

PAULO ROGERIO DE CASTILHO AGOSTINI

SERGIO HENRIQUE SPAHN GARCIA

**DISPOSITIVO PARA ACIONAMENTO REMOTO  
DE PERSIANAS**

Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico.

São Paulo

1999

PAULO ROGERIO DE CASTILHO AGOSTINI

SERGIO HENRIQUE SPAHN GARCIA

**DISPOSITIVO PARA ACIONAMENTO REMOTO  
DE PERSIANAS**

Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico.

Área de Concentração:  
Projeto e Fabricação

Orientadores:  
Prof. Dr. Gilberto F. M. Souza  
Prof. Dr. Gilmar F. Batalha

São Paulo

1999

*new 162*

Aos nossos pais, amigos e orientadores, que tanto nos auxiliaram na realização desse projeto de formatura.

## I. - ABSTRACT

This piece of work aimed to concept, analyze the viability, project and construct a new equipment to the automatization of a vertical blinds system. During the viability analysis possible alternatives are compared in a decision matrix, which established the following innovative decisions in comparison to the currently available systems: use of DC motors, radio frequency remote control and the possibility of use in most of the current vertical blinds. Details on the system construction have also been included. Outstanding in this project is our providing to the market of currently non-existent and competitive product.

## II. - RESUMO

Este trabalho objetivou a concepção, análise de viabilidade, projeto e construção de um novo equipamento para a automatização de um sistema de persianas verticais. Durante as etapas de concepção e análise de viabilidade, as alternativas possíveis são comparadas com base em uma matriz de decisão, que estabeleceu as seguintes decisões inovativas em relação aos sistemas atualmente disponíveis: movimento das persianas feito com motores de corrente contínua, controle por rádio frequência e maior versatilidade quanto aos tipos de persiana disponíveis comercialmente. Detalhes sobre a construção do sistema estão também incluídos. Destaca-se neste trabalho a oferta de um produto atualmente inexistente e que pode ser inserido competitivamente no mercado.

### III. -SUMÁRIO

<b>I. - ABSTRACT .....</b>	<b>I</b>
<b>II. - RESUMO.....</b>	<b>II</b>
<b>1. - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. - ESTUDO DA NECESSIDADE .....</b>	<b>1</b>
2.1 – CARACTERÍSTICAS DO PROJETO.....	3
2.2 - DISPOSITIVOS DE COMANDO.....	4
2.3 - DISPOSITIVOS DE REALIZAÇÃO DO CONTROLE .....	4
2.4 - DISPOSITIVOS DE ATUAÇÃO.....	5
2.5 - DISPOSITIVOS DE DETECÇÃO .....	5
2.6 - DISPOSITIVOS DE MONITORAÇÃO .....	5
<b>3. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À ATUAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
3.1 - ATUAÇÃO POR DISPOSITIVO HIDRÁULICO .....	6
3.2 - ATUAÇÃO POR DISPOSITIVO PNEUMÁTICO .....	8
3.3 - ATUAÇÃO POR DISPOSITIVO ELÉTRICO.....	10
3.3.1 - Motor de Passo .....	10
3.3.2 - Motor AC.....	11
3.3.3 - Motor DC.....	12
4. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO AO CONTROLE.....	13
4.1 - CONTROLE POR RELÊS.....	13
4.2 - CONTROLE POR CIRCUITOS COMBINATÓRIOS .....	14
4.3 - CONTROLE ATRAVÉS DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP's).....	14
<b>5. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO AO COMANDO .....</b>	<b>14</b>
5.1 - COMANDO POR BOTOEIRA .....	14
5.2 - COMANDO POR CONTROLE REMOTO ATRAVÉS DE SINAL INFRAVERMELHO .....	15
5.3 - COMANDO POR CONTROLE REMOTO ATRAVÉS DE RADIO-FREQÜÊNCIA.....	15
<b>6. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À DETECÇÃO .....</b>	<b>15</b>
6.1 - DETECÇÃO POR CHAVES-LIMITE .....	15
<b>7. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À MONITORAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
7.1 - MONITORAÇÃO POR LÂMPADAS SINALIZADORAS.....	16
<b>8. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À ALIMENTAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
8.1 - ALIMENTAÇÃO POR CORRENTE ALTERNADA.....	16

8.2 - ALIMENTAÇÃO POR CORRENTE CONTÍNUA ATRAVÉS DE TRANSFORMADOR AC/DC.....	17
8.3 - ALIMENTAÇÃO POR CORRENTE CONTÍNUA ATRAVÉS DE BATERIA CARREGADA POR CÉLULAS FOTOÉLETRICAS.....	17
<b>9. - PESQUISA DE OPINIÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>10. - ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>11. – CONCLUSÕES DO ESTUDO DE VIABILIDADE .....</b>	<b>25</b>
<b>12. – INTRODUÇÃO AO PROJETO BÁSICO .....</b>	<b>25</b>
<b>13. – DIMENSIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO PARA TAMANHOS DIFERENTES DE GUIA .....</b>	<b>26</b>
<b>14 - PARTE ELÉTRICA .....</b>	<b>27</b>
14.1 DIAGRAMA ELÉTRICO.....	27
14.2 DISPOSITIVO DE COMANDO POR CONTROLE REMOTO.....	28
14.3 – ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA:.....	30
14.4 - MOTOR ELÉTRICO:.....	30
14.5 - CHAVES FIM-DE-CURSO:.....	31
<b>15 – PARTE MECÂNICA.....</b>	<b>31</b>
15.1 MECANISMOS DE ABERTURA E FECHAMENTO E DE ROTAÇÃO DAS PERSIANAS.....	31
15.2 FIXAÇÃO DOS MOTORES E DAS CHAVES FIM-DE-CURSO .....	33
<b>16 – CUSTOS, PRECIFICAÇÃO E ACEITAÇÃO DO MERCADO .....</b>	<b>34</b>
<b>17 - MANUAL DE INSTRUÇÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>18 – CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>19. - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>
<b>20. - ANEXOS.....</b>	<b>39</b>
20.1 - ANEXO 1.....	39
20.2 - ANEXO 2.....	42
20.3 - ANEXO 3 - FOTOS.....	45
20.4 - ANEXO 4 - DESENHO DE CONJUNTO.....	46

## **1. - INTRODUÇÃO**

Este trabalho tem como objetivo principal a escolha da melhor alternativa de implementação de automatização para persianas verticais. Dividido quanto a opções de atuação, controle, comando, detecção, monitoração e alimentação, algumas possíveis soluções para tal implementação serão estudadas, e, ao final do trabalho, será escolhida aquela que melhor satisfizer as condições e parâmetros estabelecidos.

No decorrer da pesquisa quanto à viabilidade de tal automatização, algumas alternativas serão descartadas e outras serão analisadas mais aprofundadamente para que, no final, seja montada uma matriz de decisão onde será apresentada a alternativa mais propícia ao desenvolvimento posterior do projeto.

## **2. - ESTUDO DA NECESSIDADE**

Tem-se notado freqüentemente a necessidade de se automatizar e otimizar pequenos equipamentos presentes no cotidiano de todos, desde utensílios domésticos, como máquinas de lavar ou processadores de alimentos, até sofisticados equipamentos, como telas de exibição de filmes ou sistemas de ventilação.

Partindo desse princípio, constatamos que vários são os equipamentos que necessitam de automatização, entre eles, e destacando-se dos demais, está a persiana vertical.

Presente em muitas salas comerciais, anfiteatros e salas de conferência, esta persiana veio substituir a cortina, por questões estéticas e pela facilidade de se limpar e de se controlar a luminosidade de uma forma uniforme ao longo do vão ocupado pela persiana.

A persiana consiste em uma guia e várias tiras verticais que se movimentam horizontalmente através da própria guia e rotacionam ao redor de seu próprio eixo. Para isso, são necessários dois dispositivos de acionamento: o de translação e o de rotação

das tiras.

Sua praticidade, entretanto, está limitada ao seu funcionamento estritamente manual e passível de falhas quando seu acionamento é impróprio. São inúmeros os casos de emperramento quando é acionado o movimento de translação enquanto as tiras estão posicionadas não perpendicularmente à guia. Esta falha causa danos ao mecanismo de abertura e fechamento, sendo necessários reparos dispendiosos, normalmente da mesma ordem de grandeza do custo de uma nova persiana.

É necessário salientar também que, uma vez que o acionamento dessas persianas é manual, não há como fazê-lo a longa distância, o que implica perda de tempo e eventual interrupção de palestras ou apresentações.

Para simplificação do estudo, mas sem perda de generalidade, realizaremos todos os estudos tomando por base uma persiana de 5,0 metros de comprimento e 3,0 de altura, dimensão disponível no mercado e facilmente encontrada em auditórios, salas de reunião ou locais de realização de palestras.

Propõe-se, neste trabalho, a elaborar um equipamento automatizado de acionamento remoto de persiana conforme acima comentado, não permitindo a ocorrência das referidas falhas, através de uma análise de viabilidade. As soluções mais adequadas surgirão então desse estudo para que, num próximo passo, uma dessas soluções seja escolhida, devidamente projetada e construída.

Para tanto, faz-se necessária a estruturação do problema na forma de um sistema que possa ser subdividido a fim de que cada parte seja estudada separadamente. Utilizando as teorias de controle para efetuar tal estruturação, chegamos no modelo básico descrito a seguir:

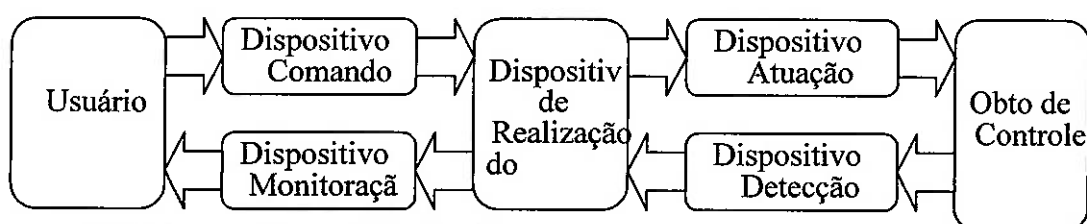


Figura 2.1: Diagrama de um Sistema de Controle Básico

Teremos assim a divisão do dispositivo a ser projetado nas seguintes categorias:

- Atuação;
- Controle;
- Comando;
- Detecção;
- Monitoração;
- Alimentação.

O item Alimentação, apesar de não estar presente no diagrama da Figura 1 por não representar parte direta da análise do ponto de vista do controle do sistema, também deve ser considerado para o estudo de viabilidade na medida em que o mesmo torna possível maior número de possíveis soluções ao problema proposto.

## **2.1 – Características do Projeto**

A persiana considerada base do projeto, como já foi dito anteriormente, tem 5,0 metros de comprimento por 3,0 metros de largura. Partindo dessa informação, buscamos três fabricantes de persianas com as dimensões propostas para a realização de ensaios para a determinação do torque necessário para a translação e rotação das persianas.

Os ensaios foram realizados com o auxílio de pequenos pesos pendurados em argolas fixadas aos cabos de acionamento dos referidos movimentos. Os pesos tinham massa de 100, 200, 500 e 1000 gramas. Abaixo encontram-se os dados extraídos dos ensaios:

**Tabela 2.1: Forças e torques necessários à rotação e translação segundo teste em equipamentos de fabricantes**

Fabricante	Força de Translação (gf)	Força de Rotação (gf)	Torque de Translação (TT = FT * RT) (mNm)	Torque de Rotação (TR = FR * RR) (mNm)
Luxaflex	800	700	80	70
Irmantex	1200	800	120	80
Tritex	700	700	70	70
Média	900	730	90	73

## 2.2 - Dispositivos de Comando

Os dispositivos de comando mais comumente encontrados em sistemas de controle de máquinas e equipamentos em geral são as botoeiras, chaves rotativas, chaves seccionadoras, alavancas de comando, válvulas em geral para comando de sistemas fluidos ou controles remotos.

Para esse projeto serão estudados somente as botoeiras e os controles remotos, uma vez que a interface com o usuário deve ter um dispositivo simples e de fácil manuseio para realizar o comando do sistema.

## 2.3 - Dispositivos de Realização do Controle

Os dispositivos de realização de controle mais utilizados em sistemas de atuação elétrica são os relês, os circuitos combinatórios e os controladores lógicos programáveis. Para sistema hidráulicos e pneumáticos, o controle é realizado mecanicamente por válvula de fluxo ou outros dispositivos cabíveis.

Para o projeto das persianas serão analisadas as viabilidades dos dispositivos de realização de controle supracitados para sistemas elétricos, uma vez que para os demais a realização de controle já está implícita nos dispositivos de atuação.

#### **2.4 - Dispositivos de Atuação**

Os dispositivos de atuação podem ser divididos quanto à movimentação: rotativos ou lineares, e quanto ao tipo: hidráulicos, pneumáticos, eólicos, elétricos, solares, etc.

Para o projeto em questão, serão estudados os dispositivos hidráulicos, pneumáticos e elétricos, que são os mais utilizados, acessíveis, de menor preço e maior facilidade de manutenção.

#### **2.5 - Dispositivos de Detecção**

A detecção é necessária quando se deve saber quando determinado evento ocorreu e, a partir daí, determinar o início de uma ação subsequente. Os dispositivos mais comumente utilizados são chaves fim-de-curso, sensores foto-elétricos, de aproximação, termostatos, pressostatos, etc.

#### **2.6 - Dispositivos de Monitoração**

Normalmente utilizam-se lâmpadas, LEDs ou avisos sonoros em sistemas simples, podendo ser utilizados também visores em cristal líquido ou monitores de computador.

### **3. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À ATUAÇÃO**

#### **3.1 - Atuação por Dispositivo Hidráulico**

Estaremos analisando nesse tópico somente o dispositivo de acionamento e atuação, uma vez que, para estabelecer parâmetros de comparação e reduzir custos de fabricação, precisamos manter inalterada a configuração mecânica do equipamento, que envolve as guias e mecanismos de abertura e fechamento das persianas e sua forma de fixação.

Sendo assim, necessitaremos de um sistema hidráulico contendo pelo menos um tanque para armazenamento de óleo hidráulico, uma bomba hidráulica capaz de gerar a menor vazão e a maior pressão possíveis para que o sistema possa adquirir dimensões pequenas, haja vista que a maior preocupação quanto ao acionamento reside na necessidade de equipamentos leves e de dimensões reduzidas, um motor capaz de fornecer a potência exigida pela bomba, dois motores hidráulicos independentes, cada qual com uma válvula direcional capaz de orientar o fluxo de óleo para que o motor hidráulico gire em ambos os sentidos.

Em resumo, o acionamento das persianas através de um sistema hidráulico exigiria a aquisição dos componentes mostrados na tabela 3.1.

A viabilidade desse tipo de acionamento fica comprometida pela pouca higiene proporcionada pelos equipamentos, demonstrada pelos vazamentos de óleo hidráulico.

Além disso, caso sejam usados equipamentos fabricados para pronta entrega, os quais são muito maiores do que as necessidades acima declaradas, as dimensões do sistema de acionamento seriam muito grandes para que o mesmo fosse colocado junto às persianas fixado à parede, tornando necessária a criação de um local isolado para o conjunto moto-bomba + tanque de óleo e a passagem de tubos até à persiana. Tais condições encarecem o produto e exigem reformas no ambiente a ser instalado.

Da mesma forma, se utilizarmos componentes fabricados em caráter especial, que tornassem possível sua fixação junto à parede, seu valor agregado seria muito grande, tornando mais uma vez inviável a sua utilização.

Tabela 3.1 - Equipamento hidráulico

Componente:	Características:	Quantidade:
Motor hidráulico do tipo rotativo de duplo sentido de giro:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rotação: 5 a 8 rpm *</li> <li>- torque: 7 N.cm (aprox.) *</li> <li>- vazão: menor possível</li> <li>- pressão: maior possível</li> </ul>	1
Motor hidráulico do tipo rotativo de duplo sentido de giro:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rotação: 35 a 60 rpm *</li> <li>- torque: 10 N.cm (aprox.) *</li> <li>- vazão: menor possível</li> <li>- pressão: maior possível</li> </ul>	1
Bomba hidráulica de deslocamento positivo do tipo fixo:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rotação: maior possível</li> <li>- vazão: menor possível</li> <li>- pressão: maior possível</li> </ul>	1
Motor:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rotação: maior possível</li> <li>- alimentação: 110 V AC</li> </ul>	1
Válvula direcional:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 vias, 3 posições</li> <li>- centralização por molas</li> <li>- acionada por solenóides</li> </ul>	2
Válvula redutora de vazão:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ajuste da vazão desejada</li> </ul>	2
Tanque:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade: 5 litros (aprox.)</li> </ul> <p>**</p>	1
Tubulação:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- material: cobre</li> <li>- diâmetro: 6 mm **</li> </ul>	9 m (aprox.) **

\* Os valores indicados encontram-se indicados no item 2.1 desse Relatório.

\*\* Os valores indicados são os calculados para o sistema de acionamento de persianas adotado no item 2.1 supra citado.

A viabilidade desse tipo de acionamento fica comprometida pela pouca higiene proporcionada pelos equipamentos, demonstrada pelos vazamentos de óleo hidráulico.

Além disso, caso sejam usados equipamentos fabricados para pronta entrega, os quais são muito maiores do que as necessidades acima declaradas, as dimensões do sistema de acionamento seriam muito grandes para que o mesmo fosse colocado junto às persianas fixado à parede, tornando necessária a criação de um local isolado para o conjunto moto-bomba + tanque de óleo e a passagem de tubos até à persiana. Tais condições encarecem o produto e exigem reformas no ambiente a ser instalado.

Da mesma forma, se utilizarmos componentes fabricados em caráter especial, que tornassem possível sua fixação junto à parede, seu valor agregado seria muito grande, tornando mais uma vez inviável a sua utilização.

### **3.2 - Atuação por Dispositivo Pneumático**

Da mesma forma que o acionamento hidráulico, o acionamento pneumático também ficará restrito ao dispositivo de acionamento e atuação das persianas.

Dessa maneira, necessitaremos de dois motores rotativos pneumáticos, um compressor capaz de fornecer pressão e vazão adequados, uma válvula que controlará o acionamento, duas para indicação de fim-de-curso e duas para não permitir o acionamento indevido do equipamento.

Um dos motores, o responsável pela rotação da persiana em torno de seu eixo, tem curso total de 180°, o que pode ser implementado por um cilindro giratório do tipo DSR - 12 - 180 - P da FESTO ou similar. Já o outro movimento, de translação, deve ser implementado por um cilindro giratório do mesmo tipo anterior, porém em conjunto com uma catraca tipo FLSR - 12 - 180 - R, que é um adaptador para ser instalado no eixo acionador do cilindro e é responsável pela conversão do movimento giratório

oscilante em movimento contínuo sincronizado.

Esses cilindros giratórios são de construção compacta e possuem torque relativamente elevado, sendo indicados, principalmente, para uso em manipuladores, sistemas de transporte e transferência de peças, onde se necessita de espaços reduzidos, realizando operações de um modo prático, seguro e preciso.

Vantagens do uso desse tipo de motor seriam a possibilidade de se regular a velocidade de giro até um máximo de 3 Hz através de válvulas reguladoras de fluxo e a durabilidade do sistema, sendo necessária somente uma limpeza regular do equipamento.

Algumas considerações, entretanto, devem ser feitas. Deve ser previsto o momento de inércia do sistema acionado pelo cilindro. Se esse momento ultrapassar certo limite, devem ser utilizados encostos externos. Deve-se salientar também que esse acionador não permite um movimento gradual do eixo da persiana, isto é, seria possível uma regulagem para, digamos, 0° (condição de persiana fechada) e 90° (condição de persiana aberta), não sendo possível um posição intermediária. (Além disso, o tempo de resposta do sistema pode ser muito alto, o que implicaria funcionamento inapropriado do equipamento).

No segundo cilindro, com o uso da referida catraca, o que aumentaria razoavelmente as dimensões do equipamento, poderia ser obtido um movimento rotativo de frequência máxima de 3 Hz, com torque relativamente alto também. Entretanto, esse dispositivo de conversão em movimento sincronizado e contínuo não permite o acionamento nos dois sentidos (horário e anti-horário), sendo necessários dois cilindros giratórios em série para que fosse obtido o movimento em dois sentidos.

Percebe-se imediatamente a inviabilidade do sistema pneumático proposto, tendo em vista sua construção definitivamente não ortodoxa e, principalmente, o custo de tal equipamento que, não levando em consideração as 6 válvulas necessárias, o compressor de ar e as tubulações necessárias, se aproximaria de R\$2.250,00 segundo nossas cotações anexas ao projeto.

Outro fator de inviabilização seria o acionamento complicado à distância, uma vez que seriam necessários longos comprimentos de tubo de ar comprimido, o que acarretaria

perdas no sistema e aumentaria a possibilidade de falhas. Uma solução para isso seria o emprego de válvulas solenóide, o que elevaria ainda mais o custo do equipamento.

Também não seria viável a implementação de controle por radio-frequência ou utilização de células foto-elétricas pelo elevado custo de compatibilização dos sistemas eletro-pneumático mencionados.

### **3.3 - Atuação por Dispositivo Elétrico**

#### **3.3.1 - Motor de Passo**

Quando se necessita de alta precisão de movimento e conhecimento da posição angular, uma das melhores opções é o motor de passo. Disponível em várias configurações de precisão, torque e momento de inércia, este motor proporciona rotações de até 20000 passos por segundo, o que representa, no caso do motor de passo com ângulo de passo de  $1.8^\circ$  em operação 'full step', 60000 rpm.

Para o funcionamento de motores de passo, são necessários normalmente uma fonte de corrente contínua e transistores de potência conectados a flip-flops ou outros dispositivos lógicos. Uma aplicação comum desses motores é vista em impressoras, onde é necessário saber constantemente a posição do cabeçote de impressão.

Como desvantagem principal, pode-se citar o alto custo desses motores. Conforme nossa cotação, mostrada na tabela 3.3.1, somente o motor de passo, sem contar drivers, transistores e outros dispositivos necessários, apresenta custo muito superior ao de um motor DC. A viabilidade da implementação desse sistema torna-se questionável, já que um motor DC cumpre os requisitos necessários a um custo bem inferior.

Tabela 3.3.1: Motor de passo

Componente	Características principais	Quantidade	Preço (R\$)
Airpax 23	Tensão 12V, ângulo de passo:1,8° Consumo nominal: 0,16A/fase Torque de Estol: 60mNm Torque de Retenção: 0,5 Nm	2	114,58

Esse motor conta com construção de fase híbrida, o que proporciona um torque de trabalho mais alto do que o tipo com ímã permanente. Pode ser encontrado com 6 ou 8 cabos, na configuração bi ou unipolar.

### 3.3.2 - Motor AC

A solução a ser apresentada, com acionamento através de motor monofásico, requer basicamente dois motores AC de duplo enrolamento, para que seja possível a reversão de sentido de movimento e redutores. Além disso seriam necessários os controles de acionamento, indicadores de fim de curso e demais acessórios necessários a implementação.

Tal solução é útil devido à disponibilidade de fontes de corrente alternada monofásica em todos os estabelecimentos comerciais e residenciais, não havendo necessidade de utilização de, por exemplo, motores pneumáticos ou hidráulicos anteriormente mencionados para conversão de energia.

Outras vantagens com relação aos tipos de acionamento mencionados anteriormente seriam o silêncio em funcionamento e a não necessidade de revisões e limpezas periódicas.

Com base em nossas cotações de motores e redutores, pode-se prever a inviabilidade desta solução, uma vez que os motores monofásicos de duplo enrolamento cotados são

mais caros que um motor DC já com redução, além de serem muito mais potentes que o exigido pelo projeto. A caixa de redução necessária, além de apresentar dimensões exageradas, tem um custo muito alto.

Como esta solução é muito semelhante à detalhada em Motor DC, deixamos para aquela o refinamento necessário, uma vez que nos parece inviável a implementação da solução utilizando motor AC monofásico.

Se fossem encontrados motores AC de dimensões reduzidas e duplo enrolamento, a viabilidade talvez fosse possível.

### 3.3.3 - Motor DC

A utilização de motor de corrente contínua para a finalidade desse trabalho mostra-se bastante eficaz, como será mostrado mais adiante.

A aplicação em questão exigiria um motor de cerca de 7 N.cm de torque a uma rotação de 5 a 8 rpm e um motor de cerca de 10 N.cm de torque com rotação entre 35 e 60 rpm.

A utilização de motores DC para acionamento da persiana vertical apresenta grandes vantagens com relação aos outros possíveis sistemas apresentados anteriormente.

Ao contrário dos motores AC, dificilmente encontrados com redutores acoplados, os motorreductores em corrente contínua são compactos, podem apresentar médio torque, baixa rotação de saída, baixo consumo de energia e reduzido nível de ruído, requisitos necessários ao desenvolvimento do projeto.

A variação de velocidade de acionamento é possível e relativamente simples, bastando variar a tensão aplicada ao motorreductor.

Podem-se salientar ainda a quase inexistente manutenção necessária ao bom funcionamento dos motores, sua robustez, a grande disponibilidade destes no mercado, o que torna fácil uma possível reposição, a facilidade de se inverter o sentido de giro do dispositivo, o pequeno tamanho do conjunto instalado, que pode ser fixado diretamente à persiana sem qualquer prejuízo, e a possibilidade de se usar vários tipos de controle. Em inúmeras aplicações, como acionamento de portas automáticas, esteiras rolantes e

camas hospitalares estes motores demonstraram ser muito eficientes.

Como desvantagem, pode-se citar a necessidade de utilização de conversor AC-DC, o que não chega a ser um grande empecilho, uma vez que tais conversores são acessíveis a um baixo custo.

Tomando como exemplo os motorreductores tipo CHP da Bosch, de características mostradas a seguir, pode-se perceber a relação custo-benefício da implementação da automatização das referidas persianas com motores DC.

**Tabela 3.3.3: Motor DC**

Componente	Características principais	Quantidade	Preço (R\$)
Motorreductor Bosch CHP 12Vcc	Rotação máx: 75 rpm Consumo nominal: 3 A Torque máx: 7 a 14 Nm	2	32,86

Sobre esse motorreductor resta comentar que a engrenagem do conjunto reductor é de polioximetileno (Delrin 100) injetado diretamente no eixo. Isso proporciona custo reduzido, já que não é necessária a utilização de reductor à parte, e também baixo peso devido à densidade menor do polímero e às dimensões reduzidas.

## **4. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO AO CONTROLE**

### **4.1 - Controle por Relês**

O controle do sistema através de relês satisfaz as necessidades de projeto a um custo bem acessível. Um relê Siemens de 10A custa aproximadamente R\$ 6,00. Como são previstos 6 relês, ter-se-ia um custo total de R\$36,00.

## **4.2 - Controle por Circuitos Combinatórios**

A utilização de circuitos combinatórios se justificaria caso se intentasse a implementação de microprocessadores. Além de apresentarem custo bem superior ao dos relês, os mesmos ainda são necessários ao controle dos motores.

## **4.3 - Controle através de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's)**

A utilização de mini CLPs seria muito interessante, pois poderia-se fazer a programação diária do movimento da persiana, além de, por exemplo, fazer o recuo ou avanço total dela com apenas um toque.

Entretanto, conforme nossa pesquisa de opinião, um provável cliente não estaria disposto a pagar mais do que R\$250,00 pela automatização total do sistema. Como o CLP mais simples encontrado no mercado custa por volta de R\$ 350,00 (fabricado pela Siemens do Brasil, com 6 entradas e 4 saídas), seria inviável a sua implementação. Além disso, o CLP estaria sendo sub-utilizado, uma vez que nem um terço das sua capacidade estaria sendo usada.

# **5. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO AO COMANDO**

## **5.1 - Comando por Botoeira**

O comando por botoeira, muito utilizado em aplicações industriais e residenciais, apresenta baixo custo de instalação e manutenção, além de ser praticamente insensível a ruídos externos.

*Dispositivo para Acionamento Remoto de Persianas*

Como desvantagem pode-se citar a impossibilidade de movimentação do controle, que ficará limitado ao comprimento dos fios de ligação ao dispositivo de atuação.

## **5.2 - Comando por Controle Remoto através de Sinal Infravermelho**

Com um custo mais alto que o comando por botoeira, a grande vantagem desse comando é a possibilidade de movimentação do operador. Além disso, como nossa pesquisa de opinião anexa demonstrou grande interesse do cliente pelo controle remoto, um estudo mais aprofundado será necessário.

Já dispõe-se do custo de vários equipamentos e chips necessários à implementação, que será detalhada no Projeto Básico.

Como desvantagem tem-se o baixo alcance de funcionamento. Conforme catálogos anexos, sabe-se que a maior distância possível entre transmissor e receptor não passa de 14m.

## **5.3 - Comando por Controle Remoto através de Radio-Frequência**

Apesar de ser suscetível a interferências causadas por ruídos externos, o uso de radio-frequência é vantajoso por apresentar um ótimo alcance de funcionamento a um custo equivalente ao transmissor por infra-vermelho.

# **6. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À DETECÇÃO**

## **6.1 - Detecção por Chaves-Limite**

Para a detecção, serão utilizadas chaves microminiatura, de dimensões reduzidas, que requerem baixa força de operação e consomem pouca energia.

Essas chaves serão responsáveis pela detecção do fim de curso referente tanto ao movimento de translação como também de rotação da persiana.

A detecção poderia ser feita por chaves magnéticas ou óticas, mas o custo não se justifica, dada a simplicidade do equipamento.

## **7. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À MONITORAÇÃO**

### **7.1 - Monitoração por Lâmpadas Sinalizadoras**

Não será necessária a princípio uma monitoração do equipamento, mas a utilização de LEDs para verificação do funcionamento do circuito talvez seja conveniente.

## **8. - ESTUDO DAS SOLUÇÕES QUANTO À ALIMENTAÇÃO**

### **8.1 - Alimentação por Corrente Alternada**

A alimentação por corrente alternada em 110 ou 220V 60Hz é uma alternativa totalmente viável dos pontos de vista econômico e de instalação, dada a facilidade com que pode-se obtê-la em qualquer edificação em que se deseje instalar uma persiana sem qualquer custo adicional.

## **8.2 - Alimentação por Corrente Contínua através de Transformador AC/DC**

A alimentação por corrente contínua exige alguma preocupação pelo fato de não ser comum encontrar-se tal alimentação disponível em locais onde se deseje instalar persianas. O mais plausível é que se faça uma conversão a partir de uma fonte de corrente alternada de 110 ou 220V 60 Hz para corrente contínua 12V através do uso de um conversor, composto internamente de um transformador e de um circuito retificador.

## **8.3 - Alimentação por Corrente Contínua através de Bateria Carregada por Células Fotoelétricas**

A crescente demanda global por energia e a importância do impacto das políticas energéticas sobre a sociedade e o meio ambiente criam a necessidade de optarmos por uma fonte de energia que possa abastecer a humanidade de forma inesgotável e que possa servir de base para um desenvolvimento sustentável.

A energia solar foto-voltaica é cada dia mais cotada como substituição aos métodos convencionais de geração de eletricidade pois, nos dias atuais, em que os problemas ambientais se agravam e as matérias primas se esgotam, torna-se intolerável a exploração continuada dos combustíveis fósseis e nucleares para sustentar o consumo energético a que nossa sociedade está habituada.

O efeito foto-voltaico começou a ser pesquisado em 1954 por cientistas da área espacial que buscavam uma forma eficiente de fornecer energia aos equipamentos dos satélites colocados em órbita. Desde então a energia solar foto-voltaica tem se desenvolvido de forma espetacular e se faz cada vez mais presente em regiões onde a rede elétrica convencional não chega ou não é confiável.

O princípio de funcionamento é simples na essência: Alguns materiais, principalmente o silício cristalino, quando expostos à luz geram eletricidade. Normalmente, em uma placa com células foto-voltaicas, várias células solares feitas sobre lâminas delgadas de silício cristalino são interconectadas apropriadamente para se obter a voltagem desejada.

Cada célula disponibiliza aproximadamente 0.5 V em corrente contínua ao ser exposta à luz. Esta eletricidade pode ser usada diretamente ou armazenada em baterias para uso posterior. A corrente gerada será proporcional ao número de células em paralelo e à luminosidade existente.

A energia solar apresenta inúmeras vantagens, principalmente em países tropicais como o Brasil, pois é uma energia limpa, uma vez que não gera tipo algum de poluição e não consome combustíveis, permitindo a auto-suficiência energética do usuário.

Além disso, a energia solar é a solução para levar a eletricidade a locais onde a rede convencional não chegou ou é fornecida de maneira precária. É cada vez mais utilizada para a iluminação e comunicação rural, bombeamento de água e eletrificação de cercas para gado.

Postos de saúde remotos também se beneficiam com a energia solar. Com a utilização de painéis solares é possível abastecer refrigeradores para a conservação de vacinas, prover iluminação e comunicação.

A placa solar não possui partes móveis sujeitas a desgaste e requer apenas uma limpeza periódica da cobertura de vidro (usar um pano umedecido com água e sabão neutro - não usar abrasivos).

As baterias devem ser inspecionadas periodicamente e o seu nível de água completado se necessário. Em condições de funcionamento normal, o sistema não requer praticamente nenhum cuidado adicional.

A energia solar é uma fonte absolutamente limpa e silenciosa; não produz resíduos de espécie e portanto não polui nem agride a Natureza.

A seguir encontram-se os principais produtos fornecidos pela única empresa de células foto-voltáicas nacional, chamada Héliodinâmica, sendo o modelo HM-5D12e um modelo especial, desenvolvido de acordo com nossas necessidades e seguindo o pedido anexo.

**Tabela 8.3.1: Principais placas solares Heliowatt®**

Produto	Unidade	HM-45D12	HM-21D12	HM-11D12	HM-5D12e
Tensão nominal	(V)*	12	12	12	12
Potência máxima	(W)*	45	21	11	5
Capacidade média de geração	(Ah/dia)**	14.6	6.8	3.4	0.4
Corrente de curto-circuito	(A)*	2.90	1.34	0.66	0.08
Tensão de circuito aberto	(V)*	21	21	21	21
Tensão em Potência Máxima	(V)*	17	17	17	17
Peso	(Kg)	6.2	3.1	2.1	1.6
Dimensões	(mm)	1007x402x45	547x402x45	377x318x45	120x550x25
Preço à vista sem ICMS	(R\$)	567,44	347,68	198,44	180,00

\* Especificações médias sob radiação solar de 1000W/m<sup>2</sup>, AM 1,5 e temperatura de 25°C, sujeitas a variação de 10%

\*\* Sob insolação média anual de 5580 Wh/m<sup>2</sup>.dia

As células foto-voltaicas dos produtos Heliowatt® são feitas em silício monocristalino com texturização da superfície exposta à luz para proporcionar maior superfície de absorção da energia incidente. Utilizam a tecnologia BSF (Back Surface Field), que garante melhor aproveitamento dos fótons de baixa energia.

As células solares são encapsuladas em EVA (Acetato de Vinil Etileno), formando um meio homogêneo e opticamente contínuo, que é obtido através de ciclos de pressão e temperatura, resultando em um laminado aderente ao vidro, destinado à proteção

posterior do módulo.

A cobertura frontal é feita em vidro temperado de alta transparência, resistente à degradação por radiação ultra-violeta, conferindo ao módulo proteção necessária contra chuva, granizo, vento e impactos mecânicos. A vedação existente resiste à poeira e à humidade.

A proteção posterior em filme Tedlar de cor branca proporciona maior aproveitamento da energia luminosa através múltiplas reflexões internas.

O laminado é montado em estrutura de alumínio extrudado e anodizado, que lhe confere a rigidez mecânica e resistência à corrosão, permitindo sua instalação em ambientes agressivos.

No sistema a ser implantado, o tempo de funcionamento esperado é de 10 minutos por dia, o que representa aproximadamente 10 aberturas e fechamentos completos.

Uma estimativa de consumo pode ser vista na tabela abaixo:

**Tabela 8.3.2: Estimativa de consumo de energia**

<b>Equipamento</b>	<b>Amperagem ( A )</b>	<b>Potência ( W )</b>
Motor	2,0	24
Relês	0,5	6
Total	2,5	30

Os dados foram obtidos impondo o funcionamento de apenas um motor de cada vez, o que é aceitável uma vez que não é possível a translação e rotação das persianas concomitantemente. O consumo do motor fora extraído da curva de potência presente no catálogo anexo.

O consumo dos relês fora extraído de catálogos técnicos e representa uma estimativa do consumo de todos os relês ou equipamento de função análoga.

$$E_d = \text{Potência} * \text{tempo} = 30 * 1/6h = 5Wh/dia.$$

Daí obtém-se a capacidade média de geração necessária de 0,4Ah/dia, sabendo-se que a

tensão de trabalho será de 12V.

A nosso pedido, o fabricante Heliodinâmica desenvolveu uma placa HM-5D12e, de características mostradas na tabela 8.3.1, que atende às especificações do projeto.

Prosseguindo com a análise, visto que o custo da referida placa é de R\$ 180,00 e a durabilidade da mesma é de 25 anos, tem-se que a economia mensal necessária para a justificativa de viabilidade do investimento, sem se contar taxas de juro do mercado, seria de R\$0,60 por mês.

A placa fornecerá mensalmente em média 120Wh a um custo de R\$0,60 por mês, enquanto a Eletropaulo nos fornece o KWh a um custo de R\$0,14, que se traduz num custo menor do que R\$0,02 por mês para o mesmo consumo de 120Wh. Percebe-se uma economia de R\$0,58 por mês com o uso da energia disponibilizada pela Eletropaulo.

Torna-se evidente a inviabilidade financeira da implementação de células foto-voltaicas no sistema de automatização de persianas. Tal investimento seria justificado caso o sistema fosse implementado em locais onde não houvesse eletricidade instalada ou se o custo de energia elétrica fosse mais elevado. Como o sistema destina-se a salas comerciais, auditórios, centros de conferência e afins, onde se pode contar com rede elétrica, não se torna viável tal uso. Talvez no futuro, quando o custo de energia elétrica encarecer-se e uma tecnologia aprimorada de fabricação de células foto-voltaicas for desenvolvida, possa ser viável tal implementação.

Vale ressaltar ainda que, no custo da placa solar não estão inclusos ICMS e bateria de 5Ah recomendada pelo fabricante, o que inviabilizaria ainda mais o projeto.

## **9. - PESQUISA DE OPINIÃO**

Com a intenção de sabermos mais sobre as possíveis mudanças que agradariam os compradores de persianas verticais para locais de convenções e afins, e que também tornassem-nas interessantes para os distribuidores e vendedores, buscamos realizar uma pesquisa de opinião. O Anexo 1 trata de um modelo de pesquisa de opinião igual ao que

*Dispositivo para Acionamento Remoto de Persianas*

foi entregue aos distribuidores e vendedores de persianas e o Anexo 2, de forma análoga, trata de um exemplo de pesquisa de opinião igual ao fornecido aos possíveis compradores de persianas automáticas, que são o alvo de nosso trabalho.

A seguir tem-se um demonstrativo da opinião de fabricantes e potenciais compradores, entrevistados durante os meses de Abril e Maio de 1999 a respeito da automação de persianas verticais.

**Tabela 9.1: Resumo da pesquisa de opinião realizada**

	Pergunta feita	Sim	Não	Resposta mais frequente
1	Qual é o preço médio de persiana vertical simples, em tecido nacional, de dimensões 3m x 6m			R\$450,00
2	Existe algum problema de funcionamento com as persianas atuais?	67%	33%	Emperramento
3	Existe alguma maneira de se provocar falha no funcionamento?	75%	25%	
4	Você conhece algum dispositivo de automação?	92%	8%	
5	Seria útil a implementação de sistema de automação?	92%	8%	
6	Acontece algum tipo de travamento quando é acionada a translação sem que a persiana esteja posicionada verticalmente à guia?	100%	0%	
7	A eliminação desse mau funcionamento seria bem vinda?	100%	0%	
8	Qual o provável custo adicional para a automatização mencionada?			R\$250,00
9	Quanto você estaria disposto a pagar por isso?		100%	R\$180,00
10	Gostaria de um comando via controle remoto?	92%	8%	
11	Quanto pagaria adicionalmente por isso?		100%	R\$30,00
12	Estaria disposto a receber informações sobre o equipamento?	92%	8%	
13	Gostaria de receber o resultado da pesquisa?	92%	8%	

É nítido que a automação de persianas verticais seria bem vinda no mercado. Tanto fabricantes e vendedores, assim como potenciais compradores demonstraram interesse no produto e estariam dispostos a comercializar tal dispositivo.

Gostaríamos de agradecer todos os entrevistados nesta pesquisa, pois, sem a sua ajuda não seria possível um melhor entendimento das necessidades do mercado. Como o intuito principal deste trabalho é colocar no mercado um novo produto, faz-se imprescindível escutar opiniões, críticas e necessidades do cliente, uma vez que este tornará viável todo e qualquer projeto de engenharia.

## 10. - ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

Nesta etapa, dar-se-á a escolha do equipamento mais adequado a ser utilizado na implementação da automatização de persianas verticais.

Na Tabela 9.1 pode-se observar a compatibilidade entre cada elemento discutido na análise de viabilidade. A partir dessa tabela, onde serão nitidamente observados os conjuntos compatíveis, será montada uma matriz de decisão (Tabela 9.2), de onde a melhor solução será extraída.

Tendo em vista todas as características de equipamentos previamente discutidos e novamente evidenciados na tabela 10.1, pode-se chegar à elaboração de uma matriz de decisão, onde os principais pré-requisitos e características das possíveis soluções serão analisados globalmente de acordo com a relevância de determinados parâmetros. As opções escolhidas para análise foram extraídas da tabela 10.1 sob a classificação “compatível”.

**Tabela 10.1: Matriz de análise de compatibilidades.**

	Atuação por dispositivo hidráulico	Atuação por dispositivo pneumático	Atuação por motor de passo	Atuação por motor elétrico AC	Atuação por motor elétrico DC	Controle por relés	Controle por circuito combinatório	Controle através de CLPs	Comando por botoeira	Comando por controle remoto - infra-vermelho	Comando por controle remoto - radio-frequência	Deteção por chaves-limite	Monitorização por lâmpadas sinalizadoras	Alimentação por corrente alternada	Alimentação por corrente contínua e transformador AC/DC	Alimentação por corrente contínua e bateria carregada por células foto-elétricas
Atuação por dispositivo hidráulico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atuação por dispositivo pneumático	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atuação por motor de passo	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
Atuação por motor elétrico AC	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Atuação por motor elétrico DC	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Controle por relés	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Controle por circuito combinatório	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Controle através de CLPs	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Comando por botoeira	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Comando por controle remoto - infra-vermelho	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Comando por controle remoto - radio-frequência	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Deteção por chaves-limite	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Monitorização por lâmpadas sinalizadoras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Alimentação por corrente alternada	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Alimentação por corrente contínua e transformador AC/DC	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Alimentação por corrente contínua e bateria carregada por células foto-elétricas	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

- Legenda:** - Incompatível  
 \* Compatível mas não recomendável  
 + Compatível

Tabela 10.2: Matriz de decisão

Opções de análise	Peso	Parâmetros de análise										
		3	5	4	10	3	6	3	5	2	4	45
		Estética	Praticidade de acionamento	Suscetibilidade a ruídos externos	Custo	Dimensões do equipamento	Distância máxima de acionamento	Precisão de posicionamento	Manutenção	Simplicidade de controle	Segurança do operador	Total
1	Motor de passo, controle por circuito combinatório, comando por botoeira, corrente contínua, transformador AC/DC	7	6	9	4	8	4	10	6	4	10	6.3
2	Motor de passo, controle por circuito combinatório, comando por CR - infravermelho, transformador AC/DC	9	9	8	3	8	6	10	5	4	10	6.6
3	Motor de passo, controle por circuito combinatório, comando por CR - rádio, transformador AC/DC	9	9	7	3	8	9	10	5	4	10	6.9
4	Motor AC, controle por relés, comando por botoeira	5	6	9	8	6	4	7	8	9	10	7.2
5	Motor AC, controle por relés, comando por CR - infravermelho	7	9	8	7	6	6	7	7	8	10	7.4
6	Motor AC, controle por CLP, comando por CR - infravermelho	7	9	7	5	6	9	7	7	8	10	7.3
7	Motor AC, controle por relés, comando por CR - rádio	7	9	7	7	6	6	7	7	8	10	7.3
8	Motor AC, controle por CLP, comando por CR - rádio	8	9	7	5	6	6	7	7	8	10	7.0
9	Motor DC, controle por relés, comando por botoeira, transformador AC/DC	7	6	9	9	8	4	7	9	9	10	7.8
10	Motor DC, controle por relés, comando por CR - infravermelho, transformador AC/DC	8	9	8	8	8	6	7	8	8	10	8.0
11	Motor DC, controle por relés, comando por CR - rádio, transformador AC/DC	8	9	7	8	8	9	7	8	8	10	8.3

Esta matriz está composta de possíveis alternativas em linhas e de parâmetros de análise nas colunas. Cada parâmetro está associado a um peso que representa o grau de importância do parâmetro quanto ao projeto em questão.

Percebe-se na matriz de decisão uma ligeira vantagem da opção 11 com relação às outras. A utilização de um motor DC, controlado por relés e comandado por controle remoto através de rádio-frequência mostra-se, portanto, a opção mais acessível.

## **11. – CONCLUSÕES DO ESTUDO DE VIABILIDADE**

A escolha do dispositivo de acionamento remoto de persianas envolveu um árduo estudo de viabilidade que constou de inúmeras soluções detalhadas no decorrer do mesmo.

Tal estudo levantou como solução mais adequada a que utiliza um motor DC controlado por relês e comandado por controle remoto através de rádio-frequência.

As opções que envolveram o uso de CLPs, emprego de energia solar, dispositivos hidráulicos e pneumáticos, motores de passo e de corrente alternada, comando por infravermelho e controle por microprocessadores e circuitos combinatórios não se mostraram viáveis por questões de custo basicamente. Exceção feita ao comando por infravermelho que não possui alcance suficiente.

## **12. – INTRODUÇÃO AO PROJETO BÁSICO**

Na primeira fase do projeto determinamos, em termos gerais, através de um estudo aprofundado de viabilidade, o tipo de acionamento, alimentação, controle e atuação do mecanismo automatizador de persianas verticais. Ficou decidido então que utilizaríamos dois motores elétricos de corrente contínua, fonte de conversão AC/DC, um controle remoto por radio-frequência e chaves fim-de-curso para a sinalização dos movimentos.

Nesta fase de projeto, faremos as especificações técnicas de cada componente do sistema, além de projetar todos os elementos necessários ao correto funcionamento da persiana.

### 13. – DIMENSIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO PARA TAMANHOS DIFERENTES DE GUIA

Através do estudo de funcionamento de diversas persianas encontradas atualmente no mercado, chegamos à fórmula empírica para determinação da potência e rotação necessárias aos motores de atuação no sistema. Esta fórmula leva em consideração o comprimento da guia, a altura da persiana, o tempo de abertura requerido e um fator de segurança que é especificado a posteriori.

O desenvolvimento da fórmula foi, a princípio com regressão linear, o que, com o tempo, mostrou-se inviável, pois a força necessária à abertura e fechamento da persiana não é linear, o que pode ser explicado em parte pela deformação a que os fios estão submetidos e às grandes tolerâncias de fabricação que as peças integrantes apresentam.

Após um grande número de testes, chegou-se às expressões:

#### Rotação necessária para motor de translação:

$$\omega = \frac{60 \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t}$$

onde

$\omega$ : Rotação do motor ( rpm )

c: Comprimento da guia ( mm )

r: Raio da polia motora ( mm )

t: Tempo de abertura total da persiana ( s )

#### Potência necessária para o motor de translação:

$$Pot = 0.014 \cdot \omega \cdot fs \cdot l^{0.8} \cdot C^{1.2}$$

**Rotação necessária para motor de rotação:**

$$\omega_r = \frac{150}{t_r}$$

onde

$\omega_r$ : Rotação do motor utilizado na rotação ( rpm )

$t_r$ : Tempo de rotação de 90° da persiana ( s )

**Potência necessária para o motor de rotação:**

$$Pot = 0.015 \cdot \varpi \cdot f_s \cdot l^{0.7} \cdot C^{1.4}$$

Para a determinação das fórmulas acima foram utilizadas 3 séries de persianas de diferentes marcas com guias de comprimento variável entre 1 e 4 metros e altura de folhas de 1 a 3 metros. A força necessária para a ao funcionamento do mecanismo foi medida através do uso de dinamômetros acoplados aos fios de acionamento das referidas persianas diversas vezes nas diferentes configurações estudadas.

O erro máximo cometido na utilização das aproximações obtidas não ultrapassa em 8% o valor de potência real necessária tanto ao movimento de rotação como ao de translação.

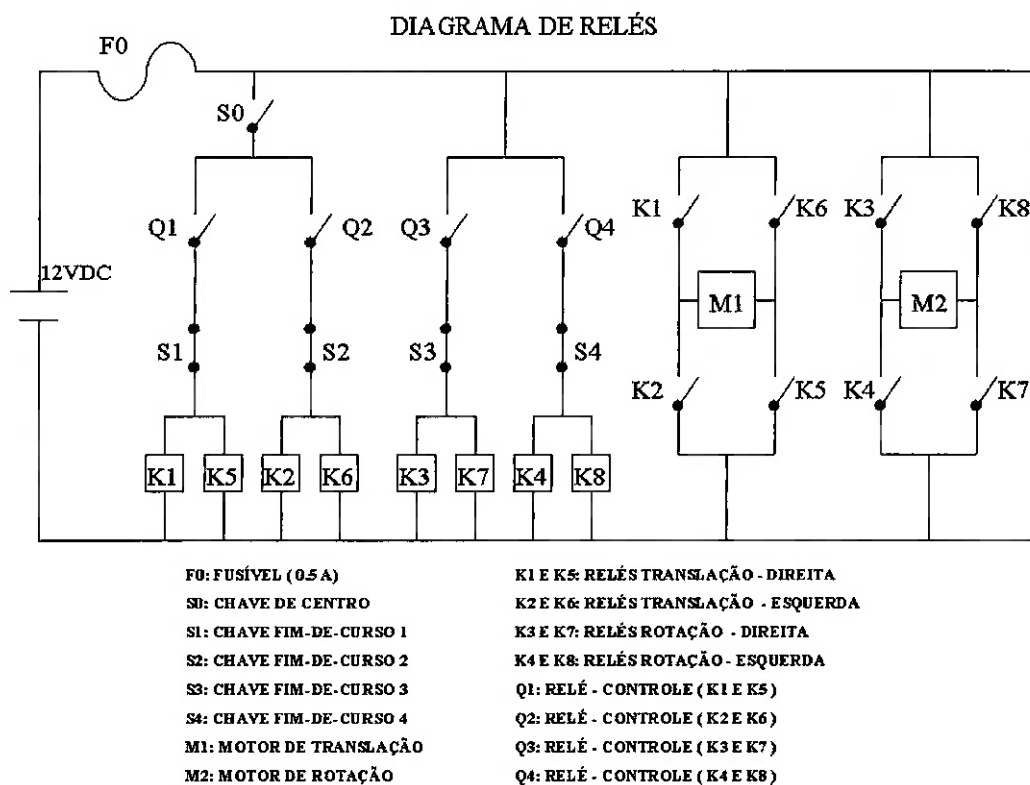
**14 - PARTE ELÉTRICA****14.1 Diagrama Elétrico**

O circuito elétrico do sistema pode ser dividido em duas partes. A primeira refere-se ao circuito de controle, constituído pelos relês de controle do motor, contatos das chaves fim-de-curso e relês acionados pelo controle remoto. A segunda parte, ou circuito de potência, é dada pelos relês controlados pelo circuito de controle e os motores. Desta

maneira pode-se controlar os motores com pouca corrente e a dissipação de potência é minimizada ao máximo, uma vez que a corrente de acionamento dos motores é restringida ao circuito de potência.

Um esquema do circuito elétrico implementado no projeto pode ser visto a seguir.

Figura 14.1.1: Diagrama de Relês



## 14.2 Dispositivo de Comando por Controle Remoto

O dispositivo de comando da persiana, conforme decidido no estudo de viabilidade, é do tipo remoto, com acionamento por 4 botões localizados em um emissor. Além deste, o sistema de controle possui um receptor, localizado próximo à persiana, capaz de reconhecer o sinal de cada botão.

O projeto do dispositivo de comando envolve, dessa forma, a escolha de um conjunto emissor/receptor capaz de satisfazer as especificações descritas na tabela 14.2.1.