

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Curso de Engenharia Elétrica

**RAFAEL DE PAULA PERES**

**REDES DE COMUNICAÇÃO PROFIBUS**

Itatiba

2012

**RAFAEL DE PAULA PERES - R.A. 002200800459**

## **REDES DE COMUNICAÇÃO PROFIBUS**

Relatório apresentado à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica para análise e aprovação.

Orientador: Prof. André Renato Bakalereskis

Itatiba

2012

*"O temor do SENHOR é o princípio do conhecimento; os loucos desprezam  
a sabedoria e a instrução."*

**(Provérbios 1 : 7)**

# AGRADECIMENTOS

Antes de tudo e todos, agradeço a Deus, e a meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, por ser a minha motivação, meu refúgio e fortaleza. A Ele toda honra e toda glória!

Agradeço a minha família, por ser tudo o que uma família precisa ser. Pelo apoio em todos os momentos, e por me oferecerem o exemplo perfeito de ser humano que eu desejo ser.

Agradeço a minha esposa, Sulene, que me compreende, às vezes melhor do que eu mesmo, e pelo amor e dedicação que oferece a mim incansavelmente.

Aos meus irmãos e amigos, pela confiança em mim e em minha capacidade, pelo suporte nos momentos de dificuldade e por compartilharem comigo todos os momentos alegres, que fazem dessa vida algo agradável e prazeroso.

Aos professores e colegas, que nunca negaram ajuda nem retiveram consigo o conhecimento, dando-me de presente algo que ninguém poderá tirar de mim.

Por fim, visando não cometer injustiça com ninguém, agradeço a todos que de alguma forma fazem parte da minha vida, da minha história, e que contribuíram com sua parcela para que eu chegasse onde estou agora.

## Resumo

O setor industrial tem se deparado cada vez mais com a necessidade de processos robustos, velozes e confiáveis, com um alto grau de controle e monitoramento. A solução veio através da automação industrial, e a opção por utilizar-se de redes industriais é uma forte tendência. O Sistema PROFIBUS, derivada do FIELDBUS, é um dos padrões de rede mais difundidos no mercado e traz uma série de vantagens, como padronização entre diferentes fabricantes, alta velocidade de dados, além de redução no custo de instalação e manutenção. Ao longo deste trabalho será apresentado um breve histórico da tecnologia, bem como suas variáveis PROFIBUS DP, PA e FMS, os meios de transmissão mais utilizados, as formas mais comuns de topologia de redes e os principais pontos a serem observados para o dimensionamento de uma rede. Um exemplo prático da utilização dessa tecnologia foi desenvolvido, utilizando-se de um bloco de válvulas pneumáticas que utiliza uma interface eletrônica PROFIBUS para comunicação e monitoramento, acionando atuadores lineares pneumáticos, com o objetivo principal de comparar as vantagens desse tipo de instalação comparado ao convencional. A utilização do PROFIBUS mostrou-se satisfatória nesse caso principalmente no que diz respeito à simplicidade de instalação, economia considerável de cabos e sua clareza estética, além de uma comunicação confiável entre o Controlador Lógico Programável e o bloco pneumático.

Palavras-chave: Automação Industrial, Redes Industriais, PROFIBUS, PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA, PROFIBUS-FMS.

## **Abstract**

The industrial sector has been faced with increasingly need robust processes, fast and reliable, with a high degree of control and monitoring. The solution came through industrial automation, and the option to use up to industrial networks is a strong trend. The PROFIBUS system, derived from FIELDBUS, is one of the most widespread network standards in the market and has a number of advantages, such as standardization across different manufacturers, high speed data, and reducing the cost of installation and maintenance. Throughout this work will be presented a brief history of technology as well as its variables PROFIBUS DP, PA and FMS, the most widely used means of transmission, the most common forms of network topology and the main points to note for the design of a network. A practical example of the use of this technology was developed, using a pneumatic valve block that uses an electronic interface for PROFIBUS communication and monitoring, activating pneumatic linear actuators, with the main objective to compare the advantages of this type of installation compared to conventional . The use of PROFIBUS was satisfactory in this case primarily with regard to simplicity of installation, considerable savings in wiring and aesthetic clarity, and reliable communication between the programmable logic controller and the pneumatic block.

Keywords: Industrial Automation, Industrial Networks, PROFIBUS, PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA, PROFIBUS-FMS.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Tecnologia PROFIBUS.....	5
FIGURA 2 - Exemplo de par trançado.....	7
FIGURA 3 - Exemplo de conexões RS485, fêmea e macho.....	8
FIGURA 4 - Modelo de cabo e conector padrão IEC-61158-2.....	9
FIGURA 5 - Exemplos de conectores para cabos de fibra ótica.....	10
FIGURA 6 - Topologia de rede tipo estrela.....	11
FIGURA 7 - Topologia de rede tipo barramento.....	11
FIGURA 8 - Topologia de rede tipo “ponto a ponto”.....	11
FIGURA 9 - Exemplo de segmentos com repetidores.....	14
FIGURA 10 - Exemplo de cabo tipo Shield com terminador em sua extremidade.....	14
FIGURA 11 - Correção de ruído com o uso de terminadores de rede.....	15
FIGURA 12 - Detalhe da ocultação das mangueiras e cabos.....	19
FIGURA 13 - Esquema elétrico do módulo (simplificado).....	19
FIGURA 14 - Esquema pneumático da montagem do módulo.....	20
FIGURA 15 - Vista superior do módulo finalizado.....	21
FIGURA 16 - Vista geral do módulo pronto.....	21
FIGURA 17 - Fluxograma da sequência de operação do módulo.....	22
FIGURA 18 - Programação do CLP.....	23
FIGURA 19 - Diagrama Trajeto-passo do funcionamento do módulo.....	26

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características da Tecnologia de transmissão IEC 61158-2.....	9
TABELA 2 - Comparativo entre tecnologias de protocolo de rede.....	12
TABELA 3 - Características dos cabos tipo A, B, C e D.....	13
TABELA 4 - Dados para instalação de uma rede PROFIBUS PA de acordo com a IEC 61158-2.....	16

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

CLP	- Controlador Lógico Programve
DIN	- <i>Deutsches Institut für Normung</i>
EN	- <i>European Norm</i>
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
FISCO	- <i>Fieldbus Intrinsically Safe Concept</i>
MODBUS	- <i>Modicon Bus</i>
PROFIBUS	- <i>Process Field Bus</i>
PROFIBUS DP	- <i>Process Field Bus Decentralized Periphery</i>
PROFIBUS FMS	- <i>Process Field Bus Field Message Specification</i>
PROFIBUS PA	- <i>Process Field Bus Process Automation</i>
PROFINET	- <i>Process Field Ethernet</i>
TCP/IP	- <i>Transmission Control Protocol/ Internet Protocol</i>

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1.....	23
EQUAÇÃO 2.....	24

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FUGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIações.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES.....</b>	<b>iv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
3.1 REDES.....	12
3.2 VANTAGENS DE UMA REDE FIELDBUS.....	12
3.3 TECNOLOGIA PROFIBUS.....	13
3.3.1 PROFIBUS DP.....	14
3.3.2 PROFIBUS FMS.....	15
3.3.3 PROFIBUS PA.....	15
3.4 MEIOS DE TRANSMISSÃO.....	16
3.4.1 RS 485.....	16
3.4.2 IEC-61158-2.....	17
3.4.3 FIBRA ÓTICA.....	19
3.5 TOPOLOGIA DAS REDES.....	19
3.6 CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE PROFIBUS.....	21

3.6.1 COUPLERS,REPETIDORES E TERMINADORES.....	22
<b>4 DESENVOLVIMENTO DA PARTE PRÁTICA.....</b>	<b>25</b>
4.1 MONTAGEM.....	26
4.2 PROGRAMAÇÃO DO CLP.....	29
4.3 FUNCIONAMENTO.....	33
4.4 COMPARATIVO.....	34
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo dissertar sobre o sistema de comunicação industrial conhecido como PROFIBUS, relatar suas origens através de um levantamento histórico, seu princípio de funcionamento, comparar sua eficiência com algumas tecnologias disponíveis no mercado, exemplos de aplicações práticas e suas vantagens frente às outras modalidades de comunicação e comando.

Os termos automação industrial, comunicação industrial e redes industriais têm sido cada vez mais utilizados em indústrias dos mais variados segmentos, sejam de pequeno ou grande porte. A necessidade por processos ágeis, confiáveis e simples tendem ao uso de tecnologias de automação e controle, que ao mesmo tempo permitam fáceis modificações e rápidos reparos.

Muitos têm migrado de seus controladores programáveis convencionais com comandos ponto a ponto por sistemas de comunicação por barramento, por permitirem um volume de informações muito maior com uma quantidade muito menor de cabos, como por exemplo, os sistemas FIELDBUS, de onde deriva o PROFIBUS.

Segundo LUGLI e SANTOS, 2009, a utilização de todas essas ferramentas e métodos torna possível desenvolver sistemas de automação compostos por uma série de sensores, atuadores, controladores e outros dispositivos conectados entre si por uma rede (barramento industrial), os quais cooperam para a realização de tarefas. Isso traz uma série de vantagens quanto à confiabilidade, modularidade, facilidade de compreensão e ao custo em comparação com os sistemas centralizados anteriormente utilizados.

## 2 METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho, foi realizado um estudo para fundamentação teórica sobre redes de comunicação por meio de pesquisa bibliográfica, como livros, artigos e trabalhos acadêmicos, webgráfica, através de sites da internet especialistas e confiáveis, além de uma intensa busca de informações com profissionais ligados à área, que pudessem acrescentar valiosas informações acerca do assunto.

A princípio, o foco será a definição de rede, seu funcionamento e suas variações. Posteriormente, a origem do sistema PROFIBUS, suas derivações e aplicações. Por fim, os elementos físicos de um sistema padrão, exemplos de suas aplicações práticas e possibilidades de aplicações. Também haverá uma breve explanação sobre alguns parâmetros a serem observados ao se dimensionar uma rede PROFIBUS.

Posteriormente à fundamentação teórica, será executado um pequeno projeto, exemplificando a aplicação de uma rede de comunicação PROFIBUS em um sistema de automação industrial, envolvendo controladores lógicos programáveis, válvulas pneumáticas por acionamento eletrônico e módulos de comunicação PROFIBUS para interface entre o controlador e o bloco de válvulas. O foco principal da execução desse projeto será a montagem de um módulo que permita exemplificar com facilidade e clareza a implantação de uma rede em um processo industrial qualquer, podendo ser utilizado para demonstrações a clientes em potencial, para treinamentos de novos colaboradores do ramo ou para exposições em feiras e eventos. Semelhantemente também haverá uma breve comparação entre método convencional de comando das válvulas e o método de controle por PROFIBUS.

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Redes

Uma rede é o elemento físico que interliga os componentes de um sistema. Sendo assim, um malha viária que interliga duas cidades distintas e permite a passagem de automóveis nos dois sentidos pode ser considerada uma rede, bem como a rede elétrica, que fornece energia às residências.

Trazendo à realidade industrial, uma rede é o elemento que permite a troca de informações entre máquinas e entre as máquinas e o usuário.

No que se trata de automação de máquinas, um dos métodos mais comuns é o emprego de controladores lógicos programáveis, conhecidos como CLP's.

Em sua aplicação mais simples, utiliza-se de redes paralelas, ou seja, existe um par de fios para cada sinal de entrada e um par de fios para cada sinal de saída. Segundo MORAES e CASTRUCCI, 2007, foi na década de 80 que houve o aperfeiçoamento das funções de comunicação dos CLP's, sendo então utilizados em rede.

Visando a diminuição de cabos e a possibilidade de troca dos comandos de forma fácil, logo se passou a usar o sistema de comunicação serial, que permite com um único cabo a troca de informações entre CLP, sensor e atuador.

Entenda-se sensor todo e qualquer componente que monitora alguma variável de um sistema e envia ao CLP em forma de sinal, e atuador, todo e qualquer componente que recebe um sinal do CLP para mudar de estado.

As formas mais comuns de redes seriais são as chamadas redes FIELDBUS. Uma rede FIELDBUS serve como a conexão entre o nível de automação formado pelo sistema de dados dos controladores inteligentes (Controladores eletrônicos, CLP's, Robôs) com o nível de supervisão formado pelas células de computadores ou a área de nível mais alto. Pode-se utilizar o conceito multi-mestre, onde vários componentes da rede podem gerar comandos aos outros componentes, ou o sistema mestre-escravo, onde apenas um componente é o gerador de ordens, enquanto todos os outros operam em função de seus comandos.

## 3.2 Vantagens de uma rede PROFIBUS

As maiores vantagens de uma rede do tipo PROFIBUS são:

1. Fim da massa de cabos para instalação entre os controladores e os elementos de campo (sensores e atuadores);
2. Redução dos módulos de entrada e saída dos CLP's;
3. Padronização elétrica e mecânica, tornando a instalação independente do fabricante;
4. Curto tempo de resposta;
5. Instalação simples, rápida e com o mínimo de possibilidade de erros;
6. Possibilidade de ampliação rápida e simples de uma linha, caso haja necessidade;
7. Alto grau de proteção (grau de proteção IP67);
8. Transmissão segura de dados;

## 3.3 Tecnologia PROFIBUS

PROFIBUS (*Process Field Bus*) é um protocolo desenvolvido pela Siemens, que se utiliza de cartões de controle, para conectar os CLP's, computadores e outros aparelhos ao barramento de sensores e atuadores. Hoje, ele é um padrão aberto de rede. Em outras palavras, ele é livre e independente de fabricantes, podendo ser usado por todos. Sendo assim, ele tem sido amplamente utilizado para automação industrial, de processos e manufatura, e também em automação predial.

Atualmente é o segundo tipo mais popular de sistema de comunicação FIELDBUS, perdendo apenas para o protocolo MODBUS.

O PROFIBUS foi definido entre os anos de 1991 e 1993 na norma DIN19245, movida para EN50170 no ano de 1996, e desde o ano de 1999 está incluída nas normas IEC 61158/IEC 61784.

As normas EN50170 e EN50254 garantem sua padronização, tornando possível sua interface com qualquer produto que se utiliza dessa tecnologia, sem haver necessidade de adaptações ou de dispositivos adicionais que permitam sua interface.

De acordo com BARBIERI, 2005, o PROFIBUS é o sistema de comunicação mais preparado para o futuro, pelo fato de a Organização de Usuários PROFIBUS estarem atualmente trabalhando na implementação de conceitos universais para integração vertical baseada no TCP/IP.



Para a ligação de um CLP através de uma rede PROFIBUS DP aos módulos de sensores e atuadores de um sistema, é necessário uma placa processadora no rack do CLP.

Esse protocolo foi o primeiro a ser desenvolvido e é indicado para processos de manufatura e controle no chão de fábrica, para substituição dos comandos 24V e sinais de 4 a 20mA.

### **3.3.2 PROFIBUS FMS**

O PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specification*) é uma evolução do PROFIBUS DP e é empregado em comunicações ao nível de células (nível onde se encontram os CLP's), permitindo troca de informações entre elas. De acordo com BARBIERI, 2007, é o perfil de comunicação universal para tarefas de comunicação complexas. É poderoso o suficiente para suportar comunicação entre sistemas de automação, podendo chegar até ao nível gerencial, apesar de não ser indicado. Atualmente, devido à utilização das aplicações via Ethernet, esse protocolo tem sido substituído e está caindo em desuso.

### **3.3.3 PROFIBUS PA**

É a versão mais recente o PROFIBUS e talvez a mais difundida atualmente. É a solução para conexão e comunicação com equipamentos de campo e chão de fábrica, como por exemplo: comando de válvulas, leitores e transdutores de pressão, temperatura, tensão, posicionadores, sensores etc. e tem sido muito utilizado para substituição dos sinais de 4 a 20mA.

A grande vantagem da sua utilização é a confiabilidade da transmissão das informações, e também as inúmeras possibilidades, como o acompanhamento da situação de cada componente, desativação ou substituição de um componente por outro sem a parada completa do sistema, dispositivos que dão o próprio diagnóstico, e principalmente a versatilidade, por poder ser usado em qualquer segmento de automação e controle.

Geralmente a medição e controle através do PROFIBUS PA são feitos através de um par de fios simples, de preferência trançado, pois esse modelo de cabo diminui a incidência

de correntes de auto-indução. O emprego de um par de fios significa uma redução significativa do custo de instalação, reparos e um ganho no tempo de *startup*.

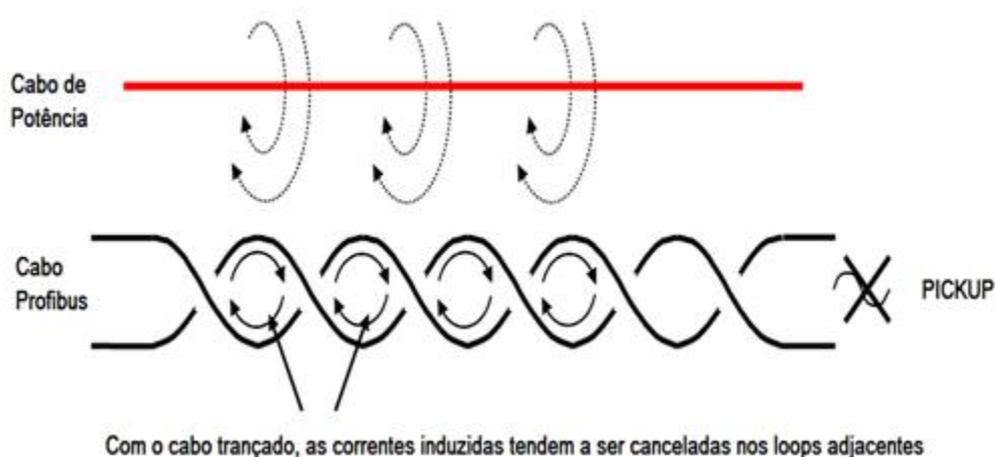


Figura 2: exemplo de par de fio trançado.

Fonte: artigo técnico “PROFIBUS: aterramento, blindagem, ruídos, interferência, reflexão e muito mais”. [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

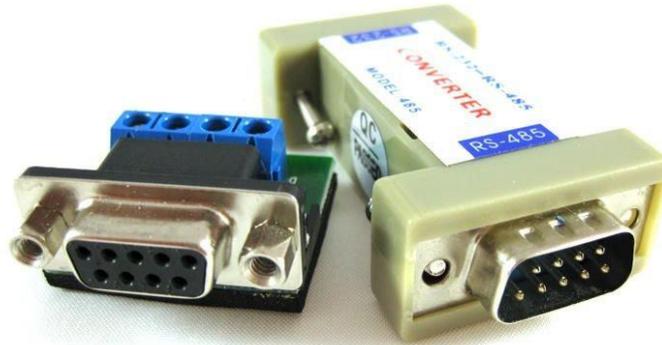
O PROFIBUS PA também atende elevadas exigências no quesito segurança, podendo ser utilizado em áreas intrinsecamente seguras (áreas com potencial explosivo, por exemplo).

### 3.4 Meios de Transmissão

Basicamente, os três meios físicos de transmissão mais utilizados na instalação de uma rede PROFIBUS são os mesmos, podendo variar o tipo de cabo e o tipo de conexão, de acordo com a necessidade de cada aplicação. Como os mais comuns e mais difundidos, serão citados os conectores padrão RS-485, o IEC 61158-2 e a fibra ótica.

#### 3.4.1 RS-485

É o meio o meio mais utilizado, sendo considerado o meio universal. Nesse tipo de instalação, os dispositivos são ligados a uma estrutura de tipo barramento linear. Apenas um fio composto de um par trançado de fios de cobre blindados, também conhecido como cabo *shield* é necessário como meio de transmissão, por isso é o meio mais barato disponível, quando não é necessária nenhuma medida de segurança adicional.



YL CABIN

Figura 3: exemplo de conexões RS485, fêmea e macho;

Fonte: pesquisa webgráfica em [www.aliexpress.com](http://www.aliexpress.com)

### 3.4.2 IEC-61158-2

Desenvolvido para atender os requisitos de segurança exigido por petrolíferas e indústrias químicas, o meio de comunicação IEC-61158-2 permite instalação em áreas de segurança intrínseca, e que os dispositivos sejam energizados pelo próprio barramento. Hoje é internacionalmente reconhecido como modelo básico para barramentos em áreas classificadas.

Cada segmento do circuito possui apenas uma fonte de alimentação, e enquanto uma estação está enviando informações, a energia não é fornecida ao BUS. Quando em estado de repouso, os dispositivos de campo consomem uma corrente quase que insignificante.

As opções e os limites de trabalho em áreas potencialmente explosivas foram definidos segundo o modelo FISCO (*Fieldbus Intrinsically Safe Concept*). (CASSIOLATO,2010);

A tabela a seguir mostra algumas características do IEC 61158-2 (CASSIOLATO,2010):

Tabela 1– Características da Tecnologia de Transmissão IEC 61158-2.

CARACTERÍSTICAS	MEIO FÍSICO DE ACORDO COM IEC 61158-2, VARIANTE H1
Taxa de comunicação	31.25 kbits/s
Cabo	Par trançado com blindagem
Topologia	Barramento, árvore/estrela, ponto a ponto.
Alimentação	Via barramento ou externa
Segurança Intrínseca	Possível
Número de equipamentos	Máximo: 32 ( <i>non-Ex</i> ) <i>Explosion Group IIC: 9</i> <i>Explosion Group IIB: 23</i>
Cabeamento Máximo	1900 m, expansível a 10km com 4 repetidores
Máximo comprimento de spur	120m/spur
Sinal de comunicação	Codificação Manchester, com modulação tensão.

Fonte: artigo técnico “Tecnologia PROFIBUS”, [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

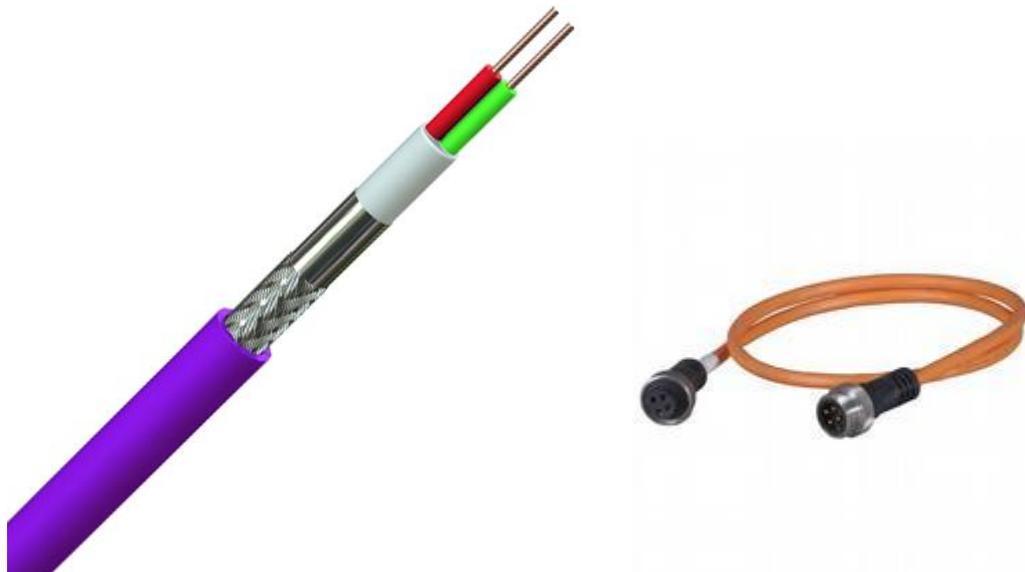


Figura 4: modelo de cabo e conector padrão IEC-61158-2

Fonte: pesquisa webgráfica em [www.fscglobal.com](http://www.fscglobal.com)

### 3.4.3 Fibra Ótica

É o meio de transmissão menos utilizado, apenas em ocasiões especiais, quando se necessita de um comprimento elevado de rede, ou quando o meio de transmissão está sujeito a grandes interferências eletromagnéticas, ou até mesmo para elevar as taxas de transmissão. A topologia da rede que se utiliza da fibra ótica geralmente é em estrela ou em anel.

Uma grande vantagem da utilização da fibra ótica é a possibilidade de redundância, ou seja, meios físicos alternativos que impedem o corte das informações transferindo automaticamente os dados para outro meio quando detectada a falha.

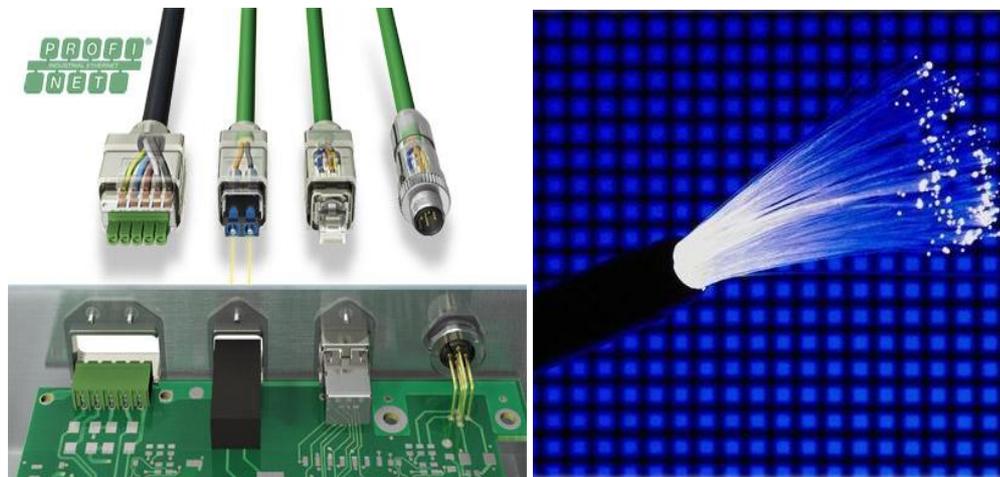


Figura 5: exemplos de conectores para cabos de fibra ótica

Fonte: pesquisa webgráfica em [www.fibraoptica.ind.br](http://www.fibraoptica.ind.br)

### 3.5 Topologia das redes

Como na maioria das redes atuais, é possível utilizar-se de vários tipos de topologias, onde destacam-se a topologia estrela, a barramento e a ponto a ponto. Em alguns casos pode ser utilizada a topologia anel, que consiste em unir o início da rede ao fim, a fim de fechar a rede e permitir que, em caso de rompimento ou anomalia, os dados ainda possam ser transferidos por um outro caminho.

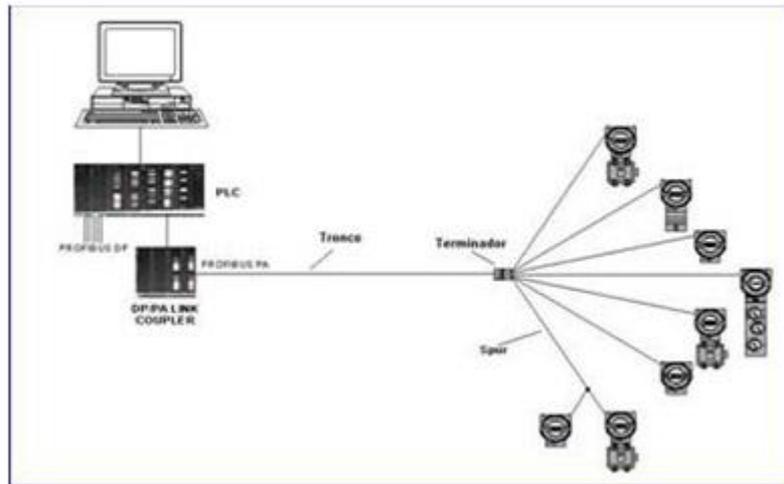


Figura 6: topologia de rede tipo estrela

Fonte: artigo técnico "Tecnologia PROFIBUS", [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

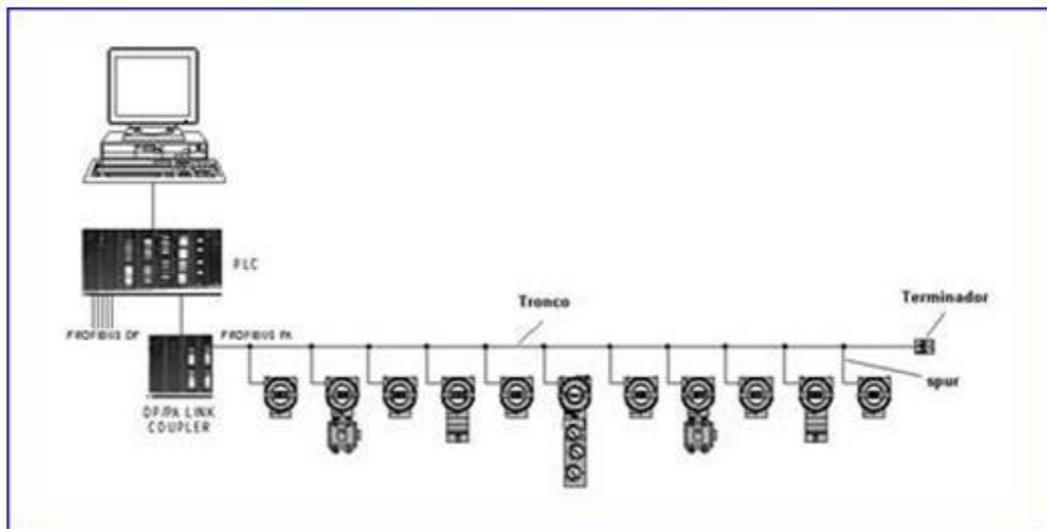


Figura 7: topologia de rede tipo barramento

Fonte: artigo técnico "Tecnologia PROFIBUS", [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

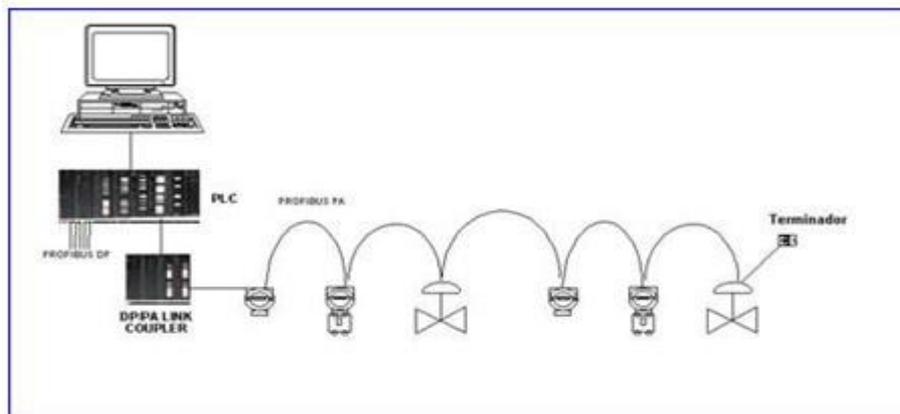


Figura 8: topologia de rede tipo "ponto a ponto"

Fonte: artigo técnico "Tecnologia PROFIBUS", [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

Para se ter uma melhor ideia sobre as principais características do PROFIBUS, e quais tornam-na atrativa ou não em relação a outros protocolos de rede bem conhecidos, o DEVICENET e o PROFINET, seguem os dados na tabela abaixo:

Tabela 2: Comparativo entre tecnologias de protocolo de rede

	<b>PROFIBUS</b>	<b>DEVICENET</b>	<b>PROFINET</b>
Velocidade	9,5kbits/s até 12Mbits/s	125kbits/s até 500kbits/s	100Mbits/s
Comprimento máximo por segmento/velocidade	100m a 12Mbits/s	39m a 500kbits/s	100m a 100Mbits/s
Número máximo de nós na rede	127	64	>16777216
Número máximo de nós em um segmento	32	64	50
Segurança intrínseca	possível	não possível	Possível
Redundância	possível	não possível	Possível

Observa-se que cada protocolo tem pelo menos uma característica que sobressai à outra. Teoricamente, o PROFINET teria características muito superiores, mas trata-se de um protocolo relativamente caro, sendo então utilizado apenas quando é a única alternativa. Por outro lado, existe no mercado uma infinidade de produtos que fazem a conversão de uma rede PROFIBUS para PROFINET, sendo possível a utilização dos dois protocolos em conjunto.

### 3.6 Cálculos para dimensionamento de uma rede PROFIBUS

Como em qualquer outro projeto, é necessário calcular algumas variáveis para o dimensionamento de uma rede PROFIBUS, tais como: queda de tensão, comprimento máximo do cabo, corrente máxima permitida no cabo, quantidade máxima de componentes num único barramento, distância máxima das derivações do barramento, conhecidas também como *spurs*, entre outros.

CASSIOLATO (2010) esclarece que:

No caso da modulação, supõe-se que uma corrente básica de pelo menos 10mA consumida por cada dispositivo no barramento. Através da energização do barramento, esta corrente alimenta os dispositivos de campo. Os sinais de comunicação são então gerados pelo dispositivo que os envia, por modulação de +/- 9 mA, sobre a corrente básica.

Deve-se considerar também qual o tipo de cabo a ser usado. Caso os pares sejam trançados ou não, e a quantidade de pares em um único cabo, o mesmo recebe uma classificação, de “A” a “D”. CASSIOLATO, 2010, nos explica melhor na tabela abaixo:

Tabela 3: características dos cabos tipo A, B, C e D

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
<b>Descrição do Cabo</b>	Par trançado com <i>Shield</i>	Um ou mais pares trançados total com <i>Shield</i>	Diversos pares trançados sem <i>Shield</i>	Diversos pares não-trançados, sem <i>Shield</i>
<b>Área de Seção do Condutor Nominal</b>	0,8mm <sup>2</sup> (AWG 18)	0,32mm <sup>2</sup> (AWG 22)	0,13mm <sup>2</sup> (AWG 26)	0,25mm <sup>2</sup> (AWG 16)
<b>Máx. Resistência DC (loop)</b>	44 Ω/km	112 Ω/km	264 Ω/km	40 Ω/km
<b>Impedância Característica a 31.25KHz</b>	100Ω± 20%	100 Ω ± 30%	*	**
<b>Máxima Atenuação a 39 kHz</b>	3 dB/km	5 dB/km	8 dB/km	8 dB/km
<b>Máxima Capacitância Desbalanceada</b>	2 nF/km	2 nF/km	*	**
<b>Superfície Coberta pelo Shield</b>	90%	**	-	-
<b>Extensão máx. de Rede (incluindo spurs)</b>	1900 m	1200 m	400 m	200 m

Fonte: artigo técnico “Tecnologia PROFIBUS”, [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

### 3.6.1- Couplers, Repetidores e Terminadores

Deve-se também considerar a quantidade de alguns componentes, como os *couplers*, ou acopladores, que são dispositivos utilizados para traduzir as características físicas entre o PROFIBUS DP e o PROFIBUS PA. Estes dispositivos não tem endereçamento de rede, ou seja, são invisíveis para os mestres, e acabam determinando a corrente de operação de cada *spur*.

Os repetidores, por sua vez, são dispositivos utilizados para ampliar a capacidade de uma rede quando a distância é muito grande. Geralmente, os repetidores necessitam de alimentação externa.

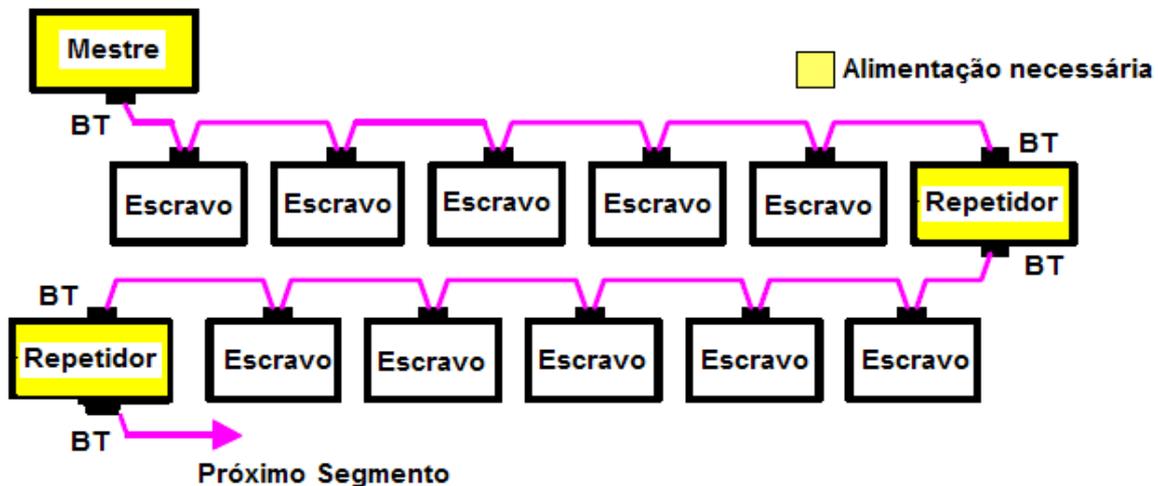


Figura 9: exemplo de segmentos com repetidores.

Fonte: artigo técnico "PROFIBUS: aterramento, blindagem, ruídos, interferência, reflexão e muito mais". [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

Por fim, todo e qualquer fim de rede deve ter instalado um terminador. Terminadores são impedâncias colocadas propositalmente para casar a impedância das redes. Sem o uso dos terminadores, pode haver uma distorção dos sinais, presença de ruídos, perda de dados e resultados indesejados. Fisicamente, os terminadores consistem em um resistor e um capacitor ligados em série. No caso do PROFIBUS DP, os terminadores devem ser também alimentados.

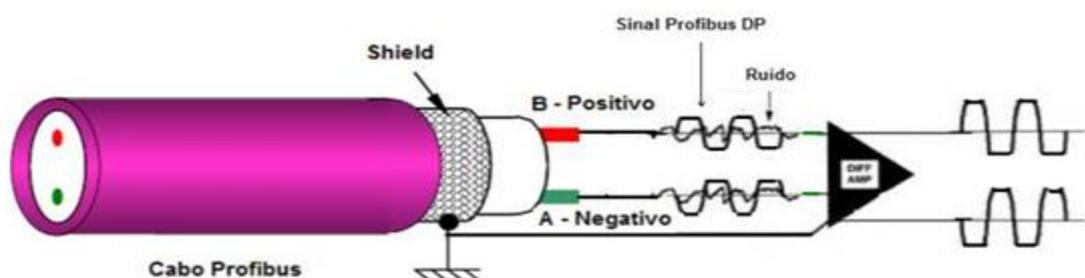


Figura 10: exemplo de cabo tipo Shield com terminador em sua extremidade.

Fonte: artigo técnico "PROFIBUS: aterramento, blindagem, ruídos, interferência, reflexão e muito mais". [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)



Onde:

$V_c$  = Tensão de saída do coupler DP/PA

$R$  = Resistência de Loop (Cabo tipo A  $R = 44 \Omega/km$ )

$L$  = Comprimento total do barramento PROFIBUS-PA

$V_{BN}$  = Tensão na borneira do equipamento PROFIBUS-PA mais distante do coupler DP/PA.

A tabela a seguir mostra alguns dados pertinentes a uma instalação PROFIBUS PA:

Tabela 4: dados para instalação de uma rede PROFIBUS PA de acordo com a IEC-61158-2

<b>Transmissão de Dados</b>	Digital, sincronizado a bit, código Manchester
<b>Taxa de Transmissão</b>	31,25 kbits/s
<b>Cabos</b>	Par trançado blindado
<b>Alimentação</b>	Via barramento ou externa (9-32 Vdc)
<b>Classe Proteção à Explosão</b>	Segurança Intrínseca (Eex ia/ib) e invólucro (Eex d/m/p/q)
<b>Topologia</b>	Barramento ou estrela/árvore, ou combinadas.
<b>Número de Estações</b>	Até 32 estações por segmento, máximo de 126 segmentos.
<b>Distância Máxima sem repetidor</b>	1900 m (Cabo tipo A)
<b>Repetidores</b>	Até 4 repetidores

Fonte: artigo técnico "Dimensionamento de uma rede PROFIBUS". [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)

## 4 DESENVOLVIMENTO DA PARTE PRÁTICA

Inicialmente, para uma exemplificação simples e direta sobre a aplicação da tecnologia PROFIBUS foi preciso encontrar um produto compacto e que agregasse todas as características fundamentais para isso. Dessa maneira, após uma pesquisa, foi definido o uso de um bloco de válvulas pneumáticas, contendo uma série de válvulas que permitem o acoplamento de um bloco eletrônico adicional, com interface PROFIBUS, para comandar as válvulas. Esse bloco, por sua vez, seria então interligado a um controlador lógico programável, e ambos trabalhariam para movimentação de um manipulador pneumático simples, composto por atuadores lineares integrados. O sistema ainda contaria com controle ajustável de pressão e pressostatos para comunicação com o CLP, para o caso de uma anomalia, como queda de pressão.

A lista de materiais foi estabelecida conforme abaixo:

- 1 Controlador Lógico Programável (CLP) modelo IndraLogic, fabricante Rexroth;
- 1 Bloco de 4 válvulas pneumáticas, 5 vias, 2 posições, acionamento por duplo solenóide 24V, com Bloco PROFIBUS DP acoplado, modelo CD01, fabricante Rexroth;
- 1 preparação de ar pneumática, composta por um filtro regulador, um lubrificador de ar comprimido e um pressostato eletrônico, modelo AS-2, fabricante Rexroth;
- 1 Fonte chaveada 24V, fabricante Murr Elektronik.
- Atuadores lineares pneumáticos diversos, fabricante Rexroth;
- Mangueiras pneumáticas de diâmetro de 8 mm;
- Cabos;
- 8 válvulas reguladoras de fluxo de ar comprimido;
- 1 botoeira verde;
- Estruturas em alumínio diversas;
- Parafusos, porcas e acessórios diversos em geral;

De acordo com o catálogo de Produtos Preferenciais de Pneumática (2011), o módulo PROFIBUS acoplado consome cerca de 120mA da fonte, e pode fornecer 63mA para cada bobina de válvula acionada, sendo 24 o número máximo de bobinas. Como serão usadas apenas quatro válvulas de duplo solenóide, o número de bobinas acionadas ao mesmo tempo será no máximo 8, ainda que uma mesma válvula nunca aciona as duas solenóides simultaneamente.

As válvulas utilizadas consomem uma potência de 1,2W em cada bobina, que ligadas em 24V, consumirão uma corrente de 50mA, valor que fica dentro da corrente fornecida pelo módulo PROFIBUS.

O pressostato eletrônico, modelo PE5, tem consumo próprio de corrente de 50mA e uma corrente de comutação de 20mA.

O CLP tem a capacidade de fornecer a corrente necessária para o acionamento do módulo PROFIBUS, sendo que o mesmo consome uma corrente própria de 150mA.

Para manter todo o sistema, a fonte de tensão tem de suportar a corrente consumida pelos componentes, que nesse caso, somados juntos chegam ao valor de 740mA. Esse valor se encontra dentro da faixa de corrente máxima fornecida pela fonte, que é de até 10A.

## 4.1 Montagem

Para iniciar a montagem do projeto, foi necessária a criação de uma estrutura de alumínio que comportasse todos os componentes, de forma organizada, e que facilitasse a exposição das partes principais. Dessa forma, optou-se por uma estrutura que manteria a preparação de ar e o CLP na posição vertical, e o bloco de válvulas e os atuadores na posição horizontal.

A fonte 24V foi montada na parte traseira, de modo que não fique acessível a todos.

A fonte então alimenta através de cabos PP (par de cabos que são unidos por uma capa protetora) o CLP, o módulo PROFIBUS e o pressostato. Do CLP, é feita a comunicação com o módulo PROFIBUS através de um cabo *shield*, utilizando um conector RS485 para saída do CLP e um conector M12 padrão IEC-61158-2 para ligação no módulo.

Para essa ligação não foi necessária a utilização de terminadores de rede externos, visto que ambos os componentes, módulo e CLP, possuem terminadores internos.

A preparação de ar permite uma pressão de entrada de até 10bar, regulando a pressão de saída entre 0,5 e 8bar e contém um pressostato digital, para visualização e monitoramento da pressão de trabalho do módulo, e um lubrificador, para prolongar a vida útil dos componentes pneumáticos.

Todas as mangueiras e cabos foram dispostos na parte debaixo do módulo, a fim de manter a visualização dos componentes e uma clareza estética dos mesmos, como mostra a figura 12:

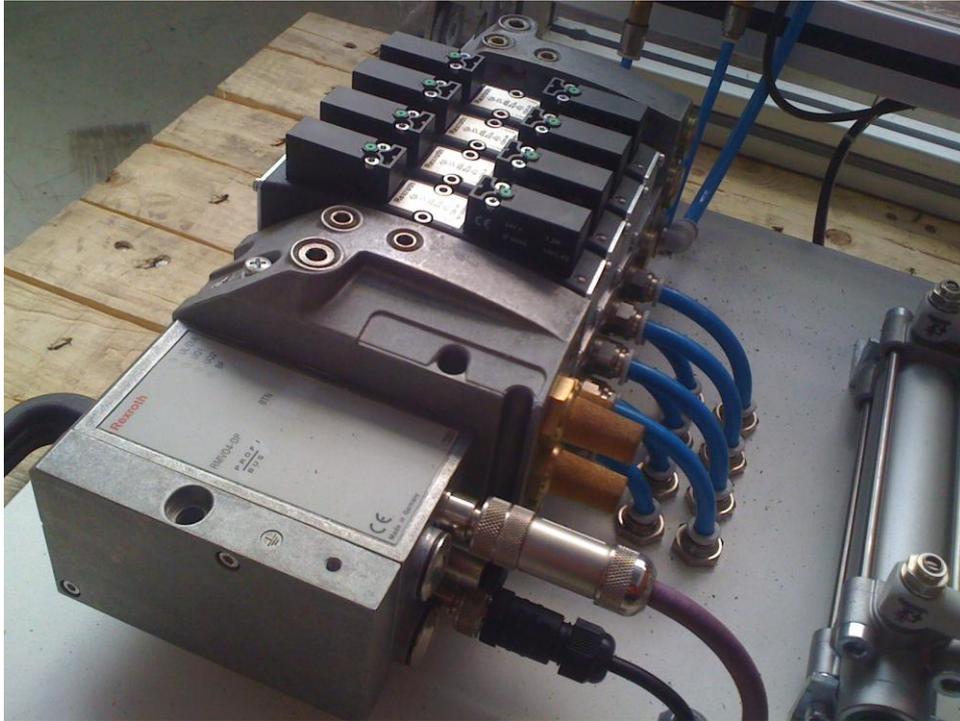


Figura 12: Detalhe da ocultação das mangueiras e cabos

Os atuadores e o bloco foram fixados sobre uma mesa de madeira revestida. Alças plásticas foram adicionadas nas laterais do módulo para uma maior mobilidade.

Em todos os pórticos de saída de ar dos atuadores pneumáticos foram montadas válvulas reguladoras de fluxo, para controlar a velocidade de avanço e retorno dos mesmos.

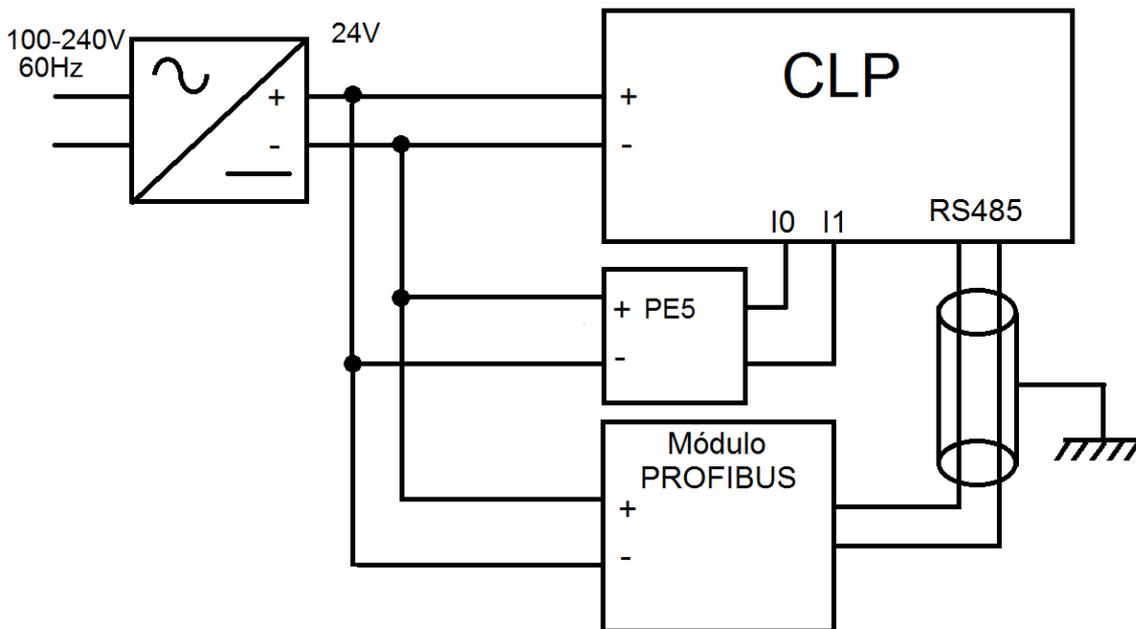


Figura 13: Esquema elétrico do módulo (simplificado)

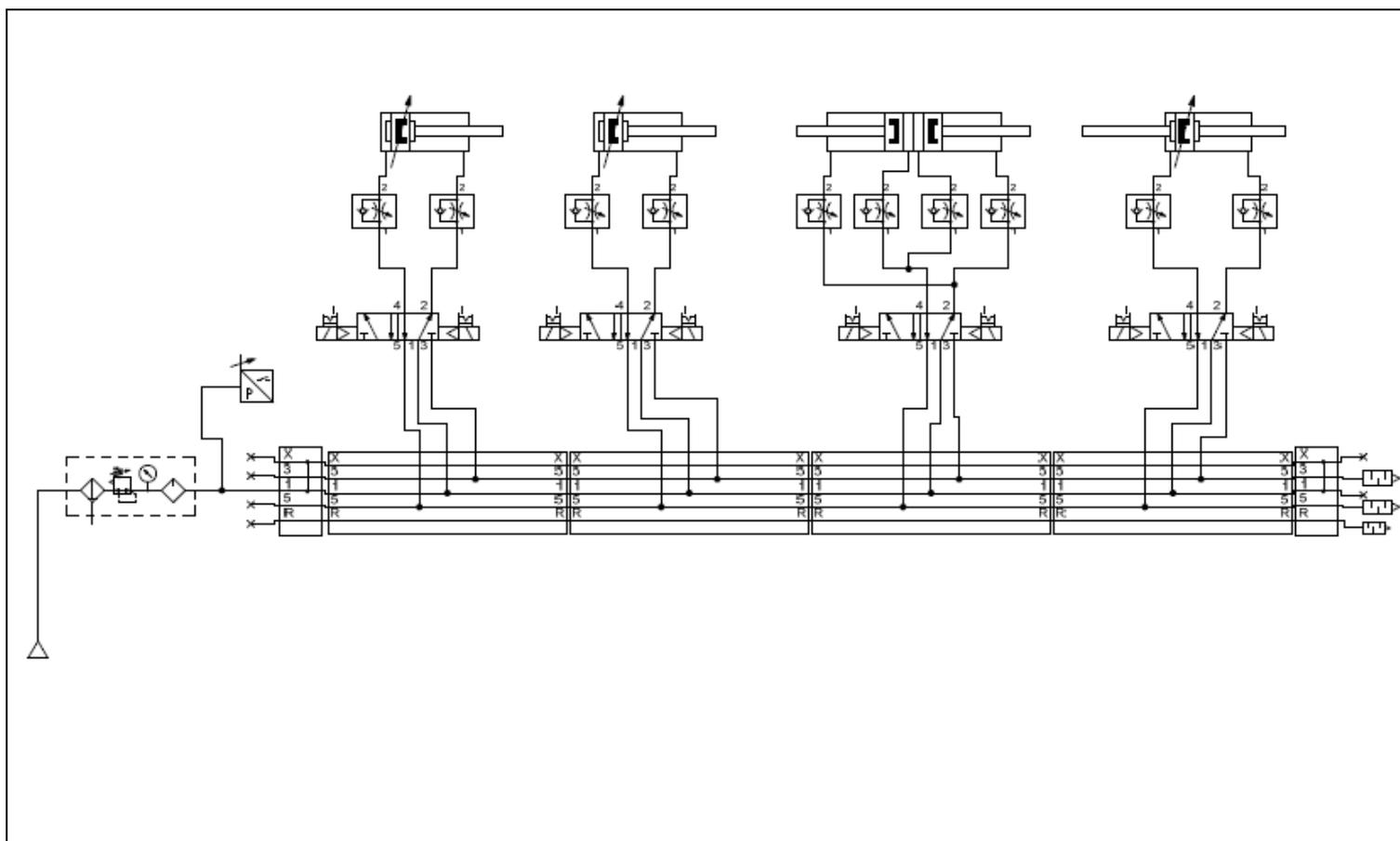


Figura 14: Esquema pneumático da montagem do módulo.

Todos os detalhes foram pensados para que o projeto se encaixasse num modelo didático, para que futuramente pudesse ser utilizado em apresentações, treinamentos e em exposições de feiras e eventos de divulgação.

A montagem mostrou relativamente simples, e o aspecto visual do módulo finalizado encontra-se nas figuras a seguir:

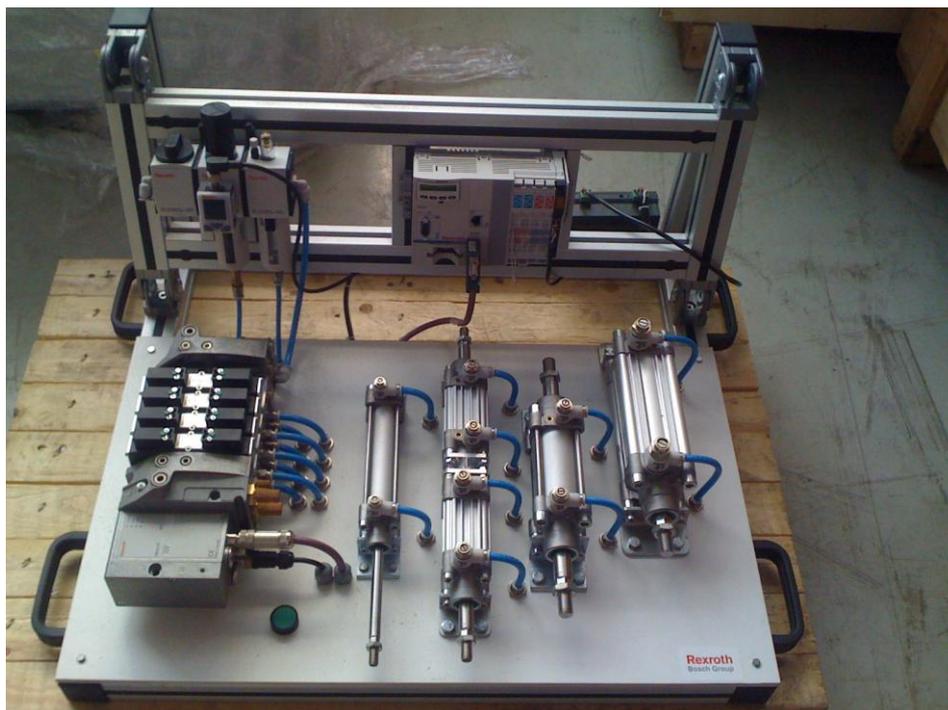


Figura 15: vista superior do módulo finalizado

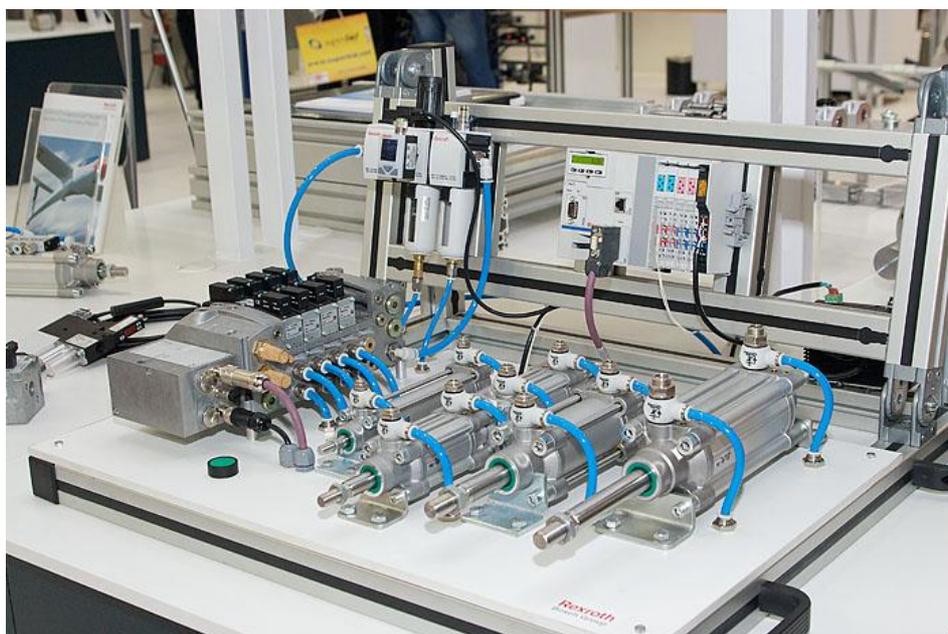


Figura 16: vista geral do módulo pronto

## 4.2 Programação do CLP

A programação do CLP foi feita através de software distribuído pelo fabricante, o INDRACONTROL. Optou-se por utilizar a linguagem de *function blocks* (blocos funcionais).

A ideia principal foi acionar as válvulas para avanço e retorno dos atuadores pneumáticos de forma sequencial e sincronizada.

A sequência de operação ocorre de acordo com o fluxograma a seguir:

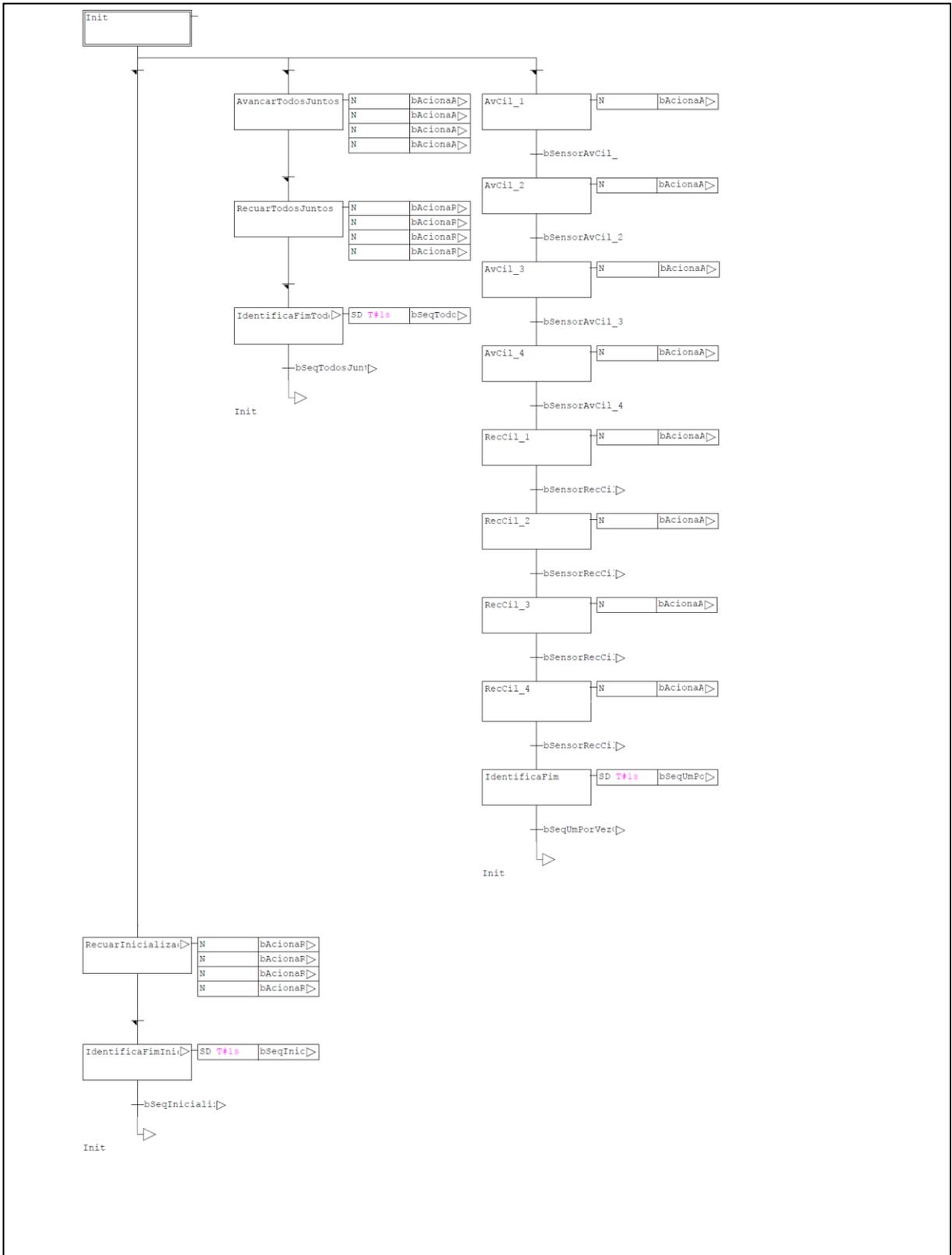


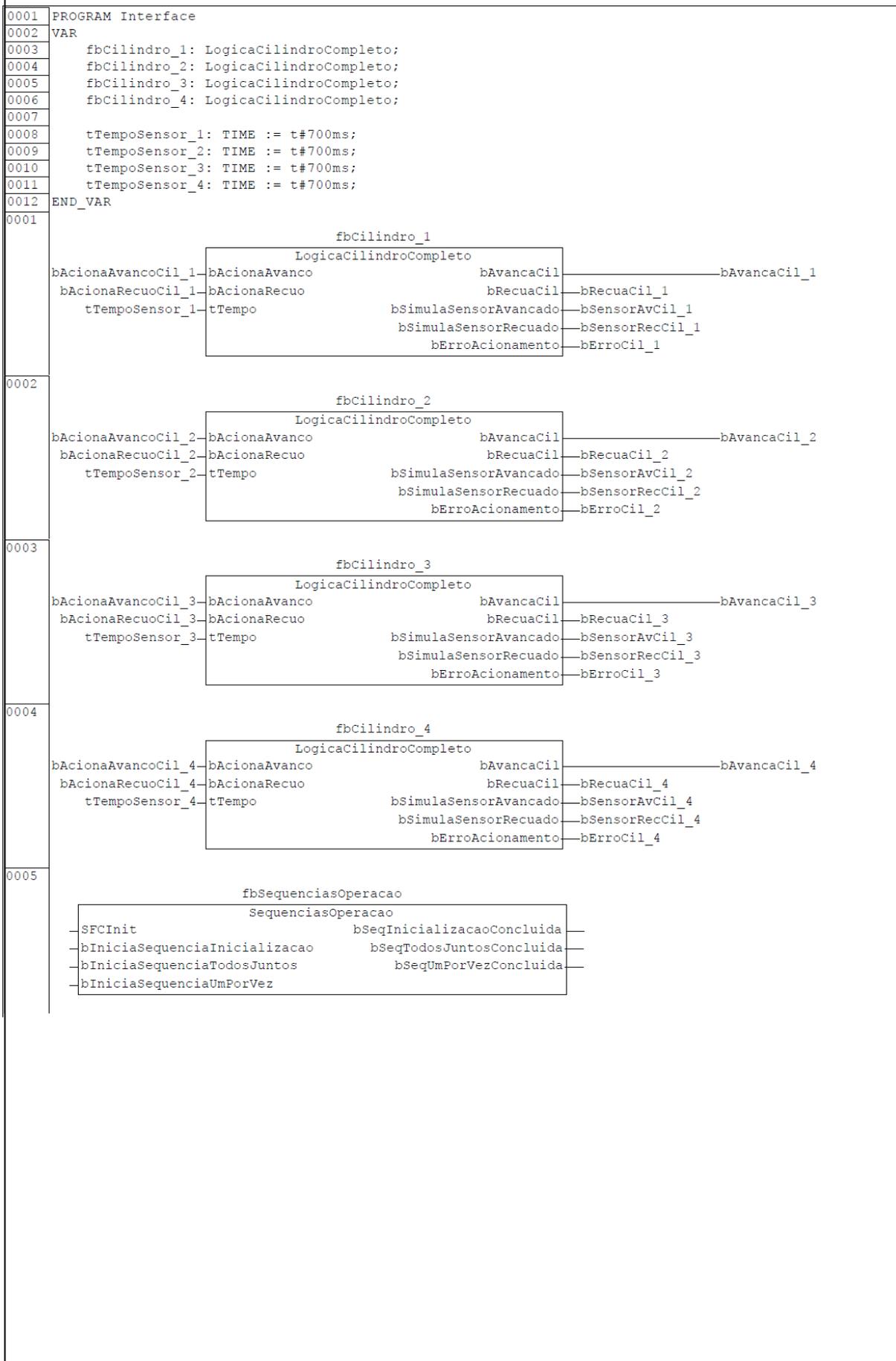
Figura 17: fluxograma da sequência de operação do módulo

Segue abaixo a programação desenvolvida para a execução dos movimentos:

```

0001 PROGRAM ProgControle
0002 VAR
0003     tySeqFuncionemento: SeqFuncionemento := Inicializacao;
0004     fbReset_F_TRIG: F_TRIG;
0005 END_VAR
0001 fbReset_F_TRIG(CLK:= bBotaoReset, Q=> );
0002
0003 IF NOT fbSequenciasOperacao.SFCInit AND fbReset_F_TRIG.Q THEN
0004     fbSequenciasOperacao.SFCInit:= TRUE;
0005 ELSIF fbSequenciasOperacao.SFCInit AND fbReset_F_TRIG.Q THEN
0006     fbSequenciasOperacao.SFCInit:= FALSE;
0007     tySeqFuncionemento:= Inicializacao;
0008 END_IF
0009
0010 CASE tySeqFuncionemento OF
0011     Inicializacao:
0012         fbSequenciasOperacao(
0013             bIniciaSequenciaInicializacao:= TRUE,
0014             bIniciaSequenciaTodosJuntos:= FALSE,
0015             bIniciaSequenciaUmPorVez:= FALSE,
0016             bSeqInicializacaoConcluida=> ,
0017             bSeqTodosJuntosConcluida=> ,
0018             bSeqUmPorVezConcluida=> );
0019         IF fbSequenciasOperacao.bSeqInicializacaoConcluida THEN
0020             tySeqFuncionemento:= UmPorVez;
0021         END_IF
0022     UmPorVez:
0023         fbSequenciasOperacao(
0024             bIniciaSequenciaInicializacao:= FALSE,
0025             bIniciaSequenciaTodosJuntos:= FALSE,
0026             bIniciaSequenciaUmPorVez:= TRUE,
0027             bSeqInicializacaoConcluida=> ,
0028             bSeqTodosJuntosConcluida=> ,
0029             bSeqUmPorVezConcluida=> );
0030         IF fbSequenciasOperacao.bSeqUmPorVezConcluida THEN
0031             tySeqFuncionemento:= TodosJuntos;
0032         END_IF
0033     TodosJuntos:
0034         fbSequenciasOperacao(
0035             bIniciaSequenciaInicializacao:= FALSE,
0036             bIniciaSequenciaTodosJuntos:= TRUE,
0037             bIniciaSequenciaUmPorVez:= FALSE,
0038             bSeqInicializacaoConcluida=> ,
0039             bSeqTodosJuntosConcluida=> ,
0040             bSeqUmPorVezConcluida=> );
0041         IF fbSequenciasOperacao.bSeqTodosJuntosConcluida THEN
0042             tySeqFuncionemento:= UmPorVez;
0043         END_IF
0044 END_CASE

```



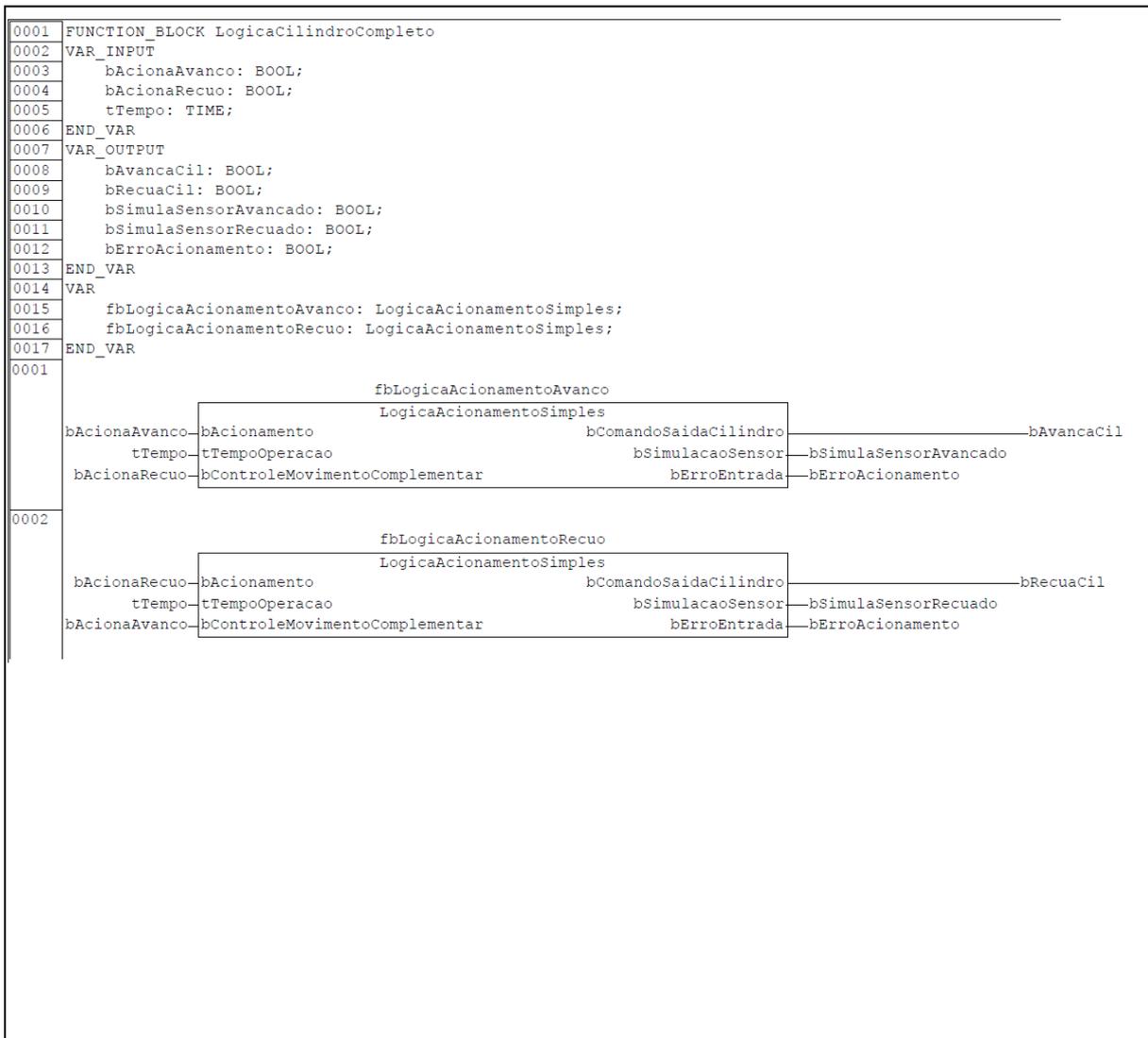


Figura 18: programação do CLP.

### 4.3 Funcionamento

Para o funcionamento do módulo é necessária uma alimentação de pressão e de uma tomada 127V ou 220V. Uma vez energizado o circuito, a fonte 24V alimenta o CLP, que já está carregado com o programa desejado. Se o pressostato detectar presença de pressão dentro da faixa de trabalho determinada em sua configuração, o módulo está autorizado a iniciar suas operações. Inicia-se o ciclo, e então o CLP, de acordo com o programa nele inserido passa a comandar o bloco de válvulas, acionando de forma ordenada suas válvulas e assim avançando e retornando os atuadores pneumáticos.

Os atuadores, por sua vez, representam a automação de qualquer processo de manufatura, já que podem ser inseridos em diversas situações para movimentação de partes móveis, abertura e fechamento de comportas, máquinas, posicionamento de peças, etc. Em caso de alguma anomalia de processo, nesse caso simulada por queda de pressão,

monitorada pelo pressostato, ou pela botoeira verde, todo o sistema é paralisado, sendo necessário apertar novamente a botoeira, funcionando como um *reset*.

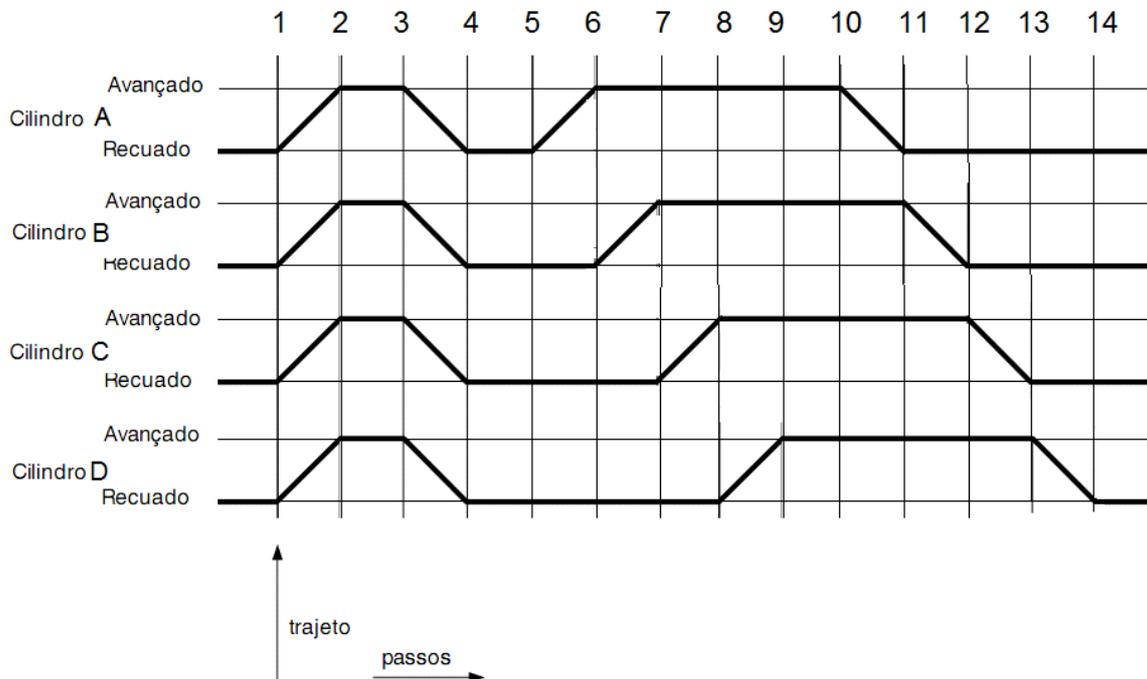


Figura 19: Diagrama Trajeto-passo do funcionamento do módulo.

#### 4.4 Comparativo

Se montado no modo convencional, utilizando um par de fios para cada bobina de solenóide, seriam necessários 8 pares de fios, ou seja, 8 cabos do tipo PP ou 16 fios convencionais, totalizando cerca de 9m de cabo, para acionamento das válvulas, além de seus respectivos conectores. Não haveria como manter esses cabos organizados na parte inferior do módulo, de modo que ficariam expostos na parte superior. Toda essa quantidade de cabos utilizaria de muitas saídas analógicas do CLP, que em alguns modelos de CLP são bem limitados e poderiam até mesmo forçar a substituição por um modelo com mais saídas. Estima-se que o consumo de corrente elétrica também seria maior, embora não houve medição efetiva para realizar a comparação quantitativa.

## 5 RESULTADOS

O funcionamento do módulo deu-se conforme o esperado. Os valores de corrente e tensão elétrica ficaram dentro do calculado, revelando medições em torno de 400mA e 23,4V na saída da fonte, respeitando os limites dos valores anteriormente calculados. O trabalho dos atuadores pneumáticos ocorreu sem variações, de acordo com a programação existente no CLP.

O tempo total para a execução do ciclo completo de trabalho foi de aproximadamente 35 segundos.

Os custos para a execução total do projeto girou em torno de US\$2500,00. No entanto, deve-se levar em consideração a variação entre os valores de diferentes fabricantes, e que esses valores podem não refletir os custos de uma instalação real.

Para a execução total da parte prática despendeu-se um tempo de aproximadamente 40 dias, incluindo a definição do projeto, desenvolvimento de *layout*, cálculo de grandezas, escolha dos componentes, execução da parte física e execução da programação. O tempo diário de trabalho no projeto foi de aproximadamente 4 horas, 5 dias em cada semana. Deve-se observar, no entanto, que o tempo para execução do projeto pode não refletir um tempo de uma aplicação real, visto que a complexidade do projeto e as tarefas podem variar, sendo inclusive divididas entre diferentes partes envolvidas.

## 6 CONCLUSÃO

Após a execução da montagem do sistema, conclui-se que este pequeno módulo demonstra de forma clara e objetiva uma das muitas formas possíveis de emprego da tecnologia PROFIBUS. Obviamente, o módulo mostra de modo extremamente simplificado o princípio de funcionamento, mas é uma ótima opção para uma apresentação didática ou até mesmo para mostruário da tecnologia para futuros negócios ou demonstrações.

O PROFIBUS proporciona à pneumática uma versatilidade ainda maior, por torná-la mais flexível, e é de grande valia poder visualizar esse modo de utilização.

Por tratar-se de um módulo simplesmente expositivo, não houve preocupação e levantar custos reais de instalação em confronto com métodos convencionais, já que para uma instalação real, outros fatores devem ser levados em consideração, como a vazão das válvulas, distância entre o controle e o equipamento, acréscimo de proteções em caso de ambientes agressivos aos componentes e a taxa de transferência de dados necessária.

Contudo, a conclusão da montagem proporcionou uma visão positiva do emprego dessa tecnologia no âmbito da automação industrial, tanto pela clareza e objetividade estética quanto pela didática implícita.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI Express. Site de artigos eletrônicos. Disponível em [www.aliexpress.com.br](http://www.aliexpress.com.br). Acesso em 31.jul.2012

BARBIERI, R.L. “Redes de Comunicação para Automação Industrial: PROFIBUS/Estudo de Caso- COCAMAR Indústria Alimentícia”. Universidade São Francisco, 2005.

CASSIOLATO, C. “Tecnologia PROFIBUS”. [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br), acesso em 05/05/2012.

CASSIOLATO, C. “Dimensionamento de uma rede PROFIBUS”. [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br), acesso em 06/05/2012.

CASSIOLATO, C. “PROFIBUS: Aterramento, Blindagem, Ruídos, Interferências, Reflexões e muito mais...”. [www.smar.com.br](http://www.smar.com.br), acesso em 20/06/2012.

FSC Global. *Electric Cable Suppliers Worldwide*. Disponível em [www.fscglobal.com](http://www.fscglobal.com). Acesso em 15/07/2012.

LUGLI, A. B., SANTOS, M. M. D. “Sistemas Fieldbus para Automação Industrial”. 1ªed. São Paulo, Érica, 2009.

MITCHELL, R. W. “PROFIBUS, a Pocket Guide” 1ª ed. Southport, Reino Unido. ISA, 2004.

MORAES, C.C., CASTRUCCI, P. L. “Engenharia de Automação Industrial”. 2ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2007.

REXROTH.B.G. “Catálogo de Produtos Preferenciais Pneumáticos”. Rio de Janeiro, 2011.

SELFTECH. Telecomunicação e Informática. Disponível em [www.fibraoptica.ind.br](http://www.fibraoptica.ind.br). Acesso em 29/08/2012.