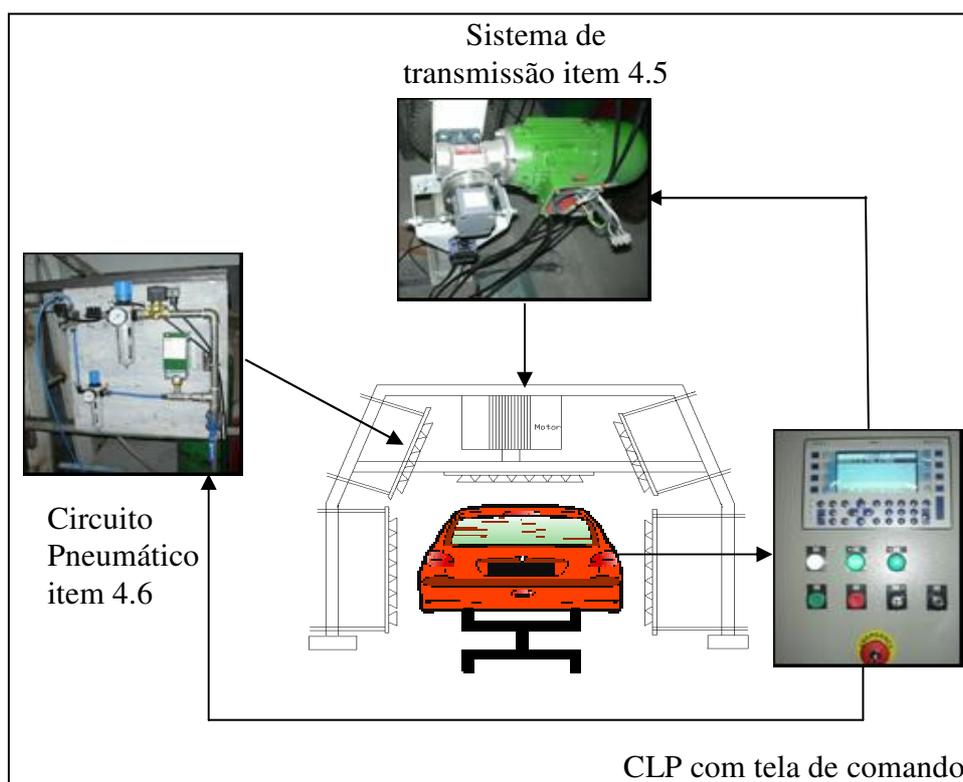


Figura 7.7 - Diagrama geral da cortina de ar

7.7 Instalação da cortina

Após a fase de estudos, a cortina de ar proposta foi implantada, como mostra a as figuras a seguir. A Figura 7.8 apresenta a cortina em fase de testes durante a sua montagem e a Figura 7.9 mostra a cortina montada na entrada da cabine.



Figura 7.8 - Cortina de ar em fase de ensaios

Na figura 40, tem-se a cortina montada na entrada da cabine, como foi proposto neste trabalho.



Figura 7.9 - Cortina de ar montada na entrada da cabine

8 CONCLUSÃO

Através da automação do sistema de limpeza na área de pintura, consegue-se a melhoria do processo em vários pontos:

- eliminação do trabalho manual de limpeza;
- limpeza uniforme da carroceria;
- fácil adaptação desse sistema de limpeza para outros modelos a serem produzidos;
- limpeza realizada na entrada da cabine e não no interior da mesma, evitando a contaminação de outros veículos;
- trabalho com ar comprimido, com as mesmas especificações que o ar interno das cabines (isento de partículas acima de 5 microns).

No trabalho proposto, modelou-se a automação para a limpeza do veículo, através do sincronismo entre o eixo das abscissas (veículo) e o eixo das ordenadas (cortina de ar), mantendo-se uma limpeza constante em toda a parte horizontal do veículo. Com isso, aumenta-se a qualidade do produto, diminuiu-se a necessidade de repetição do trabalho e, conseqüentemente, se obtém a redução do custo de fabricação do mesmo.

Com a aplicação das ferramentas GRAFCET, linguagem de programação em “C” e linguagem Ladder, pode-se desenvolver toda lógica de programação da cortina proposta. Após o desenvolvimento do modelo de funcionamento da cortina em GRAFCET, foi possível desenvolver o programa em *LADDER*, prevendo as etapas do processo e os tipos de equipamentos a serem realizados.

Com a implantação de uma limpeza automatizada, garante-se uma operação tão confiável quanto o sistema de aplicação, que é realizado por robôs.

Como proposta para trabalhos futuros são sugeridas, a utilização de um sistema de visão e a utilização de ar ionizado. O sistema de visão otimizaria o sistema de identificação dos diferentes tipos de veículo e melhoraria a precisão do sistema. A utilização da tecnologia de ar ionizado, vem sendo amplamente utilizada em sistemas de limpeza. A sua utilização, permitirá ao projeto futuro uma limpeza mais eficiente do

veículo.

Este trabalho está em fase de implantação, na planta de pintura estudada, conforme figuras apresentadas no capítulo 7 deste trabalho.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTAR, Rita. **A Utilização do GRAFCET como Ferramenta na Automação Industrial**. 1993. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo: UNICAMP.

BOURST, Sylvain. **Empaissierement & Aéraulique Procès Peinture, PSA : Sevelnord**, 2001.

CHALIER, I. **Análise Funcional. Colocação de Parâmetros Telemecânica**, França, 1997.

FERREIRA, Jorge Augusto Fernandes. **Virtualização de Autômatos Programáveis**. 1994. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia. Eletrônica e Telecomunicações). Universidade de Aveiro, Portugal.

FREUDENBERG. **Filtração de Ar nas Cabines e Secadores em Plantas de Pintura**. In: Seminário Técnico, 2001, Jacareí: The Freudenberg Nonwovens Group, 2001.

GEORGINE, Marcelo. **Automação Aplicada Descrição e Implementação de Sistemas Seqüências com PLC's**. São Paulo: Érica, 2000.

LEITHOLD, Luis. **O Cálculo Com Geometria Analítica**. São Paulo: Harbra, 1817.

MIZRAHI, Victorine Viviane. **Treinamento em Linguagem C**. São Paulo: Makron Books, 1990.

PARKER HANNIFIN IND. COM. LTDA. **Tecnologia Pneumática Industrial**. Jacareí, São Paulo, 2002.

PSA. **Guide de Conception dés Installations Cabines D'Application de Peinture**. FRANCE, 1997.

RILLO, Márcio. **Célula robotizada de montagem com alto grau de autonomia**. 1994. 132 f. Tese (Livre Docência) Engenharia Elétrica e Eletrônica – Escola Politécnica, São Paulo.

ROMANO, V. F.; GUIMARÃES, P. R. A. **Projeto de Alimentador Pneumático para Automação de Processo de Alimentação de Chapas em Prensas CNC**. In: V SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente 2001. Canela: SBAI, 2001.

SARQUIS ATTÍE, Sérgio. **Automação Hidráulica e Pneumática Empregando a Teoria de Sistemas a Eventos Discretos**. 1998. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VIEIRA, Agnelo Denis, **Implementação de Estrutura de controle de sistema a eventos discretos em controlador lógico programável utilizando a teoria Controle Supervisório Modular Local**, 2003. 32 f. Dissertação (Mestrado Produtônica) – Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, PUC-Paraná.

FONTE ELETRÔNICA

<http://www.festo.com/didactic/service.asp>, software fluid 3.6. Consultado em 08/02/2004.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Luciano de Lima Lopes
Taubaté, novembro de 2004.