UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação Preliminar de um Dispositivo Automático para Extração da Amêndoa do Coco Babaçu por Impacto

Autor: **Paulo Sérgio Feitosa Barroso**

Orientador: **Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação Preliminar de um Dispositivo Automático para Extração da Amêndoa do Coco Babaçu por Impacto

Autor: **Paulo Sérgio Feitosa Barroso**

Orientador: **Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima**

Curso**: Engenharia Mecânica**

Área de Concentração**: Instrumentação e Controle Industrial**

Trabalho Final de Mestrado Profissional apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Mecânica/Instrumentação e Controle Industrial.

Campinas, 03 de Fevereiro, 2004.

MA-Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Trabalho Final de Mestrado Profissional

Avaliação Preliminar de um Dispositivo Automático para Extração da Amêndoa do Coco Babaçu por Impacto

Autor: **Paulo Sérgio Feitosa Barroso**

Orientador: **Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima**

_____

Prof. Dr. Kamal A. R. Ismail

FEM/UNICAMP, (Presidente).

_____

Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima - UEMA

2º Membro

_____

Prof. Dr. Valdemar Silva Leal - UEMA

3º Membro

Campinas, 03 de Fevereiro de 2004

Dedicatória

A todas as quebradeiras de coco do Maranhão.

Aos meus pais, pelas orações em prol do nosso crescimento pessoal.

Aos meus filhos Paulo Vitor e Pedro Guilherme.

A minha amada Ana Helena Fernandes Dias, pela compreensão, incentivo e apoio.

A meu irmão Rivaldo Feitosa de Sá Barroso, pelo amor à vida.

Ao professor Joaquim Teixeira Lopes, exemplo de pessoa.

Agradecimentos

À DEUS, pela vida.

Aos meus pais pela oportunidade de conhecer esse mundo maravilhoso.

A Sociedade em geral, que mesmo sem saber, custeou este curso.

Ao meu orientador, pela confiança que depositou em mim, na escolha deste trabalho.

A todos os professores e colegas do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNICAMP, pela oportunidade de cumprir o Programa de Mestrado.

Para inventar alguma coisa e preciso possuir um comportamento ante convencional. Continuo apostando na intuição, embora meu trabalho sempre exige cálculos matemáticos.

Frederico de Moraes

Resumo

BARROSO, Paulo Sérgio Feitosa. Avaliação Preliminar de um Dispositivo Automático para Extração da Amêndoa do Coco Babaçu por Impacto,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 62 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

Este trabalho apresenta uma avaliação preliminar de um dispositivo automático para extração da amêndoa do coco babaçu por impacto. Nessa avaliação foram realizados testes para determinar a constante elástica do coco babaçu, bem como a força média de impacto capaz de quebrá-lo. A pneumática foi escolhida como tecnologia operativa do dispositivo por poder caracterizar-se como um sistema binário. A metodologia utilizada nas etapas de construção do circuito pneumático foi baseada na elaboração de um diagrama de função seqüencial, o GRAFCET.

Palavras-chave

Avaliação, Babaçu, GRAFCET, Pneumática.

Abstract

BARROSO, Paulo Sergio Feitosa. Preliminary evaluation of an Automatic Device for Extration of the Almond of the Babaçu Coconut for Impact,: College of Engineering Mechanics, State University of Campinas, 2004. 62 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

This work presents a preliminary evaluation of an automatic device for extration of the almond of the coconut babaçu for impact. In this evaluation tests had been carried through to determine the elastic constant of the coconut babaçu, as well as the average force of impact capable to break it. The pneumatic was chosen as operative technology of the device for being able to characterize itself as a binary system. The methodology used in the stages of construction of the pneumatic circuit was based on the elaboration of a diagram of sequential function, the GRAFCET

Key Words:

Evaluation; Babaçu; GRAFCET; Pneumatic.

Índice

		p.
Dedicatória		**i**
Agradecimentos		**ii**
Citação		**iii**
Resumo		**iv**
Abstract		**v**
Índice		**vi**
Lista de Figuras		**ix**
Lista de Tabelas		**xi**
Nomenclatura		**xii**
CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO		**1**
1.1	Visão do problema	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivos grais	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Justificativas	3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA		4
2.1	Histórico	5
2.2	Sistemas pneumáticos	11
2.3	Produção de Ar Comprimido	13
2.3.1	Compressores alternativos	15
2.3.1.1	Compressor de simples ação	17
2.3.1.2	Compressor de dupla ação	18
2.4	Distribuição de ar comprimido	18
2.5	Característica para escolha de um compressor	19
2.5.1	Volume de ar fornecido (efetivo)	19

2.5.2 Pressão..... 19
2.5.3 Acionamento de compressores..... 19
2.6 Atuadores Pneumáticos..... 20
2.6.1 Atuadores Pneumáticos Lineares..... 21
2.6.1.1 Atuadores lineares de simples ação..... 21
2.6.1.2 Atuadores lineares de dupla ação 22
2.6.1.3 Atuador duplex geminado..... 23
2.6.1.4 Atuador linear de alto impacto..... 23
2.7 Válvulas..... 24
2.7.1 Válvulas de controle direcional..... 24
2.7.1.1 Válvula distribuidora de uma via..... 25
2.7.1.2 Válvula distribuidora de duas vias..... 25
2.7.1.3 Válvula distribuidora de três vias..... 26
2.7.1.4 Válvula distribuidora de quatro vias..... 27
2.7.2 Válvulas controladoras de fluxo..... 27
2.7.3 Válvulas de bloqueio..... 28
2.7.4 Válvulas controladoras de pressão..... 29
2.8 Demanda de Ar Comprimido..... 30
CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 33
3.1 Modelo da Força Média de Impacto..... 33
3.2 Dimensionamento do Atuador de Alto Impacto..... 35
3.3 Dimensionamento e Seleção de Atuadores Lineares..... 37
3.4 Dimensionamento e Seleção de Válvulas..... 39
3.5 Dimensionamento do manifold 40
CAPITULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS 41
4.1 Montagem Experimental do Dispositivo de Impacto..... 41
4.2 Metodologia..... 41
CAPITULO 5 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES..... 42
5.1 Resultados dos testes de deformação..... 42
5.2 Simulação do Circuito Pneumático..... 49
5.3 Tecnologia de comando 49
5.4 Tecnologia operativa..... 50
5.5 Esquema de instalação..... 50

5.6 Representação gráfica do comando seqüencial..... 54
5.6.1 Diagrama funcional seqüencial – GRAFCET..... 54
5.7 Diagrama lógico..... 56
5.8 Comando seqüencial..... 57
5.9 Dimensionamento mecânico..... 57
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 58
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 59

Lista de Figuras

Figura 1.1	Foto babaçual	2
Figura 2.1	Foto de uma quebradeira de coco em atividade	6
Figura 2.2	Foto da extração de amêndoa pelo processo manual	6
Figura 2.3	Etapas do processo PSQ	8
Figura 2.4	Foto da máquina BABATEC	9
Figura 2.5	Fluxograma dos produtos da industrialização integral do coco babaçu	9
Figura 2.6	Sistema pneumático básico.	11
Figura 2.7	Princípio funcional do compressor alternativo	15
Figura 2.8	Ciclo de um compressor alternativo	16
Figura 2.9	Compressor de dois estágios	17
Figura 2.10	Admissão e descarga de um compressor de dupla ação	18
Figura 2.11	Compressor alternativo a motor elétrico	20
Figura 2.12	Compressor alternativo à motor de explosão	20
Figura 2.13	Atuador linear de simples ação com retorno por mola	22
Figura 2.14	Atuador linear de duplo efeito	23
Figura 2.15	Atuador duplex geminado	23
Figura 2.16	Atuador pneumático de alto impacto	24
Figura 2.17	Válvula distribuidora de uma via	25
Figura 2.18	Válvula distribuidora de duas vias	26
Figura 2.19	Válvula distribuidora de três vias	26
Figura 2.20	Válvula distribuidora de quatro vias e três posições	27
Figura 2.21	Válvula de controle de fluxo variável unidimensional	27
Figura 2.22	Válvula de controle de fluxo variável bidimensional	28
Figura 2.23	Válvula de controle de fluxo fixa bidimensional	28
Figura 2.24	Válvula de bloqueio com mola	29
Figura 2.25	Válvula de bloqueio sem mola	29

Figura 2.26	Válvula de alívio	29
Figura 3.1	Vista frontal de um dispositivo de impacto	33
Figura 3.2	Detalhe da interface da pré-câmara e da câmara no inicio da distensão da haste	35
Figura 5.1	Gráfico da altura x deformação relativa – teste 1	43
Figura 5.2	Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 1	43
Figura 5.3	Gráfico da altura x deformação relativa – teste 2	44
Figura 5.4	Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 2	44
Figura 5.5	Gráfico da altura x deformação relativa – teste 3	45
Figura 5.6	Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 3	45
Figura 5.7	Gráfico da altura x deformação relativa – teste 4	46
Figura 5.8	Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 4	46
Figura 5.9	Gráfico da altura x deformação relativa – teste 5	47
Figura 5.10	Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 5	47
Figura 5.11	Gráfico da força de impacto média	48
Figura 5.12	Fase 1 - Sensor E1 detecta a presença do coco e o atuador A posiciona-o sob o atuador B	51
Figura 5.13	Fase 2 – Atuador B avança e realiza operação de quebra	51
Figura 5.14	Fase 3 – Atuador B recua e atuador A avança	51
Figura 5.15	Fase 4 – Atuador A recua para posição inicial para iniciar um novo ciclo	52
Figura 5.16	Circuito pneumático do dispositivo de extração de amêndoa por impacto	53
Figura 5.17	Gráfico trajeto – passo	54
Figura 5.18	GRAFCET descritivo	55
Figura 5.19	Diagrama lógico	56

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Quantidade de energia perdida por vazamentos em uma rede de ar comprimido	13
Tabela 2.2	Relação pressão x nº de estágios para compressor	17
Tabela 2.3	Ambientes secundários	31
Tabela 3.1	Fator de correção de força	38
Tabela 5.1	Teste nº 1	42
Tabela 5.2	Teste nº 2	44
Tabela 5.3	Teste nº 3	45
Tabela 5.4	Teste nº 4	46
Tabela 5.5	Teste nº 5	47
Tabela 5.6	Valores médios do módulo de elasticidade e da força média de impacto	48

Nomenclatura

A - Área de seção transversal do duto (m^2)

A_0 - Área do orifício (m^2)

A_1 - Área anterior a câmara do cilindro de alto impacto (m^2)

A_2 - Área posterior a câmara do cilindro de alto impacto (m^2)

A_p - Área do pistão (m^2)

ABHP - Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática

C_v - Coeficiente de vazão

D - Diâmetro do pistão (cm)

d - Diâmetro da haste (cm)

D_i - Diâmetro do pistão (polegada)

D_0 - Diâmetro do pistão (mm)

D_p - Diâmetro mínimo do pistão (cm)

$F_{elástica}$ Força de impacto sobre o coco

F_p - Força de projeto (Kp)

G - Aceleração da gravidade (m/s^2)

$G_{gás}$ - Gravidade especifica do gás

H_0 - Posição do bloco em relação a superfície do coco (m)

L_0 - Curso do cilindro (mm)

L - Curso do cilindro (polegada)

L_m - Curso do atuador (m)

L_t - Comprimento total da linha (m)

K - Constante elástica do material do coco (N/m)

M - Massa do conjunto haste + embolo

m_{bloco} - Massa do bloco de impacto (Kg)

m_{max1} - Vazão mássica máxima no ponto 1

m_{max2} - Vazão mássica máxima no ponto 2

N - Numero de cursos por minuto

P - Pressão de regime (Kgf/cm^2)

P_a - Pressão atmosférica (psi)

P_t - Pressão do trabalho (Kp/cm^2)

P_1 - Pressão de alimentação (psi)

p_2 - Pressão de trabalho (bar)

$\frac{p_2}{p_1}$ - Relação de compressão

Δp - Queda de pressão (bar)

ΔP - Perda de carga (Kgf/cm^2)

Δy - Compressão sofrida pelo coco (m)

Q - Consumo de ar por centímetro de curso

Q - Volume de ar (l/m)

Q_0 - Vazão de ar (l/s ou dm^3/s)

Q_i - Vazão de ar (scfm)

Q_m - Volume de ar (m^3/h)

S - Curso em centímetro

ta - Tempo de avanço (s)

T - Tempo que o cilindro leva para completar o curso mais rápido (s)

T_1 - Temperatura absoluta (^oR)

ν_B - Velocidade de impacto do bloco sobre o coco (m/s)

V - Velocidade de escoamento (m/s)

Π - Pi

Φ - Fator de correção de força

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Visão do problema

O babaçu é uma palmeira nativa das regiões norte e nordeste do Brasil, onde forma extensas florestas denominadas babaçuais, localizadas numa zona de transição entre as florestas úmidas da bacia amazônica e as terras semi-áridas do Nordeste, distribuídas nos Estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Amazonas, Pará e Mato Grosso, ocupando em torno de dezoito milhões de hectares, onde o Maranhão ocupa a maior parte dessa área, cerca de dez milhões de hectares. A classificação botânica do babaçu está dividida em duas espécies, *Palmae ortignya oleifera* (babaçu de serrado) e *Palmae ortignya martiana* (babaçu de floresta). Almeida, (2000).

A área produtiva estimada é de seis milhões de hectares e, o país possui um potencial produtivo de treze milhões de toneladas de coco por ano, produção esta que depende das condições locais de solo e clima.

A exploração desta palmeira, uma das mais importantes do extrativismo vegetal maranhense, apresenta elevada importância ecológica, social e política na qualidade de produto extrativo, envolvendo centenas de milhares de famílias, caracterizada pela criação de diferenciais de renda às populações rurais das regiões onde está inserida. Sua importância social aumenta ainda mais, porque a exploração do produto ocorre no período de entressafra das principais culturas regionais, diminuindo o êxodo rural, além de auxiliar na fertilidade do solo.

Figura 1.1 – Foto babaçual

O coco babaçu desponta como uma das melhores alternativas para acelerar nossa dependência energética em termos de petróleo e carvão, em médio prazo, através de um plano integrado visando seu aproveitamento total.

Se a produção brasileira de coco babaçu, de 13 milhões de toneladas por ano fosse industrializada integralmente, poderia gerar 1 bilhão de litros de álcool, 2 bilhões de toneladas de coque siderúrgico, ½ milhão de toneladas de óleo, 2 bilhões de m^3 de gás combustível e 1 milhão de combustível primário (epicarpo). Um resultado, suposto, da industrialização do coco babaçu pode ser avaliado em termos de energia armazenada nesses produtos, cujo potencial energético global poderá atingir em torno de 40 bilhões de mega calorias por ano, o que corresponde a uma potência instalada de 5 mil megawatts, em tempo integral no ano. Assim, o alcance da contribuição que o babaçu poderá dá a nação através de seus produtos energéticos, derivados, é inestimável. Sumário, (2002).

A indústria de médio e grande porte tem enfrentado problemas de capacidade ociosa, devido ao sobre dimensionamento das instalações e a oferta irregular de amêndoas.

Os principais produtos comerciais extraídos do babaçu, a partir das amêndoas, são o óleo e a torta. Dentre os processos de extração de amêndoas, prevalece a quebra manual, que é de baixa produtividade.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Contribuir com o projeto de um dispositivo automático para extração das amêndoas do coco babaçu com vistas ao seu aproveitamento total.

1.2.2 Objetivos específicos

- Propor um circuito pneumático que possibilite a construção de um dispositivo automático para extração de amêndoas;
- Possibilitar o abastecimento regular de amêndoas às indústrias de manufatura de óleo, sabão, cosméticos, etc.;
- Possibilitar as famílias de baixa renda que vivem da cultura e extração da amêndoa do coco, o aumento de sua renda através de atividades em cooperativas na produção de bens de consumo;
- Viabilizar ao Estado do Maranhão um maior aproveitamento energético do babaçu.

1.3 Justificativas

- O coco babaçu desponta como uma das alternativas para acelerar nossa independência energética em termos de petróleo e carvão, através de um plano integrado visando seu aproveitamento total;
- O setor industrial de produção de óleo babaçu tem enfrentado problemas de capacidade ociosa devido ao sobre-dimensionamento das instalações e a oferta irregular de amêndoas;
- O babaçu apresenta elevada importância ecológica, social e política na qualidade de produto extrativo;

- O principal processo de extração de amêndoas é a manual onde, geralmente são desperdiçados o epicarpo, o mesocarpo e o endocarpo; assim acreditamos que a criação e instalação de unidades automáticas de extração, implicará na geração de produtos de maior valor agregado.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

A palmeira do babaçu tem as mais variadas aplicações, que inclui o aproveitamento do caule, folhas e frutos. Os frutos são em formato elipsoidal, quase cilíndricos, com massa de 90 a 280g, comprimento entre 6 e 11 cm, largura de 5 a 8 cm. A composição física do fruto indica quatro partes: Epicarpo (camada externa, em torno de 12% do fruto); Mesocarpo (rico em amido, 22%); Endocarpo (Muito rijo, 59%); e Amêndoas (de 3 a 5 por fruto, com 2,5 a 5,0 cm de comprimento e de 1 a 1,5 cm de largura, em torno de 7%), conforme Vivacqua (1968).

Trabalhos teóricos e experimentais têm sido realizados por diversos pesquisadores, na tentativa de criar uma máquina para extração de amêndoas do coco babaçu. Entretanto, as inúmeras tentativas de implementar a extração mecânica das amêndoas tem sido de relativa complexidade em função dos seguintes fatores:

a) cada camada difere entre si quanto a dureza, a forma e a composição química;
b) teor de umidade;
c) variabilidade da forma e tamanho do coco;
d) número de amêndoas e posicionamento destas na parede do endocarpo.

Sendo o endocarpo, de elevada dureza, o processo tradicional (manual) utilizado para extração das amêndoas é o seguinte: sobre o fio de um machado, fixado pelo cabo, pelas pernas da "quebradeira", fica equilibrado o coco, depois de ser batido, com muita força e por várias vezes, com um pedaço de madeira cilíndrico, denominado macete, finalmente o coco parte-se liberando suas amêndoas, veja figuras 2.1 e 2.2.

Figura 2.1– Foto de uma quebradeira de coco em atividade

Figura 2.2 - Foto da extração de amêndoa pelo processo manual

Quando a amêndoa do coco babaçu entrou pela primeira vez, no mercado mundial, de forma sistemática em 1920, surgiram as primeiras máquinas para o processamento do fruto. A tecnologia, inicial, para extrair mecanicamente as amêndoas, utilizava procedimentos que tentavam imitar o processo manual usado pelas quebradeiras. Foram testados instrumentos que pulverizavam os cocos pneumaticamente, prensando-os entre cilindros. Em alguns casos, o equipamento requeria que os frutos fossem colocados nas prensas manualmente, e que as amêndoas fossem separadas das cascas também à mão, Markley (1963).

Segundo Amaral (1990), cerca de 50 patentes de máquinas para quebrar coco babaçu, tinham sido registradas no Brasil até o início da década de 1950, e pelo menos outro tanto apareceu nos trinta anos subseqüentes.

Em 1952, depois de analisar durante seis meses o problema da quebra do coco babaçu, Palatnik conseguiu desenhar uma máquina que quebrava o coco sem comprometer a integridade da amêndoa.

Até o final da década de 1960, as estradas pavimentadas eram em baixa escala, bem como o transporte fluvial e ferroviário eram lentos e arriscados. Esta infra-estrutura precária, fez com que algumas firmas do ramo de extração de amêndoa, instalassem máquinas no interior das florestas de babaçuais, onde ainda até hoje podem ser encontradas, em estado obsoleto.

A partir de 1970, a tecnologia PSQ (Pelagem, Separação e Quebra) para o processamento integral do coco babaçu, tornou-se dominante, conforme figura 2.3, Vivacqua (1959). Alguns empresários desenvolveram ou adaptaram seus próprios equipamentos PSQ.

No primeiro estágio da tecnologia PSQ, o coco inteiro é colocado num equipamento para descascar e desfibra-lo que consiste num tambor horizontal com uma barra rotativa equipada com martelos de ferro conectados em intervalos. Este mecanismo proporciona a separação do epicarpo e mesocarpo do endocarpo. O mesocarpo sendo farináceo, é peneirado através de uma tela que cobre a barra rotativa e os martelos, enquanto o epicarpo fibroso é removido através do processo vibratório.

No segundo estágio do PSQ o endocarpo (que algumas vezes é colocado num forno para diminuir a umidade) é transportado para um aparelho centrífugo de quebra, que consiste de um

núcleo giratório em forma de cone investido (Ciclone), que força o endocarpo contra os nódulos fixos no interior do aparelho. A força com que o mesmo é lançado contra a parede do aparelho, combinada com a fricção com outros endocarpos e a batida contra os nódulos provoca a quebra do mesmo. Os pedaços maiores do endocarpo retornam ao centrifugador, que faz com que as partículas menores de amêndoas se soltem do endocarpo. Após a quebra, o material é colocado de molho numa mistura de água e argila com o objetivo de separar, por gravidade, as amêndoas leves, do endocarpo mais denso que ficará depositado no fundo do tanque.

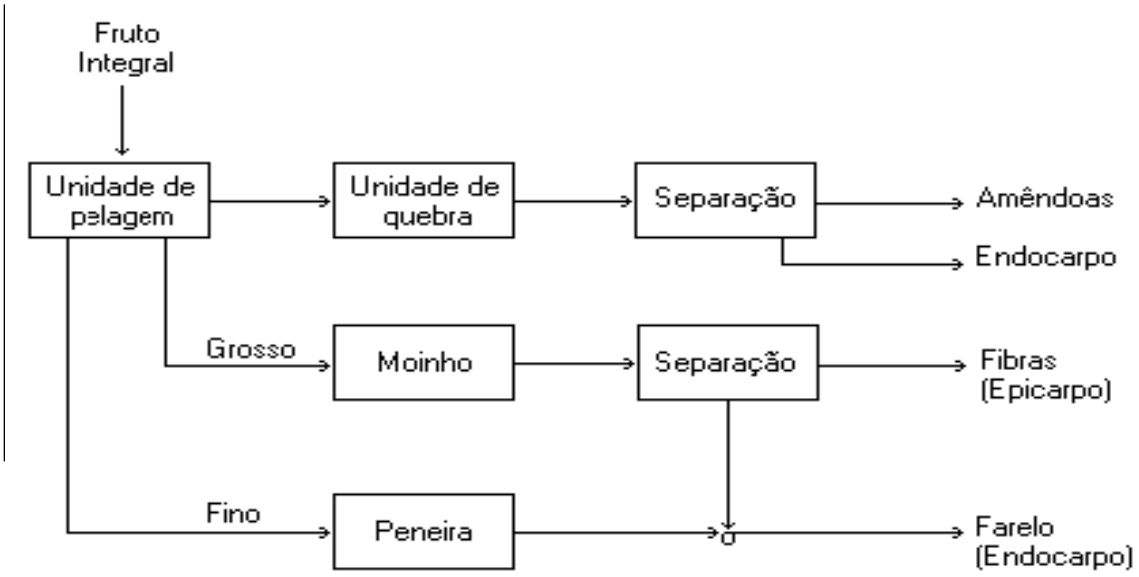

Figura 2.3- Etapas do processo PSQ, MIC/STI, (1982)

A tecnologia do PSQ é usada até os dias de hoje, porém em níveis baixos. (Codó, Bacabal-MA.). A BABATEC, Babaçu e Tecnologia, instalada em Caxias –MA, criou uma máquina que extrai amêndoa através do processo de corte, usando serra elétrica. Neste processo o beneficiamento do coco babaçu é composto de: serrador, extrator de epicarpo, extrator de mesocarpo, limpeza de endocarpo, saque das amêndoas e amolador, como mostra a figura 2.4.

Figura 2.4– Foto da máquina BABATEC

Com base em pesquisas industriais piloto e estudos de laboratório, a figura 2.5, mostra os produtos alternativos que se poderia obter da industrialização do coco babaçu, apresentando sua origem com referência à composição do fruto e o produto hipotético por unidade de matéria prima, Anderson e Anderson (1983).

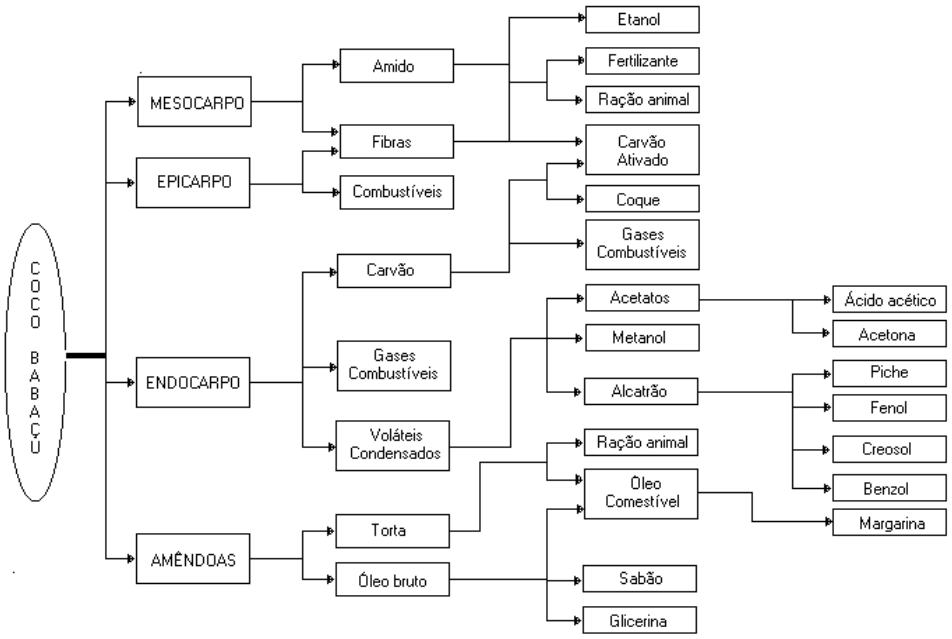

Figura 2.5 – Fluxograma dos produtos da industrialização do coco babaçu, Anderson e Anderson (1983)

A capacidade de oferta de babaçu no Maranhão, matéria-prima para a produção de óleos comestível e láurico, foi responsável pela instalação de várias empresas no estado interessado no seu processamento.

O auge da economia babaçueira ocorreu na década de 60 ao início de 80. Neste período, 52 empresas de médio e grande porte funcionavam no Maranhão, produzindo óleo para o abastecimento das indústrias alimentícias e de higiene e limpeza no país e no exterior. A produção anual do óleo de babaçu girava em torno de 130 mil toneladas, sendo o principal item de pauta de exportação do estado, Rocha (1993).

Na década de 80, o avanço da produção de soja no Brasil em bases extremamente competitivas iniciou um processo de migração da demanda por óleos comestíveis em favor desta. Na década seguinte, o processo de abertura da economia brasileira resultou na redução das alíquotas de exportação dos óleos láuricos. Produtos oriundos do sudeste asiático, com preços extremamente competitivos, iniciaram uma forte concorrência no mercado brasileiro, restringindo ainda mais a demanda por óleo de babaçu. O resultado deste processo foi a falência de várias esmagadoras, com a redução significativa do parque industrial de óleos maranhense, Rocha (1993).

Enquanto a estrutura industrial se alterou significativamente nas duas últimas décadas, a estrutura de produção do babaçu continuou fundamentada no sistema extrativista da coleta e quebra do coco. A comercialização de amêndoas constituía-se em uma fonte de complementação de renda para as populações rurais do Estado do Maranhão.

O mercado brasileiro de óleos láuricos constitui-se atualmente no principal nicho para o óleo de babaçu. As indústrias dos seguimentos de higiene, limpeza e cosméticos absolvem cerca de 35 mil toneladas anuais de óleo de babaçu bruto.

Além do mercado de láuricos, o babaçu começou a adquirir importância para algumas empresas da indústria siderúrgica, interessadas na possibilidade de utilização do coco carbonizado como carvão vegetal, em substituição ao carvão oriundos das matas nativas. Ainda incipiente, este mercado tem um potencial para revitalizar a economia babaçueira no Estado do Maranhão.

Segundo Zanatti (2002), o Ministério da Ciência e Tecnologia criou um programa específico para o biodiesel com a participação da Associação Brasileira de óleos Vegetais, Petrobrás e Centros de Pesquisa. O biodiesel pode ser utilizado em motores estacionários para geração de eletricidade e irrigação de lavouras. A tecnologia brasileira para utilização de óleo de coco babaçu como combustível vem despertando o interesse nacional em termos de energia alternativa em função do elevado preço do óleo derivado do petróleo.

2.2 Sistemas Pneumáticos

Os sistemas pneumáticos são sistemas que utilizam o ar comprimido para desenvolver uma força para mover ou sujeitar um objeto, ou para controlar uma ação. Esse ar, porém, necessita ser colocado em determinadas condições apropriadas para sua utilização. São elas: pressão adequada conseguida com a utilização de compressores e, qualidade com o uso de purgadores, secadores e filtros.

Estes sistemas servem pára substituir o operador direto; portanto, conforme uso, reduz a fadiga, acelera a operação ou a automatiza parcial ou totalmente.

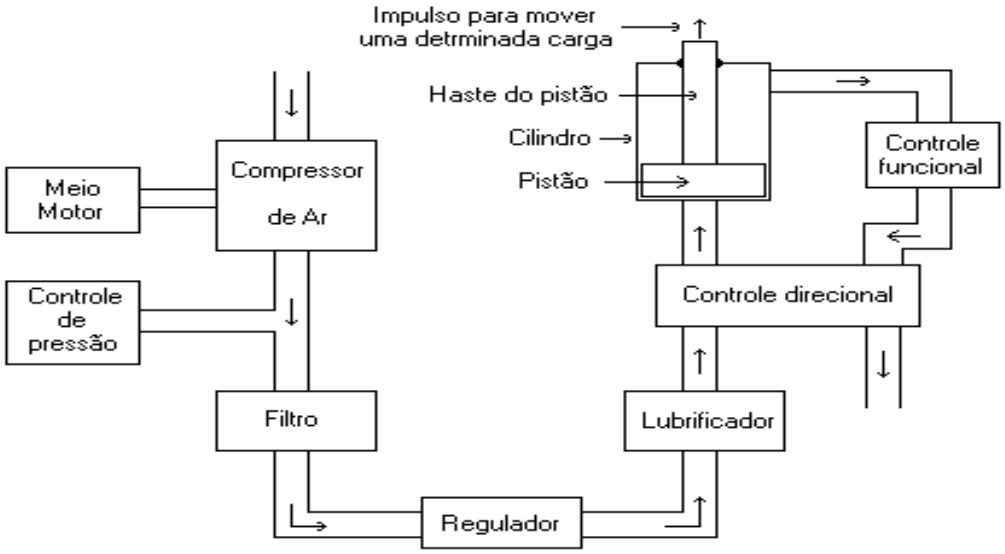

Figura 2.6 – Sistema pneumático básico, Stewart (1999)

O sistema indicado (Fig 2.6) mostra que o ar da atmosfera flui para a entrada do compressor de ar. O compressor de ar aumenta a pressão do ar; na saída de descarga do

compressor, a pressão do ar pode ser quase 90 libras por polegada quadrada maior que a pressão atmosférica. O compressor de ar pode ser movido por um motor elétrico ou por um motor de combustão interna. Uma válvula de alívio na descarga do compressor é usada para evitar pressões perigosamente altas. Um filtro no sistema remove a sujidade do ar. Um lubrificante no circuito acrescenta um pouco de óleo ao ar que passa, e lubrifica qualquer superfície deslizante, como as superfícies do pistão e do cilindro. O ar comprimido age no pistão de modo a desenvolver uma força sobre a haste daquele, para mover um dispositivo ou uma carga.

O uso de ar comprimido apresenta certas vantagens. Um dispositivo a ar nunca apresenta riscos de faíscas em atmosferas explosivas e deve ser usado em ambientes úmidos para evitar o risco de choque elétrico. O ar é prontamente disponível, uma vez que o ar comprimido pode ser armazenado em um tanque para usos eventuais; um pequeno compressor pode ser utilizado para encher um tanque de armazenamento para uso intermitente, e não são necessárias linhas de retorno, Stewart (1999).

As instalações de ar comprimido apresentam grandes oportunidades de economia de energia, desde que se empregue um projeto adequado, com a forma correta de operação, e a implantação de um programa de manutenção eficiente. Algumas medidas importantes, podem ser adotadas:

- posicionar o ponto de captação do ar a ser comprimido, em local de baixa incidência de calor. Um acréscimo de 5°C na temperatura do ar aspirado implica em aumento do consumo de energia da ordem de 1%;
- escolher um tipo de compressor adequado às necessidades do processo produtivo, devendo-se verificar, por exemplo, a possibilidade de utilizar compressores com múltiplos estágios de compressão;
- empregar "reguladores" para operação automática de compressores, permitindo que o motor seja desativado sempre que houver longos períodos sem consumo de ar. Ressalva-se que atualmente existem motores que ligam e desligam automaticamente;

- manutenção adequada em toda linha de distribuição e equipamentos utilizadores de ar comprimido, dando especial atenção aos cilindros pneumáticos e suas válvulas de controle, pois a maior causa do desperdício de energia nesses sistemas é devido aos vazamentos.

Para referência da importância do controle de vazamentos, a tabela 2.1 mostra a energia perdida por vazamentos em uma rede de ar comprimido que opera a 7 bar de pressão durante 6000 horas por ano. CP Componentes, (2003).

Tabela 2.1 – Quantidade de energia perdida por vazamentos em uma rede de ar comprimido, CP Componentes (2003)

Diâmetro furo (mm)	**Perda** $\left(\mathrm{l.min^{-1}}\right)$	**Potência perdida (KW)**	**Consumo anual (KWh)**
0,8	12	0,1	600
1,5	186	1,0	6 000
3,0	660	3,5	21 000
6,0	2750	15,0	90 000

2.3 Produção de Ar Comprimido

A geração de ar comprimido pode ser feita com diversos tipos de compressores que promovem resultados diferentes entre si e estão , sujeitos a leis físicas e matemáticas imutáveis, tendo ainda como matéria prima o ar atmosférico. Ocorre que este ar é composto de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e outros gases secundários em pequena escala. Porém, misturados a esta camada de aproximadamente 50 km de espessura, temos uma série de outras moléculas de origem diversa como, poluentes industriais, dos motores dos veículos, gases e partículas de combustão geral, poeiras e microorganismos. Temos também grande quantidade de água no estado gasoso, variável na sua proporção de acordo com a região e condições climáticas. O ar, como vimos no item 3.2, é ainda altamente vulnerável ao aumento de temperatura.

Os fatores mecânicos e construtivos dos compressores, somados às características do ar atmosférico, provocam uma perda de rendimento volumétrico do ar comprimido. Esta perda é de 40% nos compressores de 1 estágio e de 30% nos de 2 estágios.

Portanto:

- Hum estágio – baixa pressão – 80 a 120 psi – perda de volume 40%
- Dois estágios – alta pressão – 135 a 175 psi- perda de volume 30%

Para o correto dimensionamento de um compressor, os fatores mais importantes a serem considerados são a vazão e a pressão (volume e força do ar). No caso dos compressores de pistão, devemos levar em consideração o regime de intermitência que informa a relação de tempo que um compressor fica parado ou em funcionamento.

Como vimos, o tipo de compressor a ser empregado é função da pressão de trabalho e volume. Basicamente, existem dois processos de compressão de ar utilizados em compressores:

a) Processo de redução de volume - compressores alternativos;

b) Processo de aceleração de massa (fluxo) – compressores dinâmicos.

Nos compressores volumétricos ou de deslocamento positivo, o aumento da pressão é conseguido com a redução do volume ocupado pelo ar. O ciclo de funcionamento dessas máquinas ocorre da seguinte forma: inicialmente, uma certa quantidade de ar é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução de volume. Finalmente, a câmara é aberta e o ar liberado para consumo. Trata-se, assim, de um processo intermitente, no qual a compressão é feita em um sistema fechado, sem qualquer contato com a sucção e a descarga. O ciclo de funcionamento de cada máquina dessa espécie é função das características específicas de cada uma.

Os turbo compressores ou compressores dinâmicos possuem dois órgãos principais: impelidor e difusor. O impelidor é um órgão rotativo munido de pás que transfere ao ar a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz em parte no forma cinética e em outra parte na forma de entalpia. Posteriormente, o escoamento estabelecido no impelidor é recebido por um órgão fixo denominado difusor, cuja função é promover a

transformação da energia cinética do ar em entalpia, com conseqüente aumento de pressão. Estes compressores efetuam o processo de compressão de forma contínua, o que corresponde, em termodinâmica a um volume de controle.

2.3.1 Compressores Alternativos

Esse tipo de compressor utiliza-se de um sistema biela-manivela para converter o movimento rotativo de um eixo no movimento translacional de um êmbolo ou pistão.

Dessa maneira, a cada rotação do acionador, o pistão efetua um percurso de ida e outro de vinda na direção do cabeçote, estabelecendo um ciclo de operação. O entendimento de seu princípio funcional é simples, como mostra a figura 3.2 (compressor de um estágio).

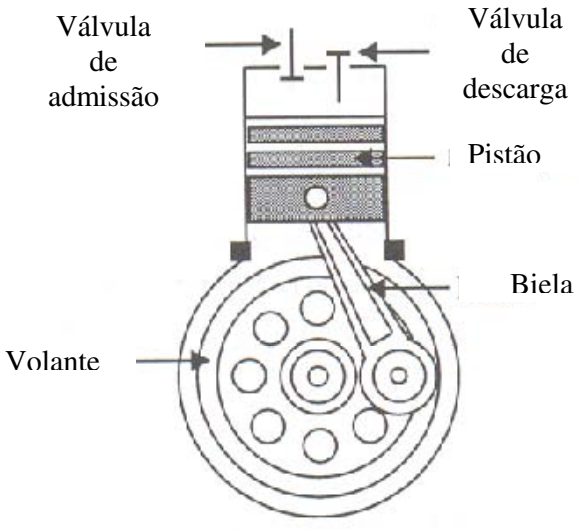

Figura 2.7 – Principio funcional do compressor alternativo,
Fialho (2003)

O funcionamento de um compressor alternativo está intimamente ligado ao comportamento das válvulas. Elas possuem um elemento móvel denominado obturador, que funciona como um diafragma, comparando as pressões interna e externa do cilindro. O obturador da válvula de sucção se abre para dentro do cilindro quando a pressão na tubulação de sucção supera a pressão interna do cilindro, e se mantém fechado em caso contrário. O obturador da válvula de descarga se abre para fora do cilindro quando a pressão interna supera a pressão na tubulação de descarga, e se mantém fechada na situação inversa. As

etapas do ciclo de funcionamento do compressor alternativo estão indicadas na figura 2.8, em seguida descritas:

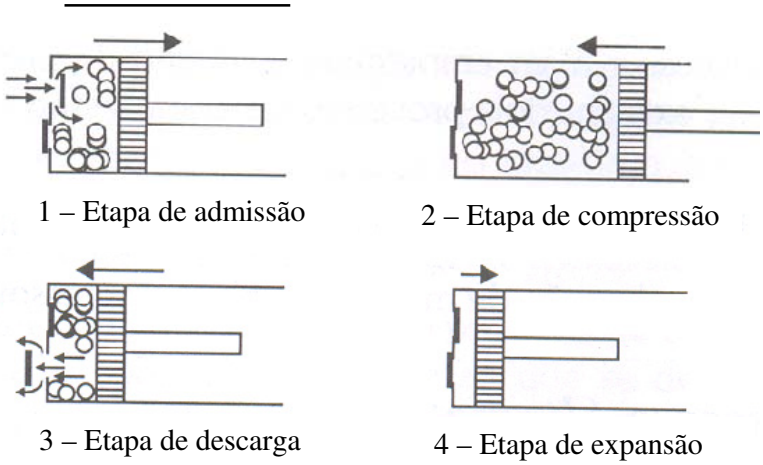

Figura 2.8 Ciclo de um compressor alternativo,
Fialho (2003)

- **Etapa de admissão** - nessa etapa o pistão se movimenta em sentido contrário ao cabeçote, fazendo com que haja uma tendência de depressão no interior do cilindro que propicia a abertura da válvula de sucção. O ar é então aspirado.
- **Etapa de compressão** - Ao inverter o sentido de movimentação do pistão, a válvula de sucção se fecha e o ar é comprimido até que a pressão interna do cilindro seja suficiente para promover a abertura da válvula de descarga.
- **Etapa de descarga –** quando a válvula de descarga se abre, a movimentação do pistão faz com que o gás seja expulso do interior do cilindro. Essa etapa somente termina quando o pistão encerra o seu movimento no sentido do cabeçote.
- **Etapa de expansão –** na etapa de descarga, nem todo o ar comprimido anteriormente é expulso do cilindro. A existência de um espaço morto, entre o cabeçote e o pistão no ponto final do deslocamento deste, faz com que a pressão no interior do cilindro não caia instantaneamente quando se inicia o curso de retorno. Nesse momento, a válvula de descarga se fecha, mas a de admissão só se abrirá quando a pressão interna cair o suficiente para o permitir.

Verificamos, então, que devido ao funcionamento automático das válvulas, o compressor alternativo aspira e descarrega o ar, respectivamente, nas pressões instantaneamente reinantes na tubulação de sucção e na tubulação de descarga. Quando necessitamos de pressões maiores que 4 bar, recorremos a compressores de dois ou mais estágios, conforme figura 2.9 e tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Relação Pressão x Nº de Estágios para compressores, CP Componentes (2003)

PRESSÃO	Nº DE ESTÁGIOS
Até 400 KPa (4 bar)	1
De 400 a 1500 KPa (15 bar)	2
De 1500 a 15000KPa (150 bar)	3 ou mais

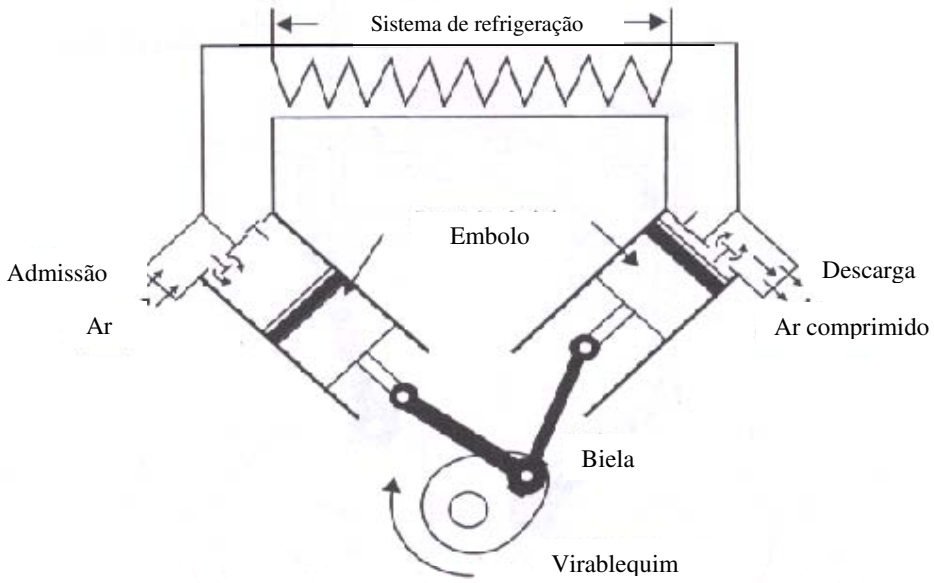

Figura 2.9 - Compressor de dois estágios, Fialho (2003)

2.3.1.1 Compressor de Simples Ação

Os compressores de um ou vários estágios, são compressores de simples ação em função de obterem a compressão do ar somente quando o êmbolo realiza seu movimento ascendente.

2.3.1.2 Compressor de Dupla Ação

Estes compressores possibilitam a compressão do ar em ambos os sentidos de deslocamento do êmbolo. Possuem maior eficiência que os de simples ação, pois comprimem maior volume de ar por unidade de tempo, como mostra a figura 2.10.

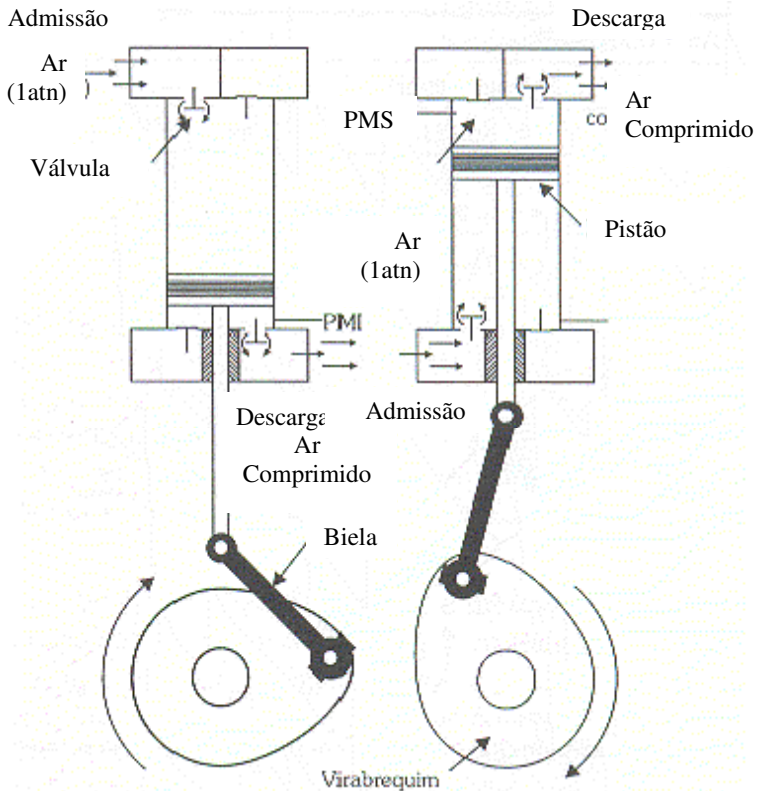

Figura 2.10 - Admissão e descarga de um compressor de dupla ação, Fialho (2003)

2.4 Distribuição de Ar Comprimido

A instalação de uma rede de ar comprimido não apenas em nível industrial, mas para qualquer que seja a utilização, requer determinados cuidados que vão desde a localização da central geradora (compressores), sistema de arrefecimento, dimensionamento da rede, sistemas de montagem da rede, tratamento do ar e identificação conforme normas.

2.5 Características para escolha de um compressor

Algumas características importantes devem ser observadas quando da escolha de um compressor:

2.5.1 Volume de ar fornecido (Efetivo)

É a quantidade total em m^3 de ar que pode ser fornecida pelo compressor, quando em atividade máxima. Representa o valor que efetivamente será utilizado para o acionamento e comando dos diversos automatismos pneumáticos. Seu valor é função do rendimento do compressor, que varia de acordo com cada tipo de compressor.

2.5.2 Pressão

Esta característica é de suma importância, pois é responsável pela força desenvolvida pelos atuadores e, classificamos em dois tipos:

a) Pressão de Regime

É a pressão com a qual o ar se encontra armazenado no reservatório e, se distribui por toda linha, alimentando todos os pontos de utilização. Seu uso direto nos automatismos é desaconselhado devido às freqüentes flutuações por causa da temperatura.

b) Pressão de Trabalho

É a pressão necessária ao acionamento dos diversos automatismos, sendo menor que a pressão de regime. Seu valor é obtido usando-se uma válvula redutora de pressão.

2.5.3 Acionamento de Compressores

A escolha é feita em função da necessidade, ou seja, ambiente em que ele será instalado. O acionamento pode ser feito por motor elétrico ou por motor a explosão (diesel ou biodiesel e gasolina). As figuras 2.11 e 2.12, mostram, respectivamente, acionamento a motor elétrico e acionamento a motor de explosão de compressores alternativos.

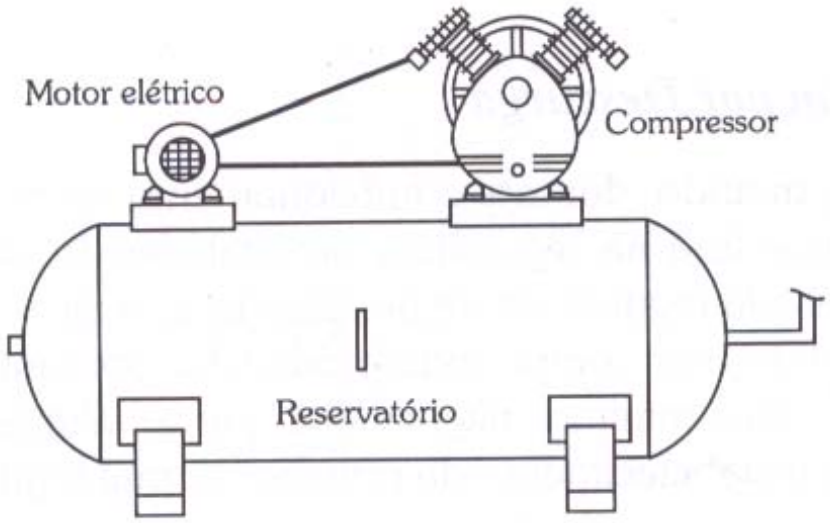

Figura 2.11 - Compressor alternativo à motor elétrico, Fialho (2003)

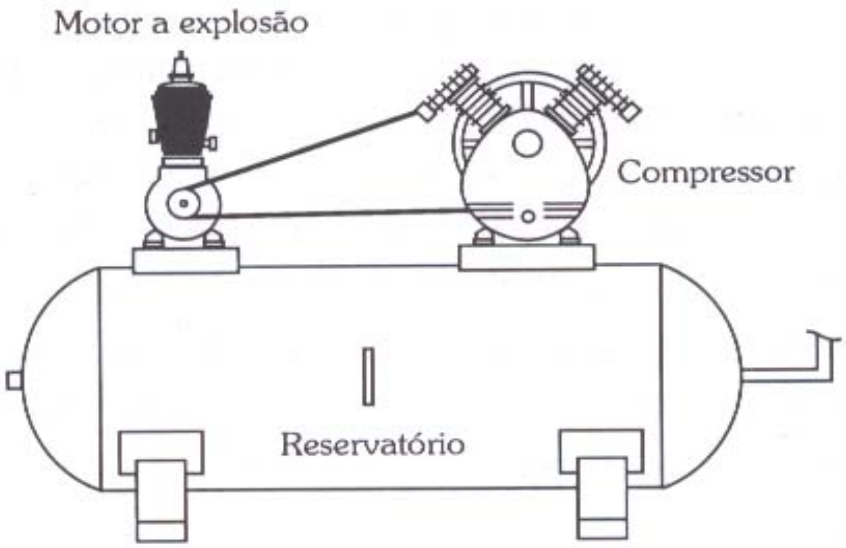

Figura 2.12 Compressor alternativo à motor a explosão, Fialho (2003)

2.6 Atuadores Pneumáticos

São elementos mecânicos que por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão, em energia mecânica, produzindo trabalho, Bollmann (1998).

2.6.1 Atuadores Pneumáticos Lineares

Estes atuadores são conhecidos também como cilindros pneumáticos e são constituídos por um tubo cilíndrico, tendo uma de suas extremidades fechada por uma tampa, a qual contém uma conexão que serve para admissão e exaustão do ar, e na outra extremidade, outra tampa com igual característica, porém dotada de um furo central pelo qual se movimenta uma haste que, na extremidade interna ao cilindro possui um êmbolo com vedação que pela ação do ar expandindo-se no interior do tubo cilíndrico, possibilita um movimento de expansão ou retração dessa haste. Os atuadores pneumáticos são regidos por normas internacionais tais como:

- ISO 6431 e 6432
- DIN ISO 6431 e VDMA 24562

O cilindro pneumático é um acionador linear que transforma a pressão da fonte de ar comprimido em movimento e força linear. A força disponível é função da pressão de ar e da área de seção do êmbolo, Fialho (2003).

2.6.1.1 Atuadores lineares de simples ação

São atuadores cujo movimento de retração ou expansão é feito pela ação de uma mola interna ao tubo cilíndrico, conforme figura 2.13, podendo ainda ter retorno por força externa. O funcionamento destes atuadores parte do comando de uma válvula controladora direcional que, ao ser acionada, permite que o ar comprimido provindo da linha de alimentação seja injetado através de uma mangueira, elevando-se a pressão na câmara posterior até o ponto de superar a força exercida pela mola, provocando o avanço da haste. Enquanto a válvula permanecer acionada, a pressão do ar continuará atuando no interior do cilindro pneumático, mantendo assim a haste distendida. Somente com o desligamento da válvula é que o fluxo de ar para o interior do atuador será cessado, servindo agora a mesma conexão para exaustão do ar, em função da força restauradora da mola.

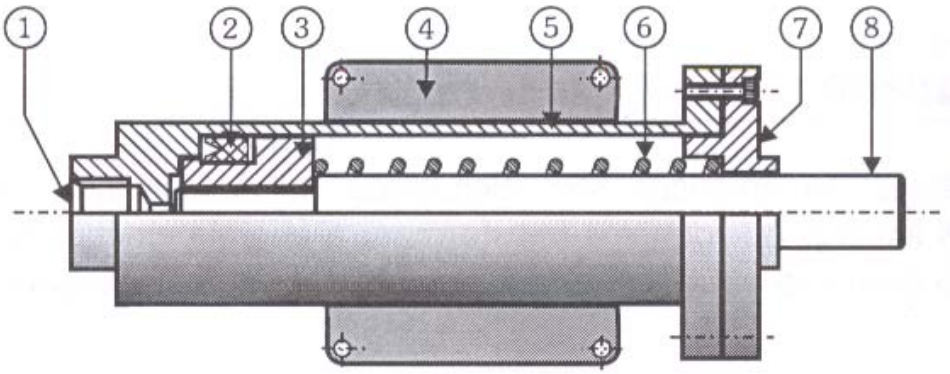

Figura 2.13 - Atuador linear de simples ação com retorno por mola, Fialho (2003)

2.6.1.2 Atuadores lineares de dupla ação.

São atuadores em que a alimentação e exaustão ocorrem por conexões localizadas em ambas extremidades do atuador. Em estado normalmente não acionado, o atuador que é comandado por uma válvula controladora direcional é mantido recuado em função do ar que mantém preenchida sua câmara frontal. Ao ser comutada uma válvula controladora, será permitido que o ar comprimido provindo da linha de alimentação seja injetado através de uma conexão, elevando-se a pressão na câmara traseira até o ponto superior as forças de atrito e a que estiver se opondo ao movimento da haste, provocando com isso sua extensão. Enquanto a válvula controladora permanecer acionada, a pressão do ar continuará atuando no interior do cilindro pneumático, mantendo assim a haste distendida,. Somente quando a válvula é comutada novamente para o sentido oposto é que o fluxo de ar para o interior da câmara traseira do atuador é cessado, servindo agora, a mesma conexão para a exaustão do ar, enquanto o ar provindo da linha passa a ser insuflado pela conexão à câmara frontal, provocando com isso o retorno da haste. Conforme mostram as figuras 2.14 e 2.15.

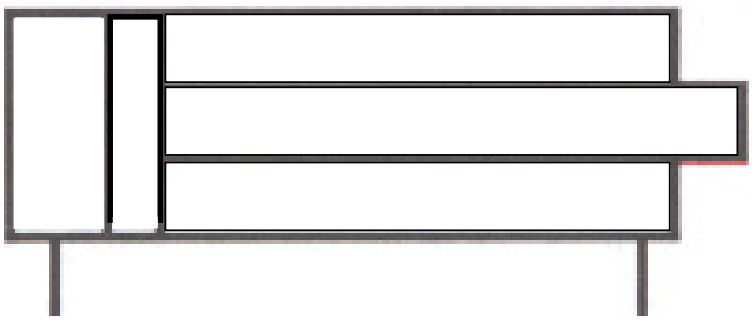

Figura 2.14 - Representação simbólica do atuador linear de duplo efeito, Festo (1988)

2.6.1.3 Atuadores duplex geminados

É um tipo de atuador utilizado para atender grandes deslocamentos e deslocamentos escalonados, sem a necessidade de aplicação de força elevada tendo assim, diâmetro reduzido da camisa. Este consiste em dois atuadores de duplo efeito montados um de costa para o outro, sem a necessidade de ter mesmo diâmetro e comprimento.

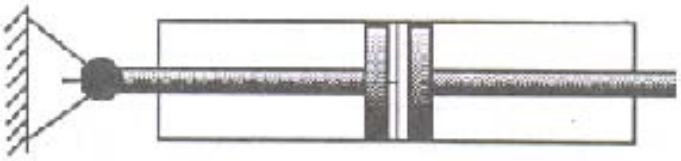

Figura 2.15 Atuador duplex geminado, Fialho (2003)

2.6.1.4 Atuador linear de alto impacto

Este tipo de atuador é um modelo especial prolongado em uma câmara de reserva ou reservatório, com uma grande válvula de passagem. O efeito consiste em que, após o aumento de pressão no reservatório, o ar passa rapidamente ao cilindro e determina uma grande velocidade de operação.

Em conseqüência, o movimento do cilindro pode dar lugar a um esforço de impacto cuja energia será 200 vezes a de um cilindro convencional com a mesma pressão. A figura 2.16 mostra o projeto básico de um cilindro de impacto. O seu princípio funcional consiste: quando disparado o atuador, o ar comprimido inicialmente acessa a pré-câmara (A) e, uma vez que a

área do orifício de ligação (B) é relativamente menor que a área interna da própria pré-câmara (A), e ainda, inicialmente o orifício encontra-se bloqueado pela ponta traseira da haste (D), a pressão do ar irá elevar-se na pré-câmara, até que a força desenvolvida possa vencer as forças opostas, fazendo com que o conjunto haste + êmbolo inicie rápido movimento, distendendo-se e gerando grande quantidade de energia cinética.

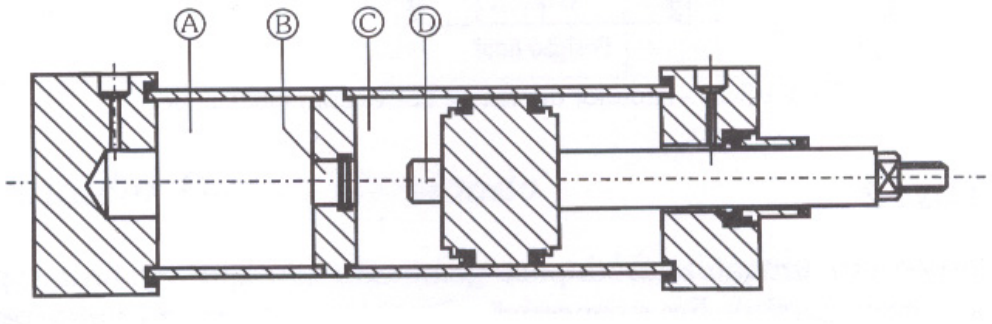

Figura 2.16 Atuador pneumático de alto impacto, Stewart (1999)

2.7 Válvulas

As válvulas dos sistemas pneumáticos são fabricadas nas mais variadas medidas que abrangem funções relacionadas com a direção, vazão e pressão do ar comprimido. As características das válvulas podem ser estudadas do ponto de vista da função, do modo de operação, do comportamento aerodinâmico e da construção. Também são importantes os métodos de montagem e a forma das conexões, embora na realidade se trate de características construtivas, Fialho (2003).

2.7.1 Válvula de controle direcional

A função desta válvula é de dirigir o ar para as várias partes do sistema de maneira que ele possa realizar trabalho, sendo que o fluxo do ar para os diversos elementos do sistema é controlado através de processo mecânico ou elétrico. Quatro categorias diferentes de válvulas de controle direcional são utilizadas nos sistemas pneumáticos., Fialho (2003).

2.7.1.1 Válvula distribuidora de uma via

É o tipo mais comum de distribuidor que existe, pois contém apenas dois orifícios e uma única via, como mostra a figura 2.17.

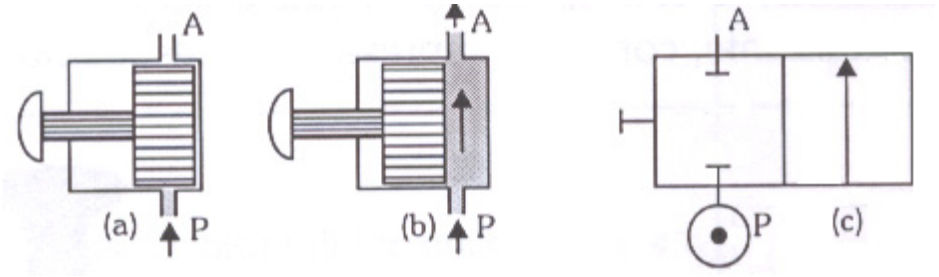

Figura 2.17 - Válvula distribuidora de uma via, Fialho (2003)

Na situação (a) não há nenhuma possibilidade de comunicação entre os orifícios P e A . Já na situação (b), após ter sido acionado o botão, passa a haver comunicação entre os orifícios P e A. Essa concepção especifica é normalmente utilizada como chave geral, permitindo ou bloqueando o fluxo de ar no sistema como um todo, ou em parte dele.

2.7.1.2 Válvula distribuidora de duas vias

Este tipo de válvula consiste de dois orifícios, um que deixa o ar entrar e outro que deixa o ar sair, figura 2.18. Cada orifício é ligado a uma passagem interna. Em certo ponto da operação dessas válvulas, as duas passagens são ligadas; em outro ponto, são desligadas. Estas válvulas são normalmente abertas ou normalmente fechadas; no primeiro caso, o atuador estar em sua posição normal e, o orifício de entrada e sua passagem estão fechados para o orifício e a passagem de saída; no segundo caso, para ligar as duas passagens o operador da válvula deve aciona-la.

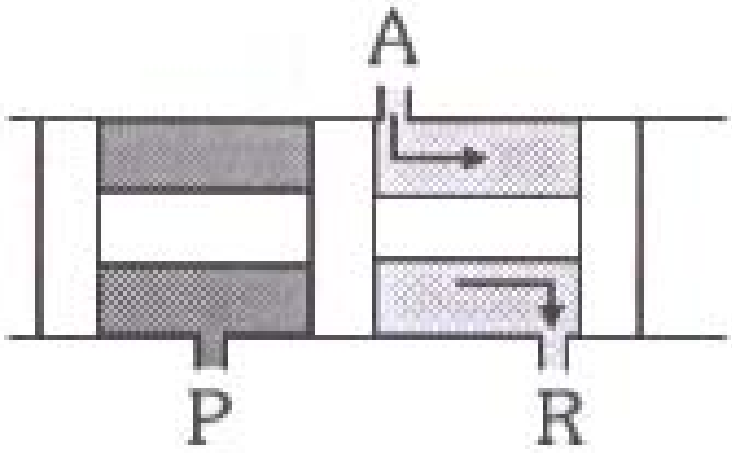

Figura 2.18 - Válvula distribuidora de duas vias, Fialho (2003)

2.7.1.3 Válvula distribuidora de três vias

Em sua composição ela possui três orifícios e três passagens internas. Um dos orifícios permite que o fluido entre na válvula e um outro orifício deixa o ar sair da válvula e passar por algum meio de operação. O terceiro orifício permite que o ar seja exaurido. Em uma das posições do atuador, a passagem de entrada é ligada à passagem do cilindro, e a passagem de exaustão é bloqueada. Na outra posição do atuador, a passagem do cilindro é ligada à passagem de exaustão, e a passagem de entrada é bloqueada. Existem também válvulas de três vias com dois orifícios de entrada e um orifício de saída. A figura 2.19 mostra esta configuração.

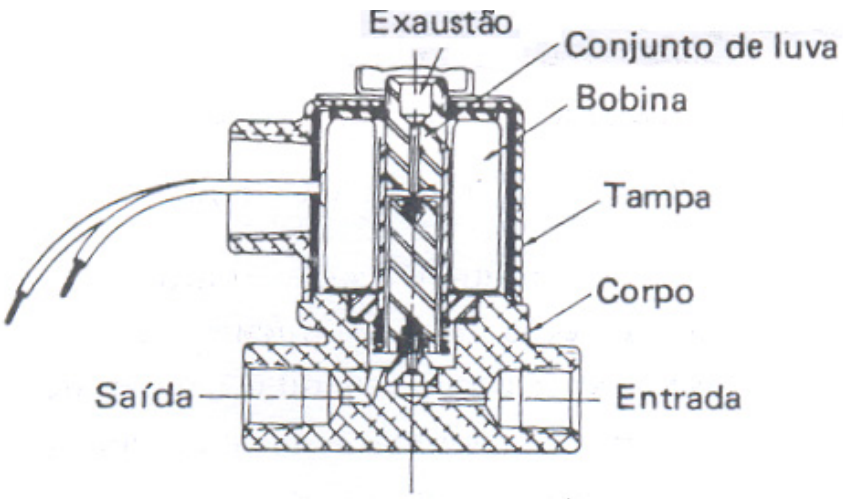

Figura 2.19 – Válvula distribuidora de três vias, Stewart (1999)

2.7.1.4 Válvula distribuidora de quatro vias

Uma válvula de quatro vias possui quatro orifícios e quatro passagens internas. Nesta, um orifício recebe o ar; um outro orifício permite que o ar seja exaurido e é conhecido como orifício de exaustão; os outros dois orifícios dirigem o ar para o cilindro. Essas válvulas são usadas normalmente para acionar cilindros de ação dupla e para acionar grandes válvulas de quatro vias a piloto.

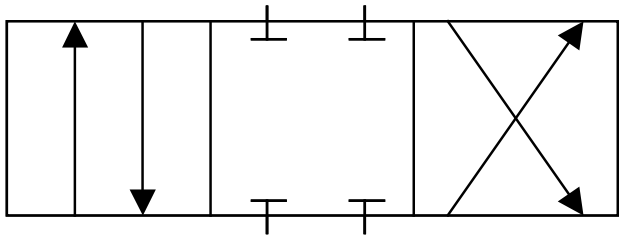

Figura 2.20 - Válvula distribuidora de quatro vias e três posições, Festo (1988)

2.7.2 Válvulas controladoras de fluxo

Sua função é controlar o fluxo de ar que alimenta um determinado componente do circuito, em geral os atuadores pneumáticos. Controlar, portanto o volume de fluido na unidade de tempo, significa controlar a velocidade, pois a velocidade de um atuador é diretamente proporcional ao fluxo. Elas podem ser do tipo fixa ou variável, unidirecional ou bidirecional. As figuras 2.21, 2.22 e 2.23 mostram suas representação esquemática.

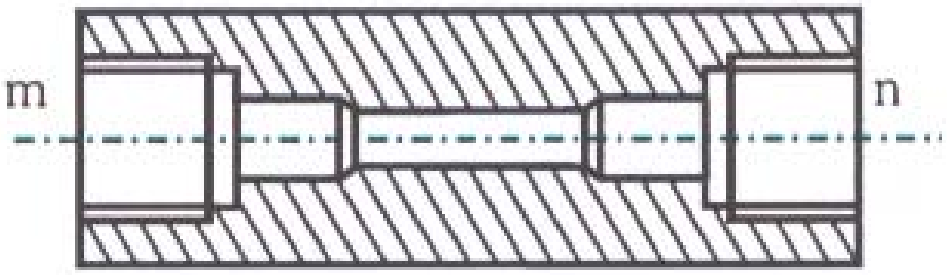

Figura 2.21 - Válvula de controle de fluxo variável unidimensional , Fialho (2003)

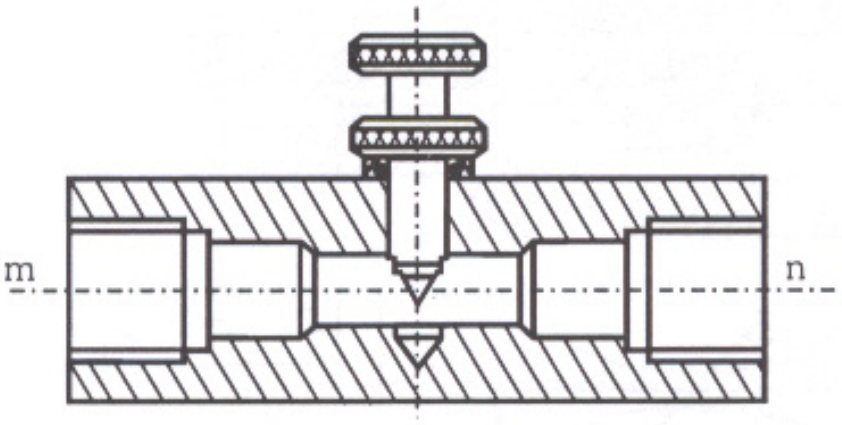

Figura 2.22 - Válvula de controle de fluxo variável bidimensional, Fialho (2003)

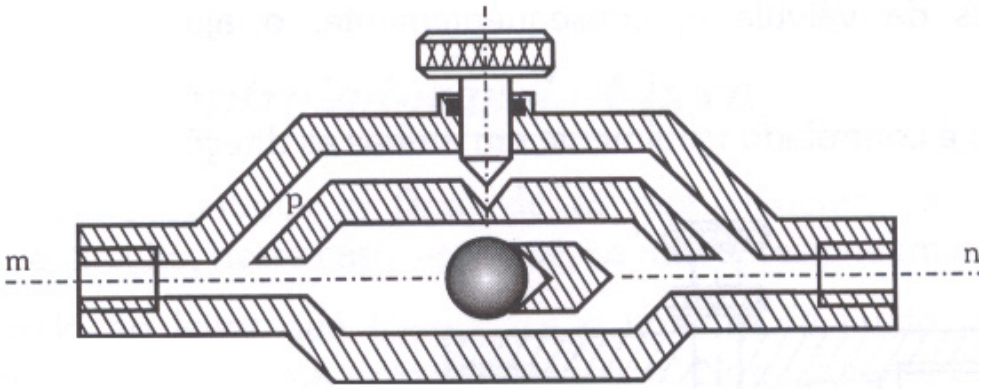

Figura 2.23 - Válvula de controle de fluxo fixa bidimensional, Fialho (2003)

2.7.3 Válvulas de bloqueio

Neste tipo de válvula, um elemento de vedação em seu interior é fixo a uma mola, permitindo o fluxo do ar em um sentido e bloqueando-o no outro. O bloqueio e exercido pela força de expansão da mola que mantém o elemento de vedação constantemente fechado a passagem em um dos sentidos. A figura 2.24, mostra o desenho esquemático de uma válvula deste tipo. Podemos ter válvulas de bloqueio sem mola que usam elemento de retenção interna ativado pela própria pressão do ar, conforme figura 2.25.

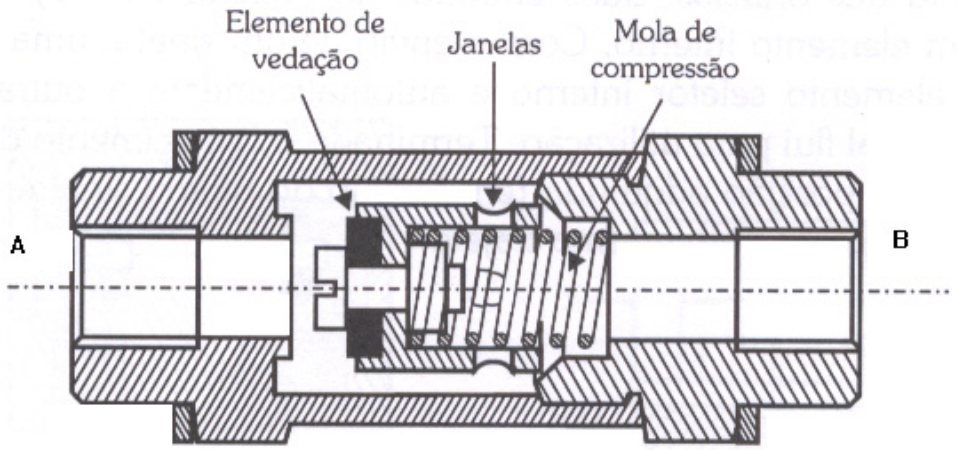

Figura 2.24 – Válvula de bloqueio com mola, Fialho (2003)

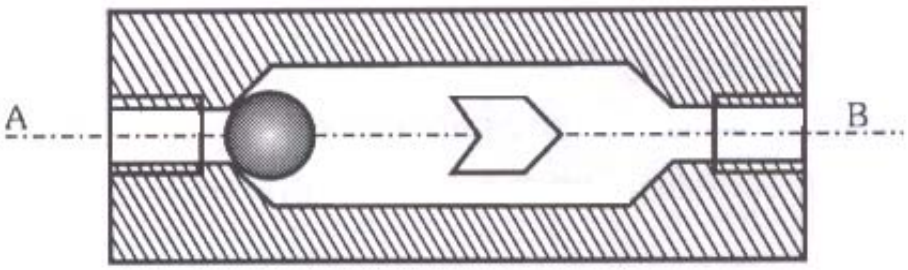

Figura 2.25 – Válvula de Bloqueio sem Mola, Fialho (2003)

2.7.4 Válvulas controladoras de pressão

São válvulas que influenciam ou sofrem influência em relação a uma determinada intensidade de pressão. Sua função é limitar a pressão máxima de um reservatório, linha de ar comprimido ou compressor.

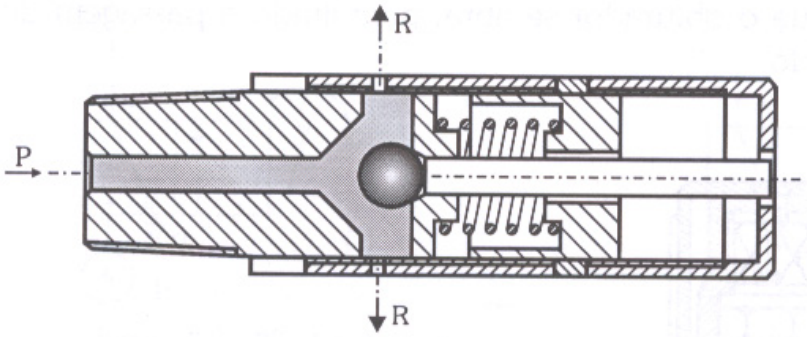

Figura 2.26 – Válvula de alivio, Fialho (2003)

2.8 Demanda de ar comprimido

O consumo de ar dos dispositivos pneumáticos baseia-se normalmente em dados empíricos. Para os dispositivos de deslocamento positivo, como os acionadores lineares, calcula-se o consumo de ar teoricamente, mas a demanda real depende do fator de tempo e do fator de trabalho.

O fator de tempo refere-se ao período durante o qual o aparelho estiver em uso. Assim, as ferramentas são mais de uso intermitente que contínuo e o fator de trabalho pode basear-se na observação durante um período adequado de atividade. No caso dos acionadores lineares ou dispositivos ligados a um ciclo de operação, o fator de tempo pode ser estabelecido de forma mais precisa à base de estudos de movimentos e tempos ou calculados a partir de tempo do ciclo.

É de suma importância conhecer o consumo de ar da instalação para poder produzí-lo e para saber quais as despesas de energia. Em uma determinada pressão de trabalho, num determinado diâmetro de cilindro e num determinado curso, calcula-se o consumo de ar como segue:

A relação de compressão $\frac{p_2}{p_1}$ será calculada da seguinte forma:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1{,}013 + \text{pressao de trabalho (bar)}}{1{,}013} \qquad (2.1)$$

Observação: Relação baseada ao nível do mar.

O consumo de ar pode ser determinado de forma mais simples e rápida, usando-se a tabela **Ambientes Secundários**. Os valores são por cm de curso para os diâmetros de cilindros usuais e para pressões de 1 a 15 bar. O consumo de ar é dado em litros por minuto (ar aspirado).

Calculamos o consumo de ar utilizado por um Cilindro de Simples Ação e, por um Cilindro de Dupla Ação com os seguintes modelos, respectivamente. CP Componentes, (2003).

$$Q = s \cdot n \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \qquad \text{(Simples Ação);} \qquad (2.2)$$

$$Q = \pi \cdot \left[\frac{D^2}{4} + \frac{(D^2 - d^2)}{4} \right] \cdot s \cdot n \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \qquad \text{(Dupla ação).} \qquad (2.3)$$

O consumo de ar comprimido empregando o diagrama **Ambientes Secundários** é calculado da seguinte forma :

a) Cilindro de Simples Ação

$$Q = (s.n.q) \qquad (2.4)$$

b) Cilindro de Dupla Ação

$$Q = 2.(s.n.q) \qquad (2.5)$$

Tabela 2.3 – Ambientes Secundários, CP Componentes (2003).

Diâmetro do Pistão (mm)	**Lado anterior** (cm^3)	**Lado posterior** (cm^3)
12	1	0,5
16	1	1,2
25	5	6
35	10	13
50	16	19
70	27	31
100	80	88
140	128	150
200	425	448
250	2.005	2.337

A capacidade do compressor e o consumo de ar de uma instalação de ar comprimido é usualmente medida em pés cúbicos de ar livre por hora (scfh) ou por minuto (scfm), decímetros cúbicos por segundo $\left(dm^3 / s\right)$ ou normais metros cúbicos por hora $\left(Nm^3 / h\right)$.

A fórmula para o cálculo do consumo de ar instantâneo é utilizada para o dimensionamento de válvulas e de filtro-regulador-lubrificador e é descrita como:

a) Fórmula para vazão em pés cúbicos de ar livre por minuto (scfm)

$$Qi = 0{,}0273 \cdot \left(\frac{Di^2 \cdot L}{t}\right) \cdot \left(\frac{p + 14{,}7}{14{,}7}\right) \tag{2.6}$$

b) Fórmula para vazão em decímetros cúbicos por segundo $\left(dm^3 / s\right)$

$$Qo = 0{,}000000785 \cdot \left(\frac{Do^2 \cdot Lo}{t}\right) \cdot \left(\frac{p_2 + 1{,}013}{1{,}013}\right) \tag{2.7}$$

Capitulo 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Modelo da Força Média de Impacto

Apresentamos a modelagem para que possamos encontrar a força média de impacto que será usada no cálculo da pressão de trabalho dos atuadores.

Consideremos, inicialmente, a seguinte configuração mostrada conforme figura 3.1, sendo que a mesma mostra a vista de frente do dispositivo de teste que é constituído por três partes fundamentais: calha vertical com guia interna, bloco de impacto e base com cavidade rasa para colocarmos o coco babaçu.

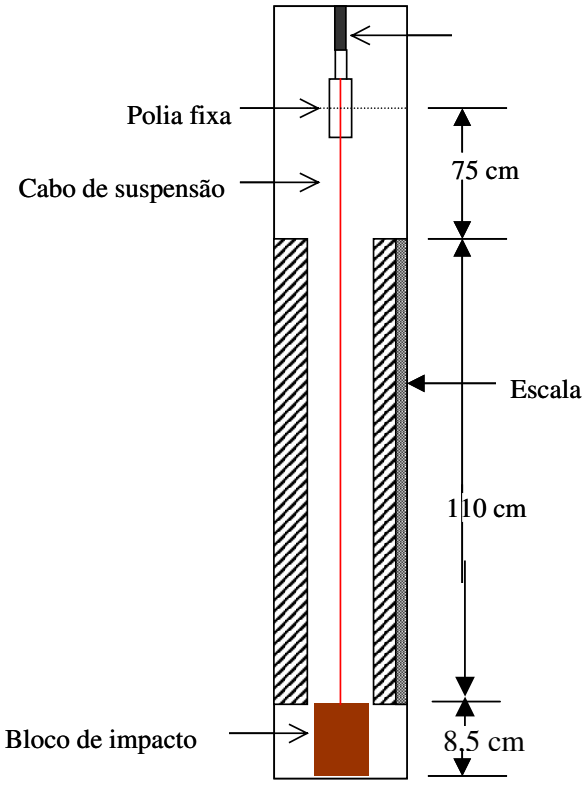

Figura 3.1 – Vista frontal do dispositivo de impacto

O experimento consiste em colocarmos o coco na base da calha. A seguir, posicionamos o bloco de impacto a uma certa altura de onde o mesmo será abandonado em queda livre com o objetivo de aplicar uma força de impacto no coco, deformando-o. Testes serão realizados alterando-se o valor da altura de queda do bloco até encontrarmos a força de impacto capaz de quebrar o coco sem danificar a amêndoa totalmente.

O cálculo da velocidade, com que o bloco de impacto atinge o coco, e a deformação sofrida pelo mesmo serão realizados através do balanceamento energético antes e após a colisão do bloco de impacto com o coco. Considerando o sistema como sendo conservativo, vamos fazer o balanço energético tomando como referência às posições A, B e C, do início ao fim do movimento, onde:

- Posição A – local de onde o bloco de impacto será posto em queda livre;
- Posição B – superfície superior do coco localizado sobre a calha do dispositivo de impacto;
- Posição C – superfície superior do coco após a deformação.

PRIMEIRO PASSO:

Energia mecânica no ponto A = Energia mecânica no ponto B

$$m_{bloco} \cdot g \cdot (h_0 + \Delta y) = m_{bloco} \cdot g \cdot \Delta y + \frac{1}{2} \cdot m_{bloco} \cdot v_B^2 \quad \Rightarrow$$

$$g \cdot (h_0 + \Delta y) = g \cdot \Delta y + \frac{1}{2} \cdot v_B^2 \quad \Rightarrow$$

$$v_B = \sqrt{2.g.h_0} \tag{3.1}$$

onde v_B representa a velocidade de impacto do bloco sobre o coco babaçu.

SEGUNDO PASSO:

Energia mecânica no ponto A = Energia mecânica no ponto C

$$m_{BLOCO} \cdot g \cdot (h_0 + \Delta y) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta y^2 \quad \Rightarrow$$

$$k = \frac{2 \cdot m_{BLOCO} \cdot g \cdot (h_0 + \Delta_y)}{\Delta_y{}^2 34} \tag{3.2}$$

Sendo que os valores de k e Δy devem ser encontrados experimentalmente. A força de impacto depende diretamente do trabalho para deformar o coco.

A equação (3.3) permite o cálculo da força de impacto para cada teste de lançamento do bloco sobre o coco da seguinte forma:

$$\left|F_{elastica}\right| = \left|-k \cdot \Delta y\right| \tag{3.3}$$

3.2 Dimensionamento do Atuador de Alto Impacto

A energia cinética é gerada durante o movimento inicial de exaustão do atuador, onde ocorre uma elevação da mesma, proporcional ao aumento da velocidade do ar ao passar através do orifício (B). Mecanismo esse que pode ser explicado pela equação da continuidade analisando a figura 3.2.

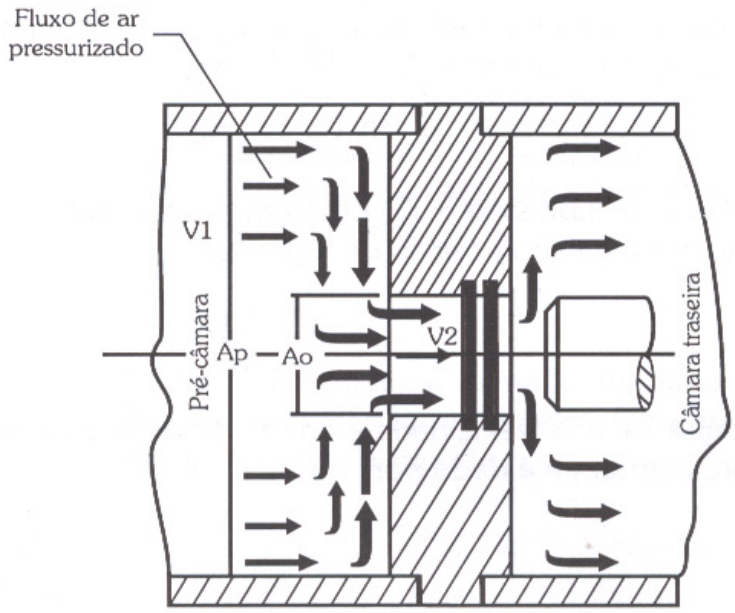

Figura 3.2 - Detalhe da interface entre a pré-câmara e câmara traseira no início do movimento de distensão da haste, Fialho(2003)

Da mecânica dos fluidos sabemos que o fluxo de massa de um fluido, compressível ou não, permanece sempre constante ao longo de uma tubulação pela qual escoe, independente de quaisquer variações em sua seção transversal. Conforme figura 3.2, podemos afirmar que no

instante em que se inicia o movimento da haste, depois de vencidas as forças que se contrapõem ao movimento, a taxa de massa que passa pela seção transversal da pré-câmara é igual à que passa pela seção transversal do orifício B como mostra a figura 3.2, então, Fialho (2003):

$$\dot{m}_{max_1} = \dot{m}_{max_2} \tag{3.4}$$

Sendo:

$$\dot{m}_{max} = \rho.v.A \tag{3.5}$$

Substituindo a expressão 3.5 em 3.4, teremos:

$$\rho.v_1.A_1 = \rho.v_2.A_2 \tag{3.6}$$

Utilizando-se as mesmas variáveis da figura 3.2 e eliminando o termo da massa específica que é constante durante o fluxo:

$$v_1.Ap = v_2.Ao \tag{3.7}$$

Isolando v_2 na equação 3.7, obteremos a velocidade com que o conjunto haste + êmbolo parte de sua posição de repouso:

$$v_2 = v_1.\frac{Ap}{Ao} \tag{3.8}$$

Sendo que v_1 é a velocidade normal desenvolvida pelo atuador se não houvesse a pré-câmara e é dada por:

$$v_1 = \frac{Ln}{ta} \tag{3.9}$$

Substituindo 3.9 em 3.8, teremos:

$$v_2 = \frac{Ln}{ta}.\frac{Ap}{Ao} \tag{3.10}$$

A energia cinética de uma massa qualquer, deslocando-se com uma velocidade v, é dada por:

$$EC = \frac{1}{2} m.v^2 \tag{3.11}$$

Onde, a massa **m** corresponde à massa do conjunto haste+êmbolo, e a velocidade **v** será obtida pela expressão 3.10, assim fazendo-se em 3.11, teremos a equação da energia cinética desenvolvida pelo conjunto haste+êmbolo, em um atuador de alto impacto.

$$EC = \frac{1}{2} m.\left[\frac{Ln}{ta}\frac{Ap}{Ao}\right]^2 \tag{3.12}$$

Utilizando a equação 3.10, podemos encontrar a expressão para força de impacto de um atuador de alto impacto da seguinte forma.

$$F_{impacto} = m \cdot \frac{v_2}{t_a} \quad \Rightarrow$$

$$F_{impacto} = \frac{m \cdot Ln}{t_a^2} \cdot \left[\frac{A_p}{A_0}\right] \tag{3.13}$$

3.3 Dimensionamento e Seleção de Atuadores Lineares

O dimensionamento dos atuadores lineares para especificação em catálogos comerciais de fabricantes e revendedores é feito a partir de uma análise dos esforços envolvidos, amplitude de deslocamentos e tipos de montagem.

Estes atuadores, em sua grande maioria de aplicações, desenvolvem seus esforços durante a fase de expansão da haste. Sabe-se que nos movimentos de expansão e retração da haste com aplicação de força estão presentes as forças de atrito. No caso do dimensionamento do atuador de impacto, torna-se necessário determinar a força de projeto Fp aplicada.

No princípio do movimento, além da força necessária à aplicação desejada, há força de atrito estático e durante o movimento há força de atrito cinético que não apenas agem externamente, mas também internamente no atuador. Temos ainda os coeficiente de atrito, geradores dessas forças, que variam conforme a aplicação da carga, a natureza dos materiais e seu acabamento, bem como a velocidade de deslocamento e o tipo de lubrificação. Assim, ao calcular a força de projeto necessária à operação, deve-se corrigi-la multiplicando-a por um fator de correção φ, conforme apresentado na tabela 3.1 abaixo, a fim de se obter a real força de avanço ou retorno, e com ela, juntamente com a pressão de trabalho, determinar o mínimo diâmetro necessário ao atuador, Fialho (2003).

Tabela 3.1 – Fatores de correção de força, Fialho (2003)

Velocidade de deslocamento da haste do atuador	**Exemplo**	**Fator de correção φ**
Lenta e carga aplicada somente no fim do curso	Operação de rebitagem	1,25
Lenta e carga aplicada em todo o deslocamento do curso	Talha pneumática	1,35
Rápida com carga aplicada somente no fim co curso	Operação de estampagem	1,35
Rápida com carga aplicada em todo o deslocamento do curso	Deslocamento de mesas	1,50
Situações gerais não descritas anteriormente		1,25

O diâmetro do atuador é determinado em função da força de avanço Fa, que é a força de projeto Fp corrigida pelo fator φ, e da pressão de trabalho Pt. Esse diâmetro refere-se ao diâmetro interno do cilindro que é obtido da equação da área do pistão, para o caso da força aplicada durante a fase de avanço (equação 3.4). Se, no entanto a força for aplicação durante a fase de retorno do atuador, a variável Ap na equação deve ser mudada pela variável Ac (área da coroa).

$$Dp = 2.\sqrt{\frac{Ap}{\pi}} \tag{3.14}$$

$$Dp = 2.\sqrt{\frac{Fp.\varphi}{\pi.Pt}} \tag{3.15}$$

Após o cálculo do diâmetro do pistão, e conhecidas as demais necessidades quanto ao tipo de fixação, curso, pode-se procurar nos catálogos dos fabricantes um atuador pneumático que tenha diâmetro no mínimo igual ou ligeiramente superior ao calculado, caso não exista um comercial de diâmetro igual ao calculado. Logo:

Diâmetro comercial ≥ Diâmetro calculado

3.4 Dimensionamento e Seleção de Válvulas

A capacidade de fluxo de uma válvula é o volume máximo de ar que pode passar através dela na unidade de tempo. O método padronizado para especificar as características da vazão é o fator Cv, que oferece uma forma aproximada para selecionar válvulas, determinando o uso correto para cada serviço particular. A vazão efetiva de uma válvula depende de vários fatores, entre os quais a pressão absoluta na saída, temperatura e queda de pressão admitida. O fator Cv para ser determinado necessita de certas condições impostas por normalização e, é calculado pela seguinte equação:

$$Cv = \frac{\left(\frac{14{,}7 + p}{14{,}7}\right) \cdot \left(\frac{\text{Area do cilindro}}{1728}\right) \cdot \left(\frac{60}{\text{Tempo de curso}}\right)}{22{,}48 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot (P_1 \cdot \Delta p + Pa)}{T_1 \cdot G_{gas}}}} \tag{3.16}$$

3.5 Dimensionamento do Manifold

Ao proceder ao dimensionamento do diâmetro mínimo necessário à linha, de forma que ela possa atender à pressão e vazão necessárias aos diversos pontos de alimentação. A determinação do diâmetro mínimo interno (mm), necessário para atender a demanda, pode ser obtido pela seguinte equação:

$$d = 10\left[\sqrt[5]{\frac{1{,}663785.10^{-3}.Qm^{1,85}Lt}{\Delta P.P}}\right] \tag{3.17}$$

Capitulo 4

MATÉRIAS E MÉTODOS

4.1 Montagem Experimental do Dispositivo de Impacto

A figura 3.1 mostra o dispositivo experimental para teste de impacto sobre o coco babaçu com o objetivo de determinar a sua rigidez elástica. O dispositivo consiste de uma calha vertical sobre uma base quadrada de aço, de uma polia, uma escala com precisão em milímetro, um bloco cilíndrico de ferro fundido de 21kg e de um cabo para elevação do bloco.

4.2 Metodologia

Inicialmente pegamos uma amostra de vinte cocos e dividimos em cinco grupos em função dos seus comprimentos longitudinais e de seus comprimentos transversais. A seguir realizamos teste de deformação por grupos, variando a altura de queda do bloco de impacto até a quebra do coco, fazendo medições continuas com o uso de paquímetro dos novos comprimentos transversais de cada coco

Através das equações contidas na tabela 5.6, encontramos o módulo de elasticidade média das amostras e a força de impacto média que será usada posteriormente para dimensionamento dos atuadores pneumáticos.

Os dados coletados nos ensaios para determinação da força media de impacto sobre o coco babaçu, permitiram que se determinasse a deformação relativa e a constante elástica do material que forma o coco. Usamos o método dos mínimos quadrados para fazermos os ajustes necessários com o objetivo de adequar resultados experimentais a previsões teóricas.

Capitulo 5

RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES

5.1 Resultados dos testes de deformação

Analisando os gráficos: 5.1, 5.3, 5.5, 5.7 e 5.9, que relaciona deformação relativa e altura, verificamos que os ajustes das curvas tenderam a função sigmoildal de Boltzeman com R^2 médio em torno de 99,455.

Os gráficos 5.2, 5.4, 5.6, 5.8 e 5.10 indicaram que as variações dos comprimentos transversais do coco babaçu diminuem em função da compressão por impacto até um certo valor limite de quebra. Mostram também que os resultados obtidos estão bem ajustados.

Analisando o gráfico 5.11, obtido através de dados experimentais, confirmamos que os experimentos estão de acordo com previsões teóricas, pois a curva obtida por regressão possui excelente ajuste ($R^2 = 0.9934$).

TABELA 5.1 – Teste nº 1

COMPRIMENTO INICIAL DO COCO (mm)			85
POSIÇÃO DO BLOCO hi(cm)	COMPRIMENTO TRANSVERSAL DO COCO Li(mm)	DEFORMAÇÃO SOFRIDA PELO COCO &(mm)	DEFORMACAO RELATIVA e
0,00	56,00	0,00	0
62,90	55,00	1,00	0,018
73,00	53,70	1,30	0,024
83,13	50,50	3,20	0,059

*** Deformação específica = 9,82%**

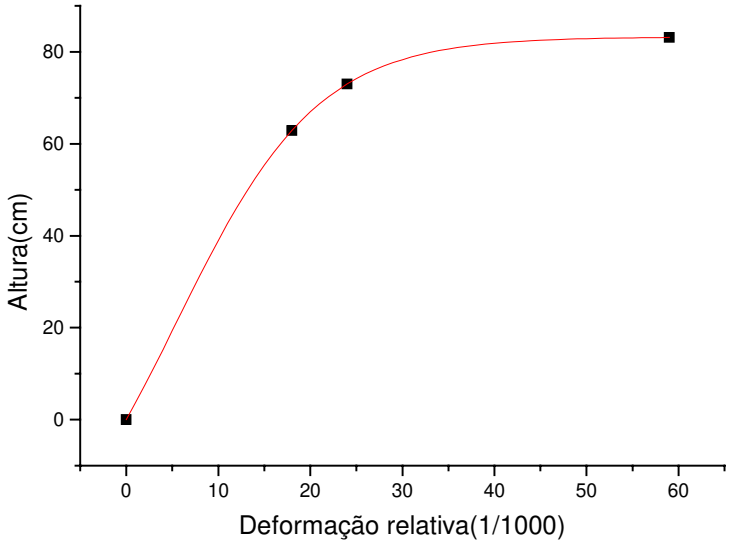

FIGURA 5.1 – Gráfico da altura x deformação relativa - teste 1

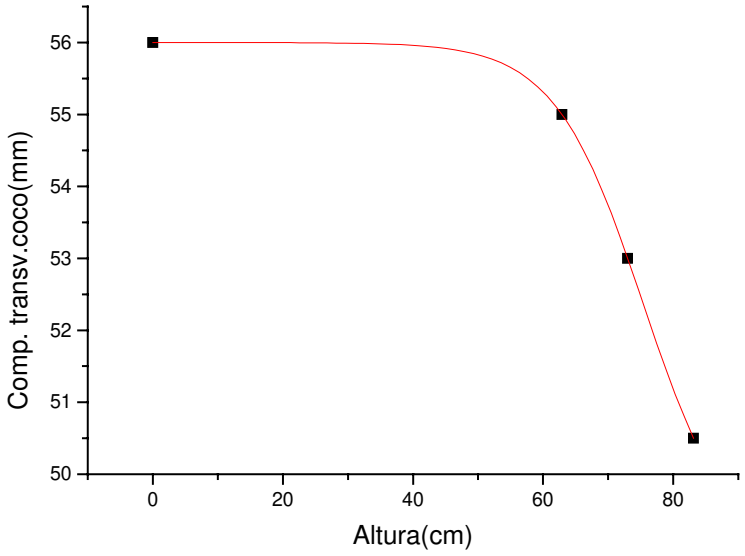

FIGURA 5.2 – Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 1

TABELA 5.2 – Teste nº 2

COMPRIMENTO INICIAL DO COCO (mm) =			91
POSICAO DO BLOCO hi(cm)	COMPRIMENTO TRANSVERSAL DO COCO Li(mm)	DEFORMAÇÃO SOFRIDA PELO COCO &(mm)	DEFORMACAO RELATIVA e
0,00	56,00	0,00	0
62,90	56,00	0,00	0
73,00	54,00	2,00	0,036
83,13	49,00	5,00	0,093

*** Deformação específica = 12,5%**

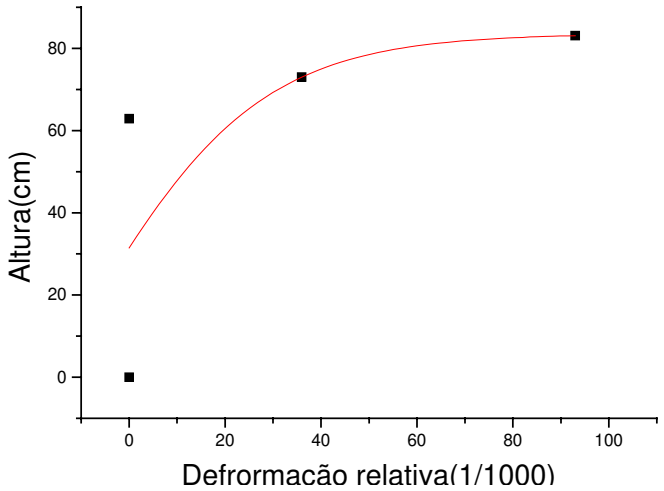

Figura 5.3 – Gráfico da altura x deformação relativa – teste 2

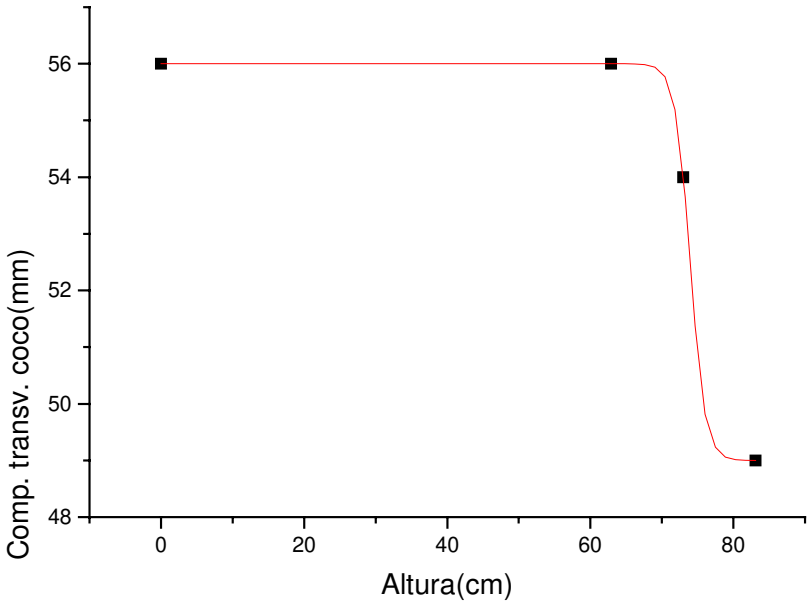

Figura 5.4 – Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 2

TABELA 5.3 – Teste nº 3

COMPRIMENTO INICIAL DO COCO (mm) =			83
POSICAO DO BLOCO hi(cm)	COMPRIMENTO TRANSVERSAL DO COCO Li(mm)	DEFORMAÇÃO SOFRIDA PELO COCO &(mm)	DEFORMACAO RELATIVA e
0,00	57,00	0,00	0
62,80	56,00	1,00	0,0175
72,90	54,00	2,00	0,0357
83,10	52,00	2,00	0,0370

*** Deformação específica = 8,77%**

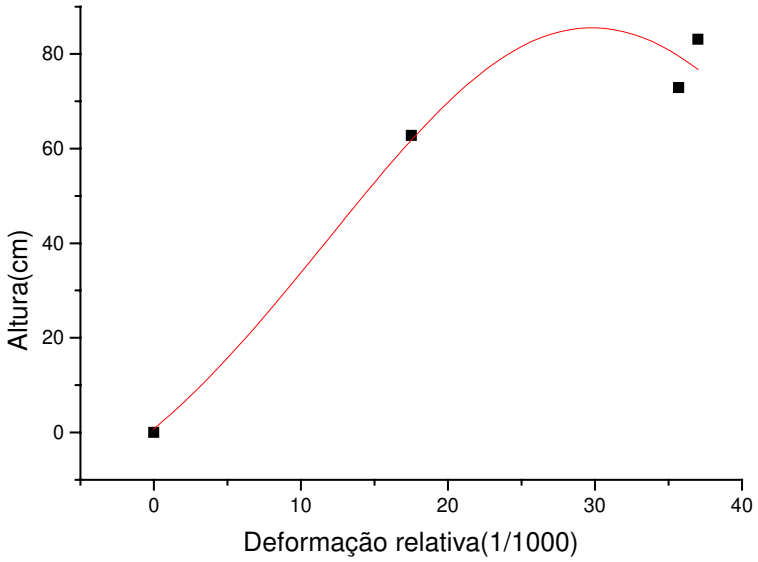

Figura 5.5 – Gráfico da altura x deformação relativa – teste 3

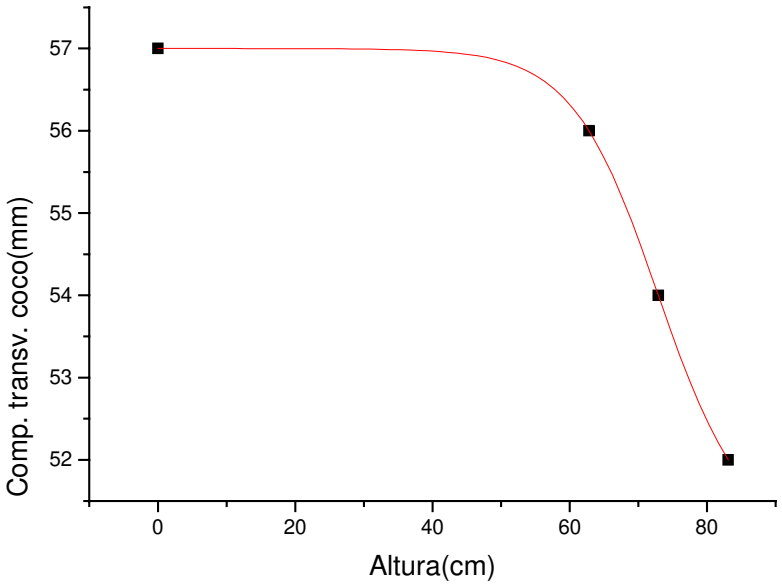

Figura 5.6 - Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 3

TABELA 5.4 – Teste nº 4

COMPRIMENTO INICIAL DO COCO (mm) =			86
POSICAO DO BLOCO hi(cm)	COMPRIMENTO TRANSVERSAL DO COCO Li(mm)	DEFORMAÇÃO SOFRIDA PELO COCO &(mm)	DEFORMACAO RELATIVA e
0,00	58,00	0,00	0
62,70	57,00	1,00	0,017
72,80	54,00	3,00	0,053
83,10	50,00	4,00	0,074

*** Deformação específica = 13,79%**

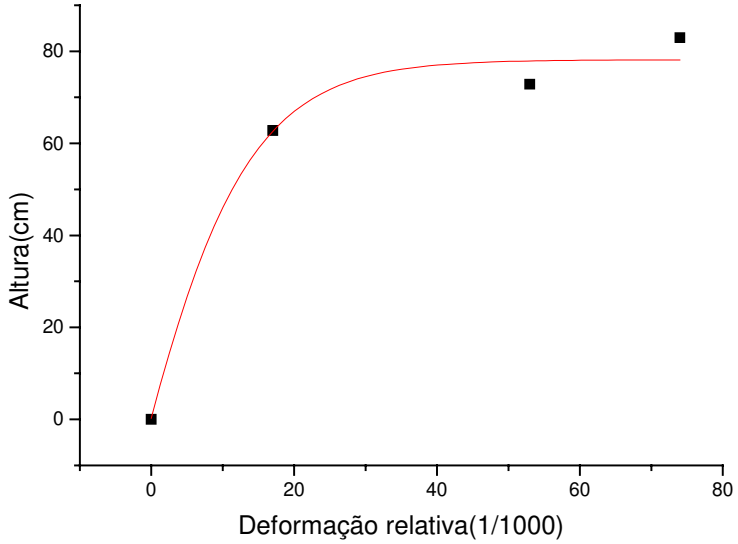

Figura 5.7 – Gráfico da altura x deformação relativa – teste 4

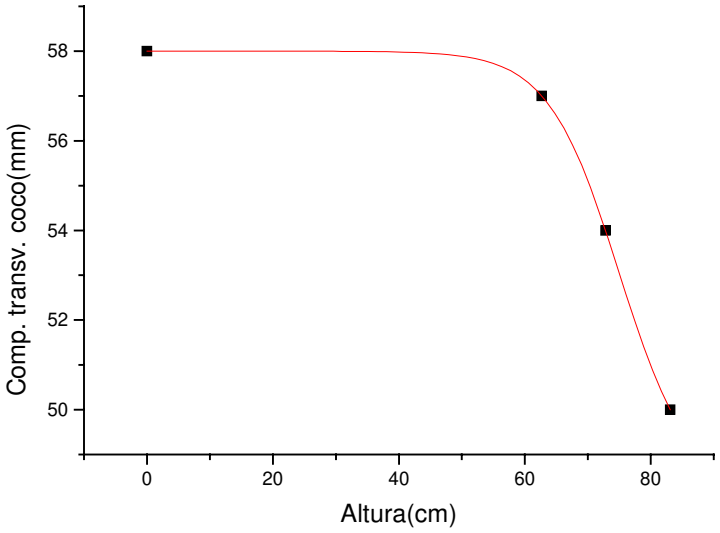

Figura 5.8 – Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 4

TABELA 5.5 – Teste nº 5

COMPRIMENTO INICIAL DO COCO (mm) =			90
POSICAO DO BLOCO hi(cm)	COMPRIMENTO TRANSVERSAL DO COCO Li(mm)	DEFORMAÇÃO SOFRIDA PELO COCO &(mm)	DEFORMACAO RELATIVA e
0,00	57,00	0,00	0
62,80	56,50	0,50	0,008
72,85	55,30	1,20	0,021
82,97	51,00	4,30	0,077

*** Deformação específica = 10,52%**

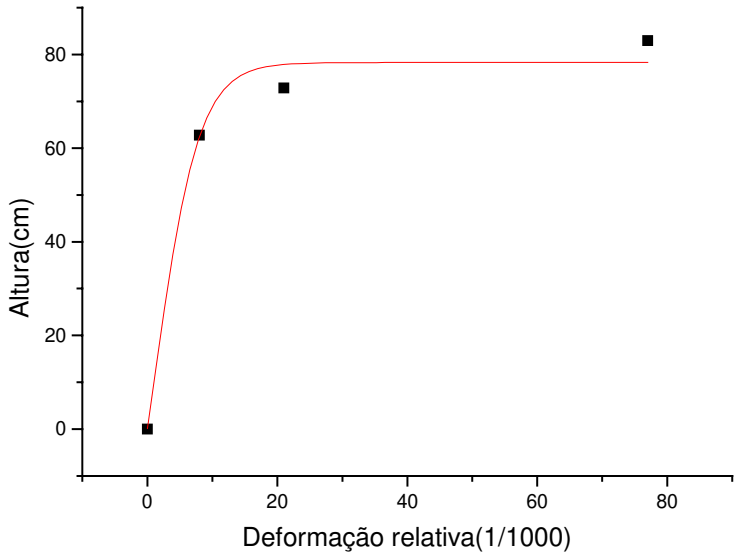

Figura 5.9 – Gráfico da altura x deformação relativa – teste 5

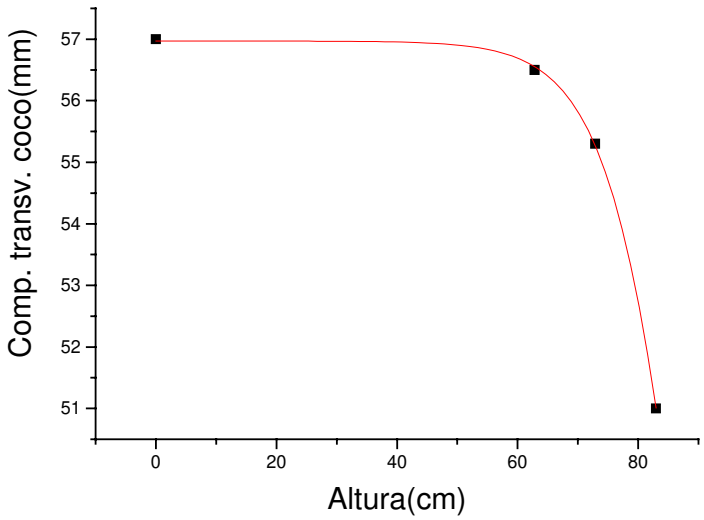

Figura 5.10 – Gráfico do comprimento transversal x altura – teste 5

TABELA 5.6 – Valores médios do módulo de elasticidade e da força de impacto média

COMPRIMENTO TRANSVERSAL DO COCO (mm)	DEFORMAÇÃO ACUMULADA P/ COCO COCO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDADE DO COCO (MN/m)	FORÇA DE IMPACTO (KN)
56,00	5,50	11,38	62,59
56,00	7,00	7,04	49,28
57,00	5,00	13,76	68,8
58,00	8,00	5,39	43,12
57,00	6,00	9,65	57,9
56,80*	**6,30***	**9,44***	**56,34***

(*) Valores médios

Valor médio e incerteza absoluta da deformação acumulada do coco = 6,30 ± 1,70.

Valor médio e incerteza absoluta do módulo de elasticidade do coco = 9,44 ± 4,32.

Valor médio e incerteza absoluta da força de impacto = 56,34 ± 13,22.

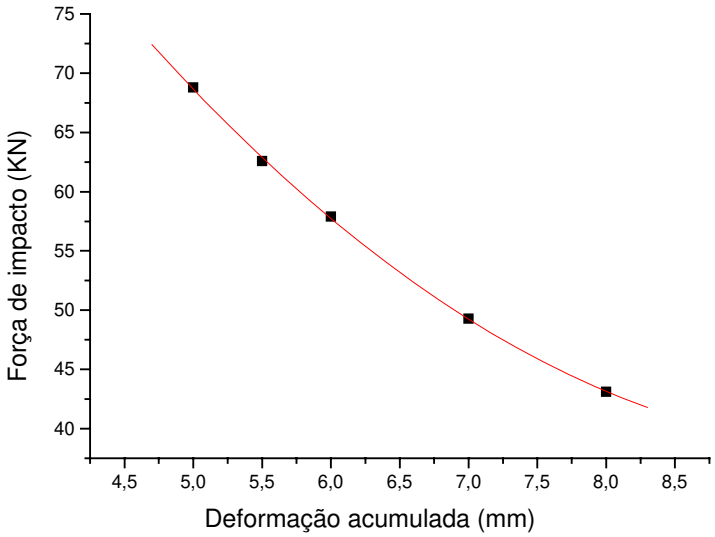

FIGURA 5.11 – Gráfico da força de impacto média

Observação: O ajuste da curva acima foi em torno de 0,99966.

5.2 Simulação do Circuito Pneumático

As simulações computacionais tem sido amplamente empregadas para descrever o comportamento de sistemas em diversas áreas do conhecimento. Uma das principais vantagens que uma simulação permite é a rápida visualização dos resultados que podem ocorrer, quando há alterações de variáveis ou condições de contorno e como estas afetam o sistema analisado.

Em certas situações, a determinação experimental em laboratório pode perdurar por dias, meses ou anos e envolver elevado custo financeiro. Por outro lado uma simulação poderia predizer tal comportamento em um curto espaço de tempo sem os riscos que envolvem a montagem experimental. Em última instância, a confiança aos softwares utilizados provém da fidelidade de seus resultados em comparação com os obtidos pela determinação experimental.

Ao se propor um projeto de automação de um equipamento ou de um processo é preciso primeiro conhecer o cenário de aplicação do mesmo, para que a solução tecnológica a ser apresentada satisfaça plenamente os interesses da automação.

Ao observar-se o processo de extração de amêndoa do coco babaçu, através da aplicação de uma força de impacto, verifica-se que o sistema caracteriza-se como um sistema binário, ou seja, a cada etapa do processo, um elemento só pode assumir duas condições mutuamente exclusivas. Por exemplo, o atuador só deve ser acionada se o coco estiver na posição correta ou não. Desta forma, classificamos as condições de funcionamento como **binária**s. Então, pode-se dizer que o funcionamento do sistema segue a *lógica binária.*

5.3 Tecnologia de Comando

Para definir-se qual tecnologia de comando empregar é preciso primeiro conhecer todas as etapas de funcionamento, assim como a complexidade do sistema. Por tratar-se de projetos que seguem a lógica binária, é possível elaborar-se todo o projeto lógico sem ocupar-se da tecnologia de comando a ser utilizada.

5.4 Tecnologia Operativa

Para o nosso processo de automação, empregamos atuadores pneumáticos. Assim como os microprocessadores e os computadores trabalham com sinais digitais obtidos através de combinações de sinais binários, os sistemas pneumáticos também atuam como comandos binários, uma vez que as grandezas envolvidas adquirem somente dois valores significativos, como por exemplo: O cilindro está **avançado** ou **recuad**o; a válvula está **aberta** ou **fechad**a; um determinado ponto está **pressurizado** ou **despressurizad**o. Em sistemas pneumáticos, as pressões podem atingir elevados valores dentro de suas faixas de trabalho, no entanto, no que concerne aos sinais no sistema, só interessa saber se há pressão ou não. Considera-se a existência ou não de pressão quando ela ultrapassa ou cai a valores predeterminados. No caso de sistemas pneumáticos, o sinal de pressão é considerado **valor lógico 1** (sim) quando assume valores de 3 a 8 bar e **valor lógico 0** (não), quando está na faixa de 0 a 0,8 bar, como mostra Bollmann (1995).

Em nosso projeto optamos pela utilização de um acionamento pneumático, uma vez que esses atuadores apresentam características favoráveis a esta aplicação: altas velocidades, facilidade de controle de pressão e velocidade, custo relativamente baixo se comparado a outros tipos de atuadores e facilidade de obtenção de fontes de ar comprimido nos ambientes onde deverão funcionar. Além disto, a utilização da álgebra *booleana* associada à lógica binária proporciona a utilização de uma linguagem e metodologia unificadas para representação e projeto de comandos binários propiciando a integração dos comandos pneumáticos a estruturas mais complexas de automação.

5.5 Esquema de Instalação

Definida a pneumática como a tecnologia operativa a ser empregada, parte-se para a elaboração da concepção construtiva do equipamento. Para isto, elabora-se um *esquema de instalação* do mesmo. Este esquema deve ser executado levando-se em consideração a seqüência de operações e as características e cursos a serem executados, de modo que a análise do funcionamento seja facilitada para o projetista. Nesta fase ainda não se deve ocupar com o dimensionamento estrutural e sim com as características funcionais.

As figuras de 5.12 a 5.15 apresentam o processo de extração de amêndoas por impacto onde a alimentação do mesmo se dá por sujeição à força gravitacional..

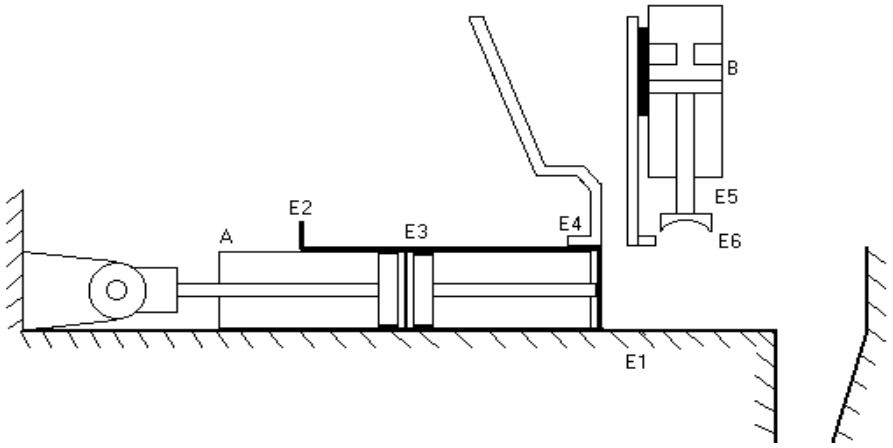

Figura 5.12 - Fase 1 – Sensor E1 detecta presença de coco e o atuador A posiciona-o sob o atuador B

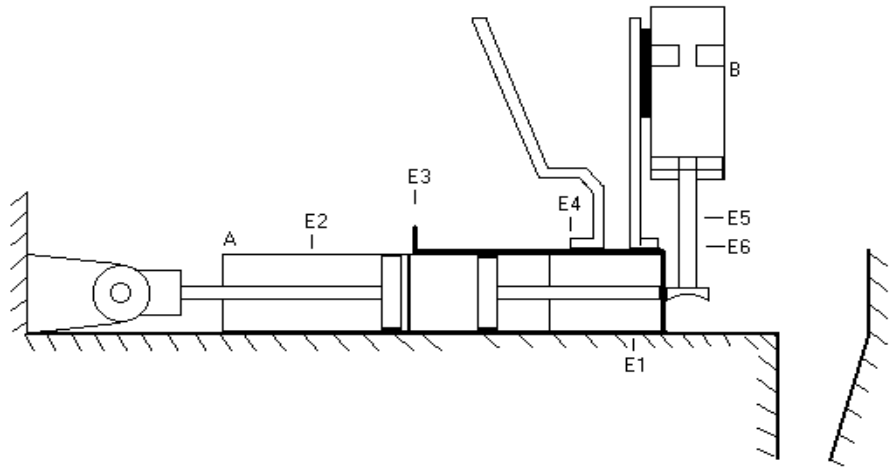

Figura 5.13 - Fase 2 – Atuador B avança e realiza operação de quebra

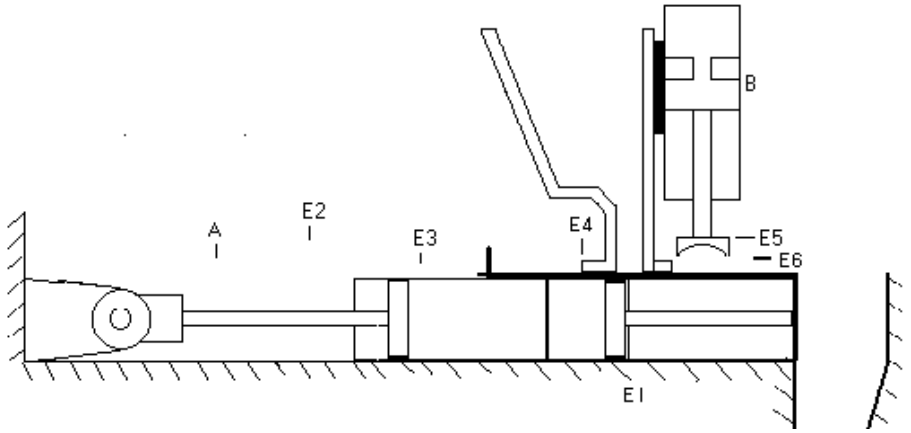

Figura 5.14 - Fase 3 – Atuador B recua e atuador A avança para descarga do coco

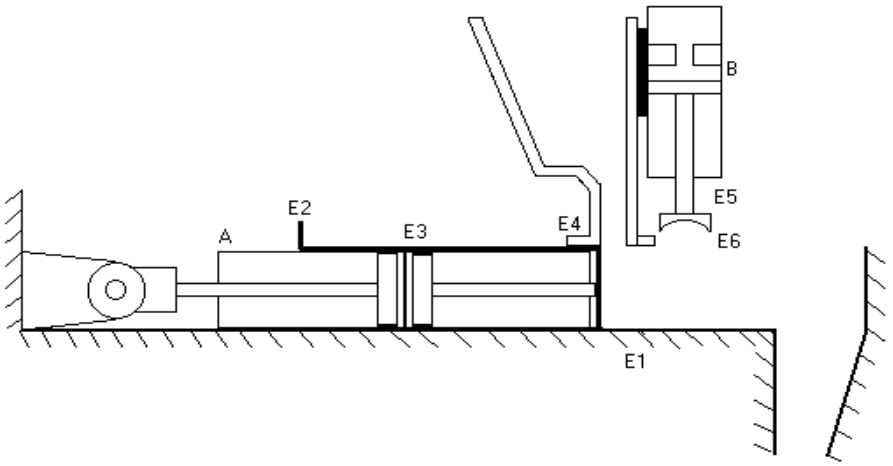

Figura 5.15 - Fase 4 – Atuador A recua para posição inicial para iniciar um novo ciclo

Baseados no esquema de instalação elabora-se a descrição do funcionamento do mecanismo. A descrição deve ser sucinta e objetiva. O dispositivo automático mostrado na figura acima, deve ter seu ciclo completado numa seqüência predeterminada..

Com as informações subtraídas do esquema de instalação e da descrição de funcionamento, elabora-se um esquema de montagem dos atuadores, associando a cada um os elementos de sinais responsáveis pela monitoração dos estados dos atuadores. A Fig.5.16 mostra o esquema do circuito pneumático dispositivo de extração por impacto.

.

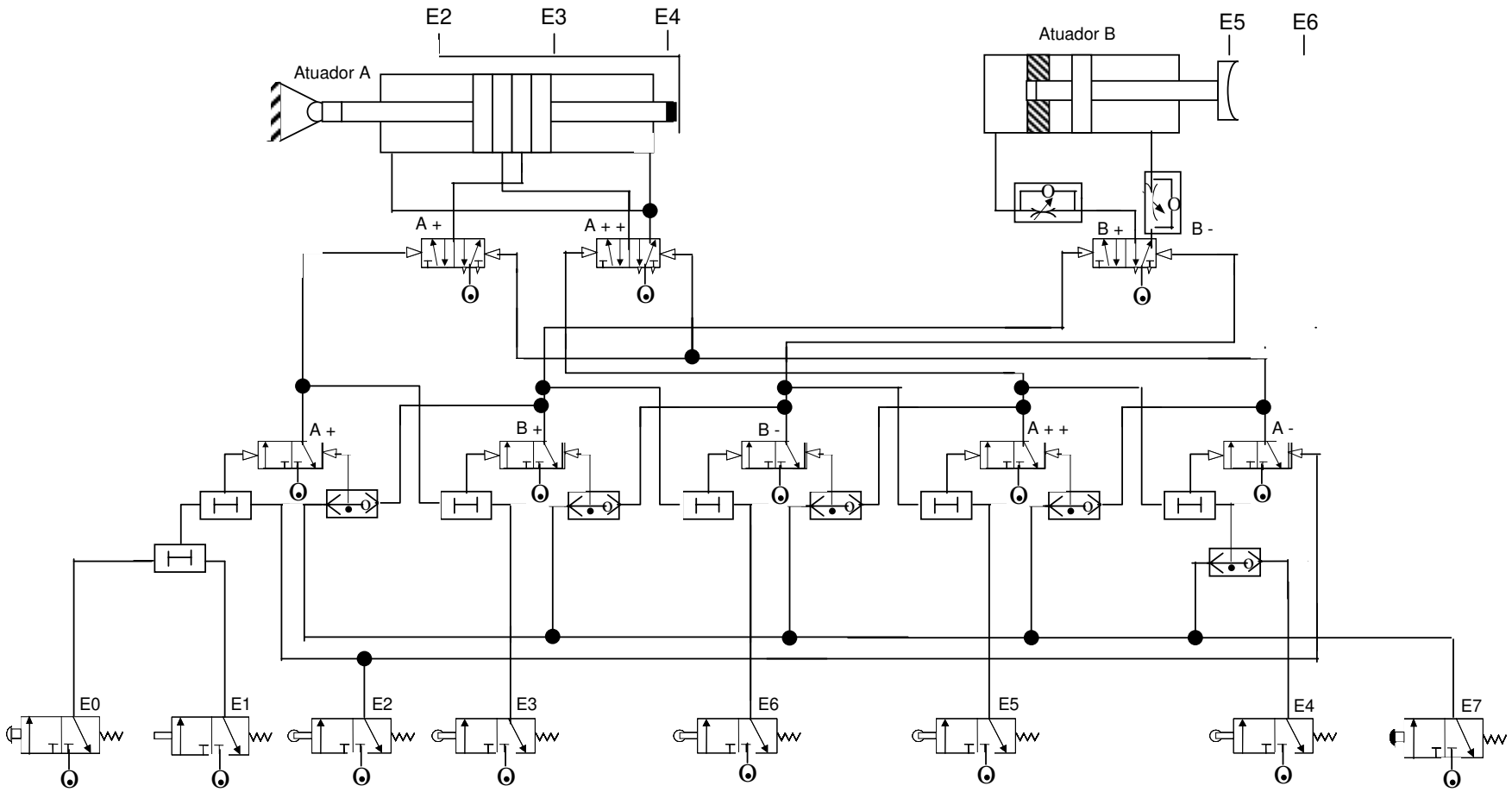

Figura 5.16 - Circuito pneumático do dispositivo de extração por impacto

5.6 Representação Gráfica do Comando Seqüencial

A representação gráfica de um comando seqüencial tem por finalidade representar de uma forma sistemática a descrição do funcionamento do equipamento. Para sistemas pneumáticos, a representação gráfica é normalmente por diagramas trajeto-passo (figura 5.17) Porém, quando introduz-se uma série de condições para o funcionamento, como temporizações, saltos e etapas simultâneas, este diagrama apresenta algumas limitações, tornando-se confuso e de difícil entendimento. Neste caso a melhor solucão é a confeccão do diagrama funcional ou *GRAFCE*T.

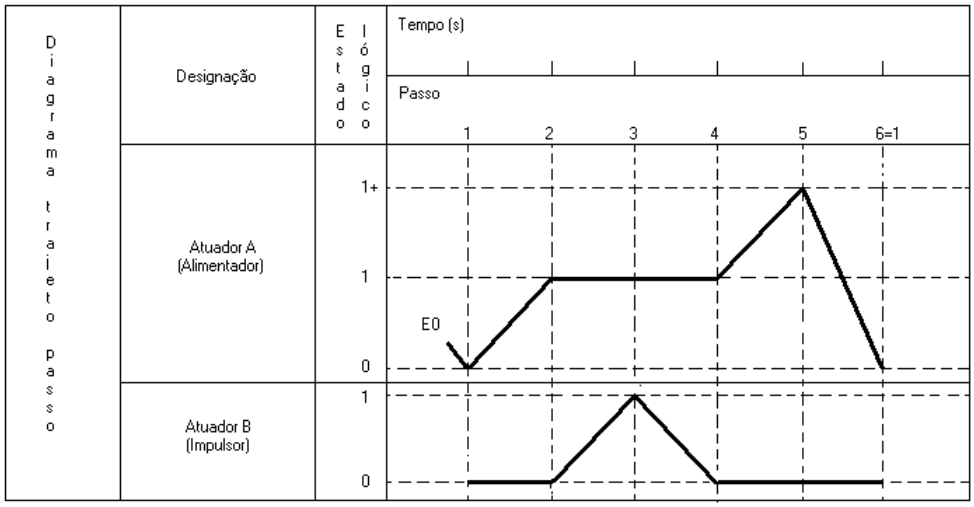

Figura 5.17 – Gráfico trajeto-passo

5.6.1 Diagrama de função seqüencial – GRAFCET

Na maioria dos casos, os projetos lógicos pneumáticos são executados de forma intuitiva apoiado basicamente em combinações lógicas padrões, onde o sucesso vai depender da experiência do projetista. Com o GRAFCET, as seqüências são descritas de acordo com um diagrama com símbolos normalizados que mostram claramente os controles a serem implementados.

O diagrama de função seqüencial deve seguir a representação básica de um conjunto de retângulos que representam uma etapa de um comando seqüencial. Cada etapa deve seguir uma numeração seqüencial de identificação e opcionalmente uma descrição sucinta do mesmo.

No GRAFCET descritivo insere-se a descrição de cada etapa na seqüência a realizar, além de associar-se a cada receptividade a descrição das condições lógicas para que ocorra a transição entre etapas. A Fig.5.18 apresenta detalhe do GRAFCET descritivo do dispositivo de extração por impacto.

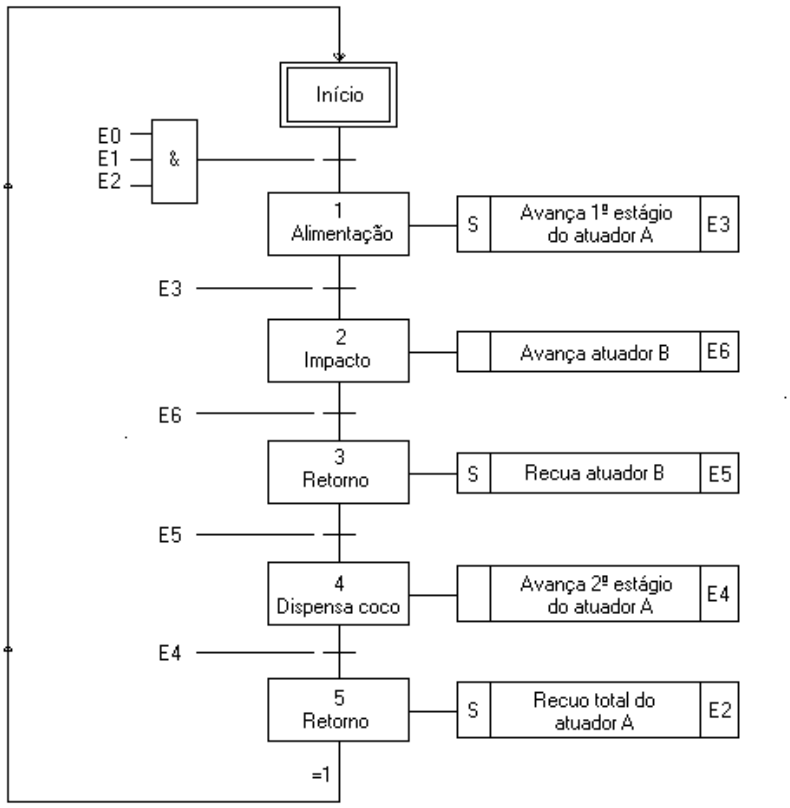

Figura 5.18 - GRAFCET Descritivo

O GRAFCET descritivo facilita a intercomunicação entre as pessoas envolvidas no projeto, independente de sua área de formação, no entanto, para a execução técnica do projeto, necessita-se associar a cada condição lógica, um elemento de sinal. Daí elabora-se o diagrama GRAFCET indicando os elementos de comando e sensores correspondentes às condições descritas no GRAFCET descritivo. A Fig.5.18 mostra o diagrama indicativo de todas as etapas e seqüências previstas para o funcionamento do dispositivo de extração por impacto.

5.7 Diagrama Lógico

De posse do GRAFCET, elabora-se o diagrama lógico (figura 5.19), associando-se a cada uma etapa um módulo lógico correspondente.

Os comandos binários podem ser combinatórios, onde a saída ocorre unicamente em função da combinação lógica dos sinais de entrada, ou podem ser seqüências, onde os comandos produzem uma seqüência predeterminada de ações como mencionado por Bollmann (1995).

Verifica-se no diagrama GRAFCET (Figura 5.18), que para o início da etapa 1, existe uma condição lógica associada denominada sinal para início de ciclo. Esta condição lógica está representada no diagrama pela letra **S.** Este sinal **S** será resultante de um comando combinatório, que deve considerar as condições impostas para a partida do equipamento.

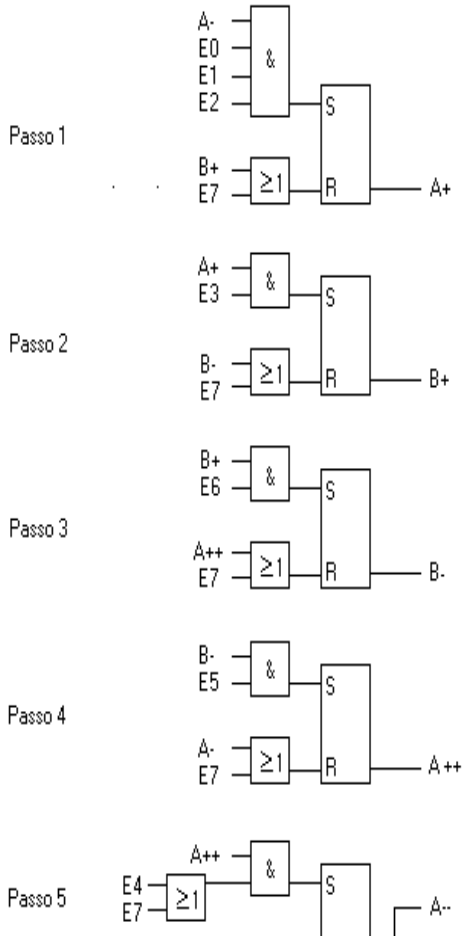

Figura 5.19 – Diagrama lógico

5.8 Comando seqüencial

Ao completar-se a elaboração do diagrama lógico do sistema, a sua lógica de funcionamento estará definida, entretanto, é preciso escolher a tecnologia de comando aplicar. Esta definição passa pelas características de aplicação do mecanismo, como a possibilidade de interligação com sistemas eletrônicos, pelos recursos técnicos e financeiros disponibilizados, pela análise do ambiente de instalação, entre outros. Em se tratando de tecnologia operativa pneumática, o método de análise pelo custo global proposto por Keeton (1995) é uma boa opção.

5.9 Dimensionamento Mecânico

Com o sistema lógico definido, o passo seguinte é o dimensionamento mecânico do equipamento. A determinação das velocidades e acelerações envolvidas influencia diretamente no dimensionamento dos atuadores, independente da tecnologia operativa aplicada.

Para o dispositivo de extração automático de amêndoas apresentado nesta tese, a tecnologia operativa aplicada é a pneumática, assim,a aceleração influenciará na velocidade de atuação que por sua vez será determinada pela vazão de ar do sistema, além da força aplicada ser determinada pela pressão pneumática imposta ao sistema.

A vazão de ar requerida pelos atuadores determinará o dimensionamento dos demais elementos pneumáticos, como válvulas e tubulações. Ainda, verifica-se que a velocidade imprimida aos atuadores determinará o tempo de ciclo do equipamento.

Assim como o projeto lógico, o dimensionamento mecânico tem forte influência no resultado final do dispositivo.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O dispositivo projetado permitirá a redução considerável do tempo de ciclo de operação, além de evitar os problemas que envolvem uma operação manual, que vão desde a qualidade e produtividade que normalmente não são atingidas até a análise da segurança da operação.

O tempo de ciclo pode ser alterado em função das velocidades empregadas, que dependem não só dos elementos pneumáticos especificados, mas também da fonte de ar comprimido disponível.

O projeto permite que por meio de programação, sem alteração física, a utilização do mesmo equipamento tanto para a alimentação, quanto para a extração do coco após o impacto..

O processo empregado na elaboração do projeto do dispositivo de extração automática possibilita por meio de um diagrama de função seqüencial, GRAFCET, a descrição funcional do equipamento, além de mostrar com clareza, quais os controles a serem implementados, permite ainda que seja desenvolvido todo o conceito de funcionamento do equipamento sem se ocupar das tecnologias de comando e operativa que serão empregadas.

Por meio de símbolos lógicos correspondentes, o GRAFCET pode ser convertido em outros diagramas lógicos como digrama elétrico e diagrama pneumático.

Este trabalho permite que de posse do sistema lógico e do diagrama do circuito pneumático se elabore o projeto mecânico do dispositivo de extração de amêndoas do coco babaçu.

Sugerimos que novos testes de rigidez do coco babaçu sejam executados com fruto posicionado com eixo maior na vertical.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU S. Fróes. *O coco babaçu e o problema do combustível*. Rio de Janeiro. Instituto Nacional de Tecnologia, Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, 2ª ed, 1940.

ALMEIDA, Alfredo Wagner Berno**.** *Economia do babaçu:* levantamento preliminar de dados – quebradeira de coco babaçu. São Luis, MIQCD / Balaios Typhografia, 2000.

AMARAL FILHO, Jair do. *A economia política do babaçu***:** um estudo da organização da extrato - indústria do babaçu no Maranhão e suas tendências.São Luís: SIOGE, 1990.

AUGUSTO, Zanetti Éderson. *Biomassa*. Disponível em www2.ipef.Br/pipermail/floresta. Acesso em 10 de maio de 2003.

Babaçu e tecnologia. *BABATEC*. Disponível em www.babatec.hpg.ig.com.br. Acesso em 2 de abril de 2003.

BLANCHARD, M., *Comprendre, maitriser et appliquer lê GRAFCET*, Paris , Cépaduès-Éditions, 1994

BOLLMANN, A. *Fundamentos da automação industrial pneumática*. São Paulo: ABHP1998.

Componentes Com. de Pneumática Ltda. Disponível em www.cpcomponentes.com.br. Acesso em 22 de maio de 2003.

DABDOUB, M. J. *Por um biodiesel com identidade brasileira.* Comissão de Agricultura e Política Rural, Brasília, 35 p. 2003.

DE NEGRI, V.J. *Integração da tecnologia hidráulica e pneumática com CLP's*.. Florianópolis, Julho/1999.

DOVER. *Pneumática básica*, Dover, NH, 1986.

DUARTE, Neide. *Quebradeiras, destino de mulher*. Disponível em www.tvcultura.com.br. Acesso em 27 de setembro de 2002.

EMBRAPA, *Babaçu – Programa nacional de pesquisa*. Brasília: EMBRAP, 1984.

EXTRATIVÍSMO DO BABAÇU. Disponível em www.eps.ufsc.br. Acesso em 30 de outubro de 2002.

FERRÉS, J. D. *A Indústria de óleos vegetais e a produção de biodiesel no Brasil*. Comissão de Agricultura e Política Rural, Brasília, 31 p. 2003.

FESTO DIDACTIC, *Introdução à pneumática*. São Paulo, 1978.

FESTO DIDACTIC, *Projetos de sistemas pneumáticos*. São Paulo,1988.

FIALHO, Arivelto Bustamante. *Automação pneumática*: projetos, dimensionamento e analise de circuitos. São Paulo: Erica, 2003.

FRAZAO, Jose Mario. *Projeto quebra como:* alternativas econômicas para agricultura familiar assentada em áreas de ecosistemas de babaçuais. Comunicação pessoal, 2001.

GARCIA, Karla. *Babaçu é destaque de exposição*. Disponível em www.amazontech2002.com.br. Acesso em 25 de outubro de 2002.

GROUPE G7W ADEPA/AFCET, *Le GRAFCET*, 2 e édition, Paris, Cépaduès-Éditions, 1995.

GRUPO PENSA, *Reorganização do agronegocio do babaçu no estado do Maranhão*. São Paulo: USP, 2000.

GUIMARÃES, P. R. A. *Projeto de um alimentador pneumático utilizando o método GRAFCET para determinação do funcionamento de um sistema lógico automático***.** Tese de mestrado COPPE/UFRJ, 1999.

ISADORA, Herrmann. Coordenação no SAG do babaçu: exploração racional possível?. São Paulo, 2002. 12 p.

ISMAIL, Kamal, A. R. *Técnicas de medidas e instrumentação* **/** Kamal A. R. Ismail – Campinas, São Paulo: Ed. do autor, 2000.

ISMAIL, Kamal Abdel Radi. *Técnicas experimentais em fenômenos e transferência* **/** Kamal Abdel Radi Ismail – Campinas: São Paulo. Ed. do autor, 2000.

KEETON, W., Vicente, C. *Escolha de tecnologia de controle em aplicações pneumáticas*. Revista ABHP - Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática, n. 95, pp. 10-14, Set/Out. 1995.

MIC/STI. *Mapeamento e levantamento do potencial de ocorrência de babaçuais*. Estados do Maranhão, Piauí, Mato Grosso e Goiás.Ministério da Indústria e do Comércio / Secretaria de Tecnologia Industrial: Brasília,1982.

MEIXNER, H. Sauer, E., *Introdução a sistemas eletropneumaticos*. Festo Didatic, 1988.

NATALE, F. *Automação industrial*. São Paulo. Erica, 1995.

NOLL, Nelson G. B. Valdir. *Automação eletropneumática*. São Paulo. Erica, 1997.

PALATNIK, Abraham. *Um pioneiro da arte tecnológica*. Disponível em www.itaucultural.org.br. Acesso em 31 de março de 2003.

http;//perso.wanadoo.fr/papanicola/s_i/Auto/logique/Grafcet/grafcet.htm

Sciences Industrielles / GRAFCET. Disponível em http://perso.wanadoo.fr/papanicola. Acesso

em 31 de março de 2003.

Sumário. Informações gerais sobre o coco babaçu. Disponível em www.siamaz.ufpa.br. Acesso em 8 de outubro de 2002.

TEIXEIRA, Marcos Alexandre. *Biomassa de babaçu no Brasil*, Campinas, 11p. 2003.

STEWART, Harry L. *Pneumatica hidraulica*. Editora Hemus. São Paulo, 1999.

THIBAUT, R. *Automatismos pneumáticos hidráulicos.* LTC, 1979.

VIVACQUA FILHO, Antônio. *Babaçu, aspectos sócios econômicos e tecnológicos*. Brasília, 1968.